

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar (FIMCM)

**“ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE PINCHAGUA
(*OPISTHONEMA SPP*) EN RESPUESTA A LAS
VARIACIONES DE LAS CONDICIONES
OCEANOGRÁFICAS, FRENTE A LA COSTA
ECUATORIANA DURANTE 1995 – 2019”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de

MASTER EN CAMBIO CLIMÁTICO

Presentada por:

VIVIANA MARIUXI JURADO MALDONADO.

Dirigido por:

Cristian Canales, PhD.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Jonathan Cedeño, MSc.

Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador

Guayaquil - Ecuador

Año 2021

AGRADECIMIENTOS

A los directivos del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, Mgtr. Juan Javier García Bodniza y Mgtr. Pilar Solís Coello, por haberme brindado las facilidades para realizar la Maestría, así como su constante apoyo a lo largo de este proceso, a mis compañeros del Programa Pelágicos Pequeños, así como los demás amigos y compañeros de la Institución: Walter, Manuel, Gabriela, María del Carmen, Darío, Carlos y a todas las personas que me brindaron su apoyo de alguna manera durante la elaboración de esta Tesis.

Un especial agradecimiento al Dr. Cristian por ser mi guía en cada una de las etapas de este trabajo y por su infinita paciencia.

DEDICATORIA

A mi mamá Gina Maldonado, por enseñarme a no rendirme jamás aun cuando las situaciones parecen difíciles de superar, soy lo que soy gracias a ti; a mi papá Mario y a hermana Paola por su ayuda y respaldo en todo momento

A mis hijos David y Luciana, por todos los momentos que les falté para poder concluir la maestría y la tesis, y especialmente a mi esposo David

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; VIVIANA JURADO MALDONADO doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Viviana Jurado Maldonado

COMITÉ EVALUADOR

Franklin Ormaza, PhD.
DELEGADO DEL DECANATO DE FIMCM

Cristian Canales, PhD.
TUTOR

Jonathan Cedeño, MSc.
TUTOR

Nikita Gaibor, PhD.
EVLAUADOR DE COORDINACIÓN DE MAESTRIA

Índice General

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	13
2. OBJETIVO GENERAL	13
2.1 Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO III	14
3. MARCO TEÓRICO	14
3.1 Antecedentes	14
3.2 Variables ambientales y su influencia en los rasgos biológicos	15
3.3. Uso de datos satelitales en Investigación Pesquera	25
3.4 Modelos Lineales Generalizados y su empleo en análisis de datos biológicos-pesqueros y ambientales	26
3.5 Contribución de la Investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible	28
CAPÍTULO IV	29
4. METODOLOGÍA	29
4.1 Área de Estudio	31
4.2 Diseño de muestreo y obtención de muestras	32
4.2.1 Origen de la Información Biológica	32
4.2.1.1 Seguimiento de la Pesquería Pelágicos Pequeños	32
4.2.1.2 Programa Observadores a Bordo	32
4.2.2 Análisis Geoespacial	33
4.2.3 Datos Oceanográficos	34
4.2.3.1 Descarga de Datos Satelitales	35
4.2.3.2 Tratamiento de Datos Satelitales	36
4.2.3.3 Validación de Datos Satelitales	36
4.3 Modelo Lineal Generalizado (GLM)	37
4.3.1 Procesamiento de GLM para data biológica	38
4.3.2 Procesamiento de GLM para data ambiental	41
4.3.3 Validación y Ajuste del GLM	41
4.4 Análisis de Correlación	42
CAPÍTULO V	43
5. RESULTADOS	43

5.1 Análisis de Clúster	43
5.2 Patrones Espacio – Temporales en rasgos biológicos	45
5.2.1 Longitud Total (LT)	45
5.2.2 Peso Total (PT)	49
5.2.3 Peso Eviscerado (PE)	52
5.2.4 Peso Gónada (PG)	55
5.2.5 Madurez (Mat)	58
5.3 Patrones Espacio – Temporales en variables ambientales	60
5.3.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)	60
5.3.2 Nivel del mar (altimetría)	63
5.3.3 Clorofila (Chlo_a)	66
5.3.4 Índice Niño 1 + 2	69
5.4 Correlaciones entre los rasgos biológicos y las variables ambientales	73
CAPÍTULO VI.	77
6. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES	77
6.1 Variaciones en los rasgos biológicos	77
6.2 Periodo Reproductivo y condiciones ambientales	79
6.3 Reclutamiento, condición somática, reproductiva y patrones espacios temporales	79
6.4 Variables ambientales y desempeño del rendimiento de pesca	82
6.5 Disponibilidad de alimento y rasgos reproductivos	84
6.6 Conclusiones Generales	86
CAPÍTULO VII	87
7. RECOMENDACIONES	87
CAPÍTULO VIII	88
8. BIBLIOGRAFÍA	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Número de datos para cada variable biológica y periodo de la especie pinchagua a partir del monitoreo del Instituto Nacional de Pesca. _____	33
Tabla 2 Variables oceanográficas a emplear, fuente de datos satelitales y periodos disponibles para descargas _____	35
Tabla 3 Datos de correlaciones obtenidas mediante validación in situ vs datos satelitales. Fuente: Quiroz. S (2017), Cedeño J. (2015). _____	37
Tabla 4 Matriz de GLM usada para describir la variabilidad de variables biológicas para pinchagua, así como los arreglos de las variables predictoras para modelación. _____	40
Tabla 5 Matriz de GLM usada para describir la variabilidad de datos oceanográficos, así como los arreglos de las variables predictoras para modelación. _____	41
Tabla 6 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Longitud Total (LT cm). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 79% _____	46
Tabla 7 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Peso Total (log). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 92%. _____	50
Tabla 8 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Peso eviscerado (log). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 93%) _____	53
Tabla 9 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Peso gónada (log). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 65% _____	56
Tabla 10 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Madurez (Mat). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 65% _____	59
Tabla 11 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Temperatura Superficial del Mar (TSM). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 58% _____	61
Tabla 12 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Altimetría (NMM). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 52% _____	64
Tabla 13 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Clorofila (Chlo_a). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 22%. _____	67

Tabla 14 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Índice Niño 1+2. El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 57% _____ 69

Tabla 15 Matriz de correlación (incluyendo los valores de significancia p value < 0.05), a partir de los coeficientes anuales del GLM, empleado para describir los efectos entre las variables biológicas y medioambientales. _____ 74

Tabla 16 Matriz de correlación (incluyendo los valores de significancia p value < 0.05), a partir de los coeficientes anuales del GLM, empleado para describir los efectos entre las variables biológicas y medioambientales, con desfase de 1 año. _____ 74

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujo de corrientes marinas que tienen influencia en la costa ecuatoriana. Fuente: Elaboración propia a partir de Riofrío & Chavarría, 2009. _____	3
Figura 2 Desembarques de pelágicos pequeños principales del Ecuador 1975-2017. Fuente: Evaluación de stocks de recursos pelágicos pequeños del Ecuador, 2020. (Canales et al, 2020) _____	5
Figura 3 Distribución Espacial de <i>Opisthonema</i> spp. _____	6
Figura 4 a) Mortalidad por pesca anual y potencia desovante. La línea verde es el objetivo, b) Biomasa desovante con IC95% (líneas verticales). La línea horizontal azul es B0 y la línea verde es el objetivo 40%B0. Tomado de: Evaluación de stocks de recursos pelágicos pequeños del Ecuador, 2020. (Canales et al, 2020) _____	7
Figura 5 Modelo de representación de asignación de energía entre reproducción y crecimiento somático. Tomado de: Evolución de los recursos de asignación entre crecimiento y reproducción en animales con crecimiento indeterminado (Heino & Kaitala, 1999) _____	17
Figura 6. Diagrama de esquematización de la metodología de trabajo. _____	30
Figura 7. Zonas de pesca donde se captura históricamente el recurso pinchagua a lo largo de la costa ecuatoriana. _____	31
Figura 8. Áreas de estudio definidas a partir de análisis geoespacial. _____	44
Figura 9 Coeficientes normalizados de la variable biológica Longitud Total con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (<i>Opisthonema</i> spp.) durante 1995 – 2019 _____	47
Figura 10 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de tallas de pinchagua (<i>Opisthonema</i> spp) durante 1995 – 2019. _____	48
Figura 11 Coeficientes normalizados de la variable biológica Peso Total (log) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (<i>Opisthonema</i> spp.) durante 1995 – 2019. _____	50
Figura 12 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de pesos totales de pinchagua (<i>Opisthonema</i> spp.) durante 1995 – 2019. _____	51
Figura 13 Coeficientes normalizados de la variable biológica Peso eviscerado (log) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (<i>Opisthonema</i> spp.) durante 1995 – 2019 _____	53
Figura 14 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de pesos eviscerados de pinchagua (<i>Opisthonema</i> spp.) durante 1995 – 2019. _____	54

Figura 15 Coeficientes normalizados de la variable biológica Peso gónada (log) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (<i>Opisthonema spp.</i>) durante 1995 – 2019	56
Figura 16 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de pesos gónadas de pinchagua (<i>Opisthonema spp.</i>) durante 1995 – 2019.	57
Figura 17 Coeficientes normalizados de Madurez (Mat) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (<i>Opisthonema spp.</i>) durante 1995 – 2019	59
Figura 18 Coeficientes normalizados de temperatura superficial del mar (TSM): efecto espacial, trimestral y anual durante 1995 – 2019	61
Figura 19 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de temperatura superficial del mar (TSM) durante 1995 – 2019.	62
Figura 20 Coeficientes normalizados de altimetría (NMM): efecto espacial, estacional y anual durante 1999 – 2019	64
Figura 21 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de Altimetría (NMM) durante 1999 – 2019.	65
Figura 22 Coeficientes normalizados de clorofila (<i>Chlo_a</i>): efecto espacial, estacional y anual durante 1998 – 2018	67
Figura 23 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de clorofila (<i>Chlo_a</i>) durante 1998 – 2018	68
Figura 24 Coeficientes normalizados de Niño 1+2: efecto anual y estacional, durante 1995 – 2019	70
Figura 25 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de Índice ONI durante 1995 – 2019	71
Figura 26 Coeficientes del efecto zona: Z1 (Golfo de Guayaquil), Z2 (Puntilla de Santa Elena – Manta) y Z3 (Norte de Manta – Sur de Esmeraldas) obtenidas a partir de GLM para para las variables ambientales Clorofila (clo), Altimetría (NMM), Temperatura Superficial del Mar (TSM), así como variables biológicas: Longitud Total (LT), Madurez (Mat), Peso (P), Peso Eviscerado (PE) y Peso de Gónada (PG)	72
Figura 27 Comportamiento en las tendencias de los efectos anuales de las variables ambientales Peso y Clorofila (a) y Regresión Lineal entre efectos anual de Clo - Peso (b)	75
Figura 28 Comportamiento en las tendencias de los efectos anuales de las variables ambientales NMM y Madurez (a) y Regresión Lineal entre efectos anual de NMM y Madurez (b)	75
Figura 29 Comportamiento en las tendencias de los efectos anuales de las variables ambientales PDO y Talla (a) y Regresión Lineal entre efectos anual de PDO y Talla (b)	76

RESÚMEN

El conocer como el Cambio Climático (CC) alterará las poblaciones de peces ha sido tema de estudio a nivel mundial. A nivel regional es bien conocido como los factores ambientales influye sobre los rasgos biológicos de una determinada especie y esto ha permitido que se tomen medidas de manejo que permita una mayor resiliencia en las poblaciones de peces. En Ecuador trabajos de investigación respecto a estos temas son limitados, la mayoría se encuentran enfocados hacia los aspectos pesqueros (capturas) pero no existen trabajos donde se correlacione rasgos biológicos y como los procesos ambientales influyen en cada uno de estos parámetros.

Este trabajo se centra en conocer los cambios en los rasgos biológicos de la especie pinchagua (*Opisthonema* spp) como parte de un proceso de adaptación dado por la influencia de las variables oceanográficas a lo largo de la costa ecuatoriana, empleando parámetros biológicos como talla, peso, madurez, peso de gónada y variables oceanográficas de Temperatura Superficial del Mar (TSM), Clorofila (Chlo_a), Nivel Medio del Mar (Altimetría), Índice Niño 1+2, durante el periodo 1995 – 2019, empleando modelos lineales generalizados (GLM) y matrices de correlación de Pearson.

Opisthonema spp registra un decremento en la longitud promedio en los últimos 12 años, así como también una disminución en el peso promedio individual y un incremento en el porcentaje de individuos maduros. De igual manera se evidencia un cambio de régimen ambiental a partir del 2007 – 2008, donde marca el inicio en la disminución de la longitud promedio individual, coincidiendo con el incremento de la TSM, Altimetría, y cambios en las concentraciones de clorofila lo cual tiene impacto

negativo en los pesos promedios individuales, afectando de esa manera las biomásas de este recurso.

Palabras clave: Modelos Lineales Generalizados (GLM), altimetría, rasgos biológicos

ABSTRACT

Knowing how Climate Change (CC) will alter fish populations has been the subject of study worldwide. At a regional level, it is well known how environmental factors influence the biological traits of a certain species and this has allowed management measures to be taken that allow greater resilience in fish populations. In Ecuador research work on these issues is limited, most are focused on fishing aspects (catches) but there are no studies where biological traits are correlated and how environmental processes influence each of these parameters.

This work focuses on knowing the changes in the biological features of the pinchagua species (*Opisthonema* spp) as part of an adaptation process given by the influence of oceanographic variables along the Ecuadorian coast, using biological parameters such as size, weight, maturity, gonad weight and oceanographic variables of Sea Surface Temperature (SST), Chlorophyll (*Chlo_a*), Mean Sea Level (Altimetry), Niño Index 1 + 2, during the period 1995 - 2019, using generalized linear models (GLM) and Pearson's correlation matrices.

Opisthonema spp records a decrease in the average length in the last 12 years, as well as a decrease in the individual average weight and an increase in the percentage of mature individuals. In the same way, a change in the environmental regime is evident from 2007 - 2008, where it marks the beginning of the decrease in the individual average length, coinciding with the increase in SST, Altimetry, and changes in chlorophyll concentrations, which has negative impact on individual average weights, thus affecting the biomass of this resource.

Keywords: Generalized Linear Models (GLM), altimetry, biological traits

1. INTRODUCCIÓN

Muchos países, incluyendo los de economía menos desarrolladas, dependen de los sectores de la pesca para beneficios sociales, económicos y nutricionales (Barange et al. 2018). En la actualidad, las capturas de peces se han visto amenazadas por el clima, el cual cambia los patrones de pesca existentes, alterando las posibilidades de realizar capturas sostenibles (Burden & Fujita 2019).

Por lo general, las especies pelágicas y las pesquerías que se sustentan a partir de estas poblaciones, se desarrollan en sistemas de altas surgencias, los cuales pueden tener mayores capacidades para adaptarse al cambio climático que otras especies que presentan un largo ciclo de vida (Perry et al. 2010).

Los ecosistemas pelágicos producen capturas de 3.6 millones de toneladas en 2003, representando aproximadamente el 5.5% de las capturas totales de las pesquerías a nivel mundial (Brander 2010). Dentro de estos ecosistemas, se encuentran las poblaciones de peces pelágicos pequeños tales como macarela (*Scomber japonicus*), sardina (*Sardinops sagax*), botella (*Auxis spp*), pinchagua (*Opithonema spp*), los cuales a nivel mundial han experimentado cambios en su distribución y abundancia, debido a factores oceanográficos, así como la presión por pesca. Estas especies son importantes en el ecosistema por ser presas de los grandes depredadores tales como atunes, tiburones, ballenas (Barange et al. 2009; Chavez & Messié, 2009)

Las pesquerías de acuerdo al área de ocurrencia de las mismas, se han visto afectadas de forma histórica por la variabilidad climática. Chavez et al. (2017); Cornejo (2007), indica que a manera general, estas fluctuaciones estarían dadas por las fases cálidas y frías, donde las fases cálidas están asociadas a que ciertas pesquerías sean más productivas, mientras que las fases frías gatillan una mayor productividad para otras. A su vez, hacen referencia que el Cambio Climático (CC) alterará el desarrollo normal de los procesos oceanográficos causando condiciones ambientales impredecibles y de grandes magnitudes (incremento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), acidificación, bajo nivel de oxígeno, cambios en los patrones de circulación, incremento del nivel medio del mar (NMM)).

Cornejo (2007), da a conocer que la oceanografía del Océano Pacífico Tropical Oriental, tiene por rasgo más importante el gran rango del ciclo anual (estacional) de la TSM, la variabilidad de El Niño (interanual), así como procesos interdecadales (PDO – Oscilación Decadal del Pacífico). Este último comprende periodos cálidos y fríos de alrededor de 25 – 30 años, donde el último cálido fue de 1977 a 1999, mientras que el presente periodo frío inició en el 2000 y se prolongaría hasta el 2025/2030 (Ormaza-González et al. 2016). A nivel local, en las costas de Ecuador, los procesos oceanográficos se encuentran influenciados por la presencia de las corrientes de El Niño (o Panamá), Corriente de Perú (o Humboldt) y Sub Corriente Ecuatorial (o de Cromwell), (F. Ormaza, 2016; Riofrío & Chavarría, 2009).

El Frente Ecuatorial separa las aguas más frías y ricas en nutrientes procedente de la corriente de Humboldt de las aguas cálidas superficiales y pobres en nutrientes procedentes del norte (Cucalón, 1996) influenciando las zonas centrales de la costa de Ecuador (Riofrío & Chavarría, 2009). La corriente fría de Humboldt (14-18°C) recorre las costas de América del Sur, proviniendo de las aguas frías de las regiones subpolares, produciendo el

ascenso de aguas más frías de una profundidad de 100 a 200 metros provocando enfriamiento en las costas. Por otro lado, entre los meses de diciembre y abril, se registra la presencia de un flujo costero que se dirige hacia el sur, son aguas tropicales cálidas (25-27°C), con baja salinidad así como también pobre en nutrientes, la cual proviene desde la bahía de Panamá y se la conoce como Corriente de El Niño (Cucalón, 1996).

Otra corriente que es modificadora del clima en el Pacífico Ecuatorial es la llamada Corriente de Cromwell, la misma que es un flujo subsuperficial que viaja hacia el Este y tiene su eje en el ecuador geográfico entre los 3°N-3°S. Durante su trayectoria, al encontrarse cerca de las Islas Galápagos se separa en dos ramales, el ramal de la extensión Norte de la Corriente de Cromwell que baña las costas centrales de Ecuador y el ramal de la extensión Sur que llega hacia el Perú (Flores et al., 2009), (Figura. 1).

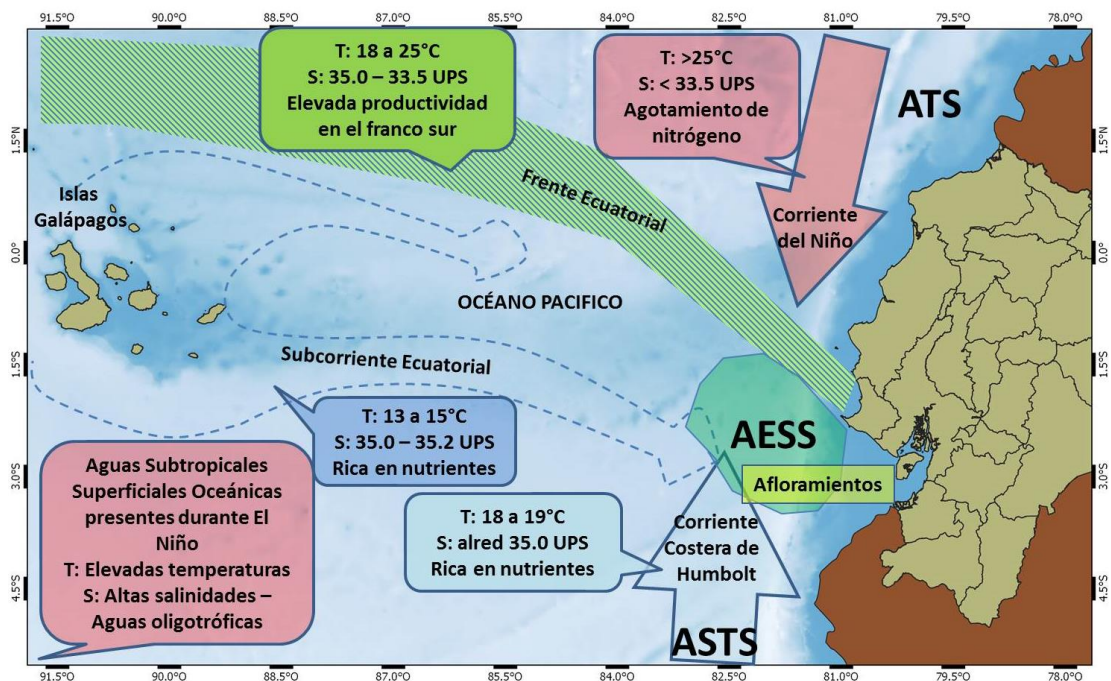


Figura 1 Flujo de corrientes marinas que tienen influencia en la costa ecuatoriana. Fuente: Elaboración propia a partir de Riofrío & Chavarría, 2009.

De igual manera, esta zona se ve afectada por la presencia de eventos extremos, denominados El Niño en su fase cálida y La Niña en su fase fría, los cuales causan cambios significativos en la variabilidad anual (Tutasi et al. 2011). La presencia de estos tipos de eventos causa afectaciones tanto positivas (disponibilidad de especies como dorado, camarón) como negativas (disminución de capturas en especies de pelágicos pequeños) en el ámbito de las pesquerías.

Cornejo (2007), Cahuin et al. (2013), y Jiménez (2008), indicaron que, durante eventos como El Niño los recursos pesqueros se verían afectados negativamente, alterando sus patrones de distribución, biomasa, tamaño, reclutamiento (ingreso de nuevos individuos a la pesquería), así como también el incremento en el nivel medio del mar; para el caso del evento de La Niña, los impactos son positivos. De manera similar, De la Cuadra (2010), en su investigación sobre los cambios de temperaturas en el océano asociadas a las fases cálidas y frías del ciclo ENOS, y a las capturas históricas de Peces Pelágicos Pequeños (PPP), ha determinado que estos procesos ocasionan la migración de las diferentes especies pelágicas pequeñas y, consecuentemente, una disminución de los desembarques de estas especies. Es así que, al producirse un aumento en la TSM, se registra la desaparición de la especie *Scomber japonicus* (macarela) en las capturas pesqueras; mientras que, cuando hay un decremento en la TSM, se observa un incremento en los desembarques pesqueros de la especie *Sardinops sagax* (sardina del sur).

La pesquería de Peces Pelágicos Pequeños (PPP) es una de las más antiguas en Ecuador. French & Menz, (1983) documentan que su inicio se dio en 1962, donde las faenas de pesca se realizaban en la orilla del mar, pero no fue hasta la década de los 80's donde se dio el boom de esta pesquería, con capturas anuales promedio de 900 000 t, mientras que en la actualidad

se calculan en 211 000 t aproximadamente (Instituto Público de Investigación en Acuicultura y Pesca, 2020). Dentro de las especies más emblemáticas que forman parte de esta pesquería, se encuentra la pinchagua (*Opisthonema* spp), cuyas capturas representan el 18% del total capturado dentro de la pesquería (comunicación personal) (Figura 2).

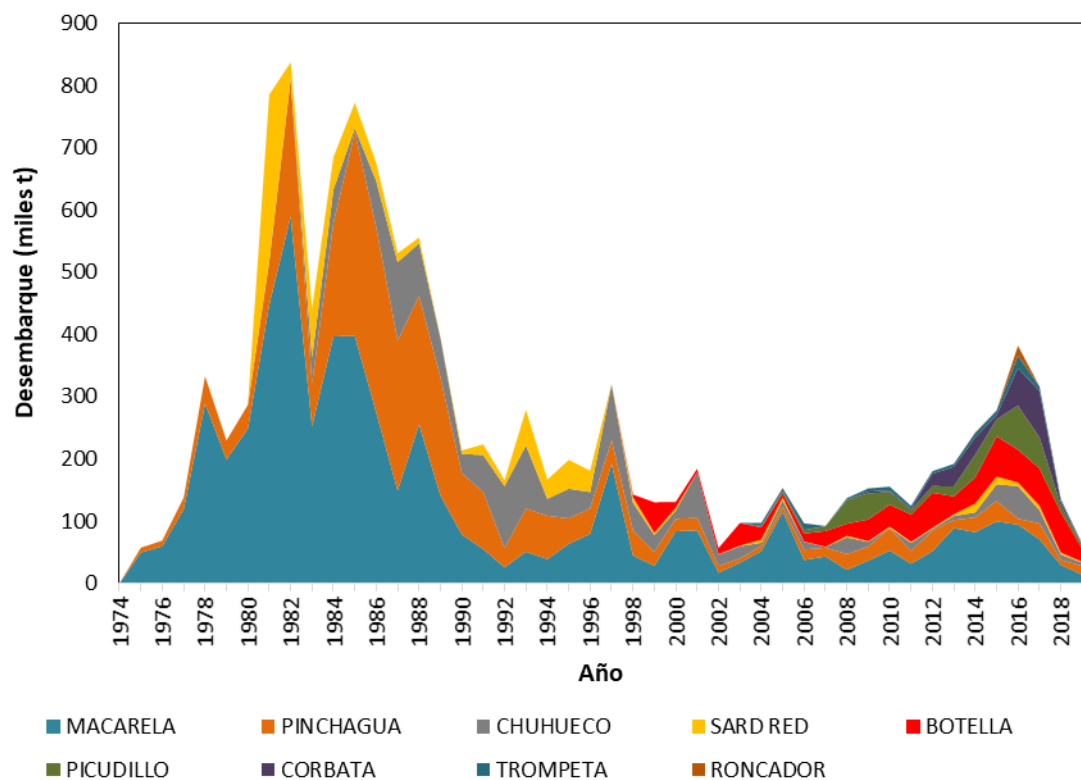


Figura 2 Desembarques de pelágicos pequeños principales del Ecuador 1975-2017. Fuente: Evaluación de stocks de recursos pelágicos pequeños del Ecuador, 2020. (Canales et al, 2020)

Esta especie se distribuye desde el norte del Golfo de California hasta la Bahía de Sechura en Perú (Whitehead, 1985). Su distribución en Ecuador está dada desde Esmeraldas hasta el sur del Golfo de Guayaquil (González & Solís, 2010). Cuatro especies de pinchagua son registradas para aguas ecuatorianas, tres pertenecientes a la zona continental: *Opisthonema bulleri*,

Opisthonema libertate y *Opisthonema medirrastrre*, y una cuarta especie (*Opisthonema berlangai*) alrededor de las islas Galápagos (Gonzalez & Solís, 2010). Estas especies comparten características externas similares, por lo que su identificación se la realiza a partir del conteaje de espinas que se localizan en las branquias; por lo que, de acuerdo al número de estas, se puede determinar la especie (Figura 3).

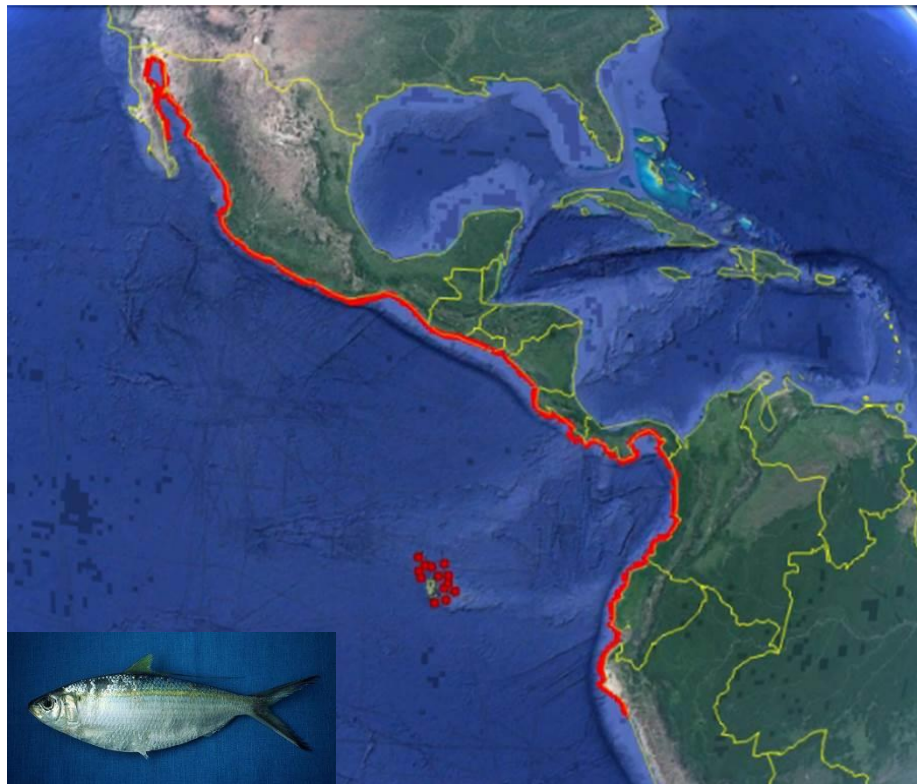


Figura 3 Distribución Espacial de Opisthonema spp.

Foto: Instituto Público de Investigación en Acuicultura y Pesca.

De acuerdo a la última evaluación poblacional de *Opisthonema spp*, esta especie, ha tenido altas variaciones en sus biomásas como resultado de los reclutamientos. Se estima que, durante la década de los ochentas, fueron los grandes reclutamientos, los que generaron un crecimiento en biomasa por

sobre el valor virginal de $B_0=197$ mil toneladas (Figura 4). En la actualidad, los valores calculados de biomasa y mortalidad por pesca indican que la pinchagua no está en condición de sobrepesca, y que el riesgo de sobreexplotación llega al 10% (Canales et al., 2020).

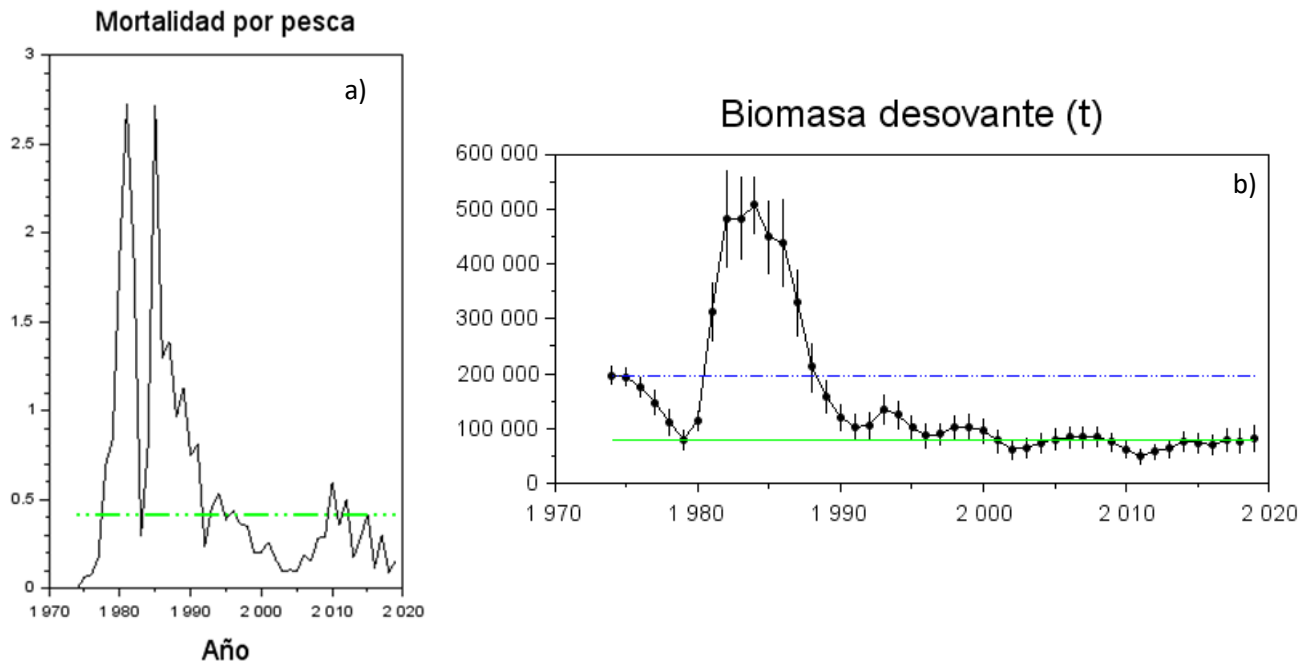


Figura 4 a) Mortalidad por pesca anual y potencia desovante. La línea verde es el objetivo, b) Biomasa desovante con IC95% (líneas verticales). La línea horizontal azul es B_0 y la línea verde es el objetivo $40\%B_0$. Tomado de: Evaluación de stocks de recursos pelágicos pequeños del Ecuador, 2020. (Canales et al, 2020)

Las capturas de pinchagua, la realizan embarcaciones de madera de clase I y II (hasta 35 tonelaje de registro bruto) a lo largo de la costa ecuatoriana, durante la fase de luna nueva (denominada “oscura”), que dura aproximadamente 22 días, en zonas costeras hasta aproximadamente las 20 millas náuticas (French y Menz, 1983).Las principales localidades donde se desembarcan esta especie son: Esmeraldas (Prov. Esmeraldas), Jaramijó,

Bahía de Caráquez, Crucita (Prov. de Manabí), Libertad, Chanduy, Anconcito, Palmar (Prov. De Santa Elena) y Posorja (Prov. del Guayas).

Esta especie es un desovador parcial, con dos periodos de actividad reproductiva: la primera entre octubre y noviembre, y la segunda entre febrero y marzo de cada año, lo cual coincide con los mayores pesos de gónadas al momento de elaborar el Índice Gonadosomático (I. Cedeño & González, 2008; Santos & Fuentes, 1992). Por su parte, Calderón-Peralta et al., (2020), en el estudio de caracterización de zonas de crianza y desove de peces registran una variada diversidad y abundancia de huevos y larvas de las familias Engraulidae, Clupeidae, Carangidae, Scombridae y Sciaenidae, dentro de las primeras millas de la zona marina-costera.

Dentro del ámbito económico local, la pinchagua constituye a nivel general uno de los recursos pesqueros de mayor importancia social y económica para nuestro país, luego del atún, representando uno de los aportes más significativos de la producción nacional, cuya actividad extractiva, desembarque, procesamiento (enlatados) y exportaciones, generan una importante fuente de divisas para el país (Jurado et al., 2018). Según Ormaza et al., (2018), en el análisis causa – raíz de la pesquería, indican que el encadenamiento de la pesquería de pelágicos pequeños genera aproximadamente 24 563 puestos de trabajo de manera directa e indirecta. Para el 2019, datos de exportaciones del Banco Central del Ecuador muestran que las exportaciones de conservas de pinchagua fueron de USD 69 millones representando el 4.4 % de las exportaciones del sector pesquero que totalizaron USD 1 560 millones ese mismo año (Cámara Nacional de Pesquería, 2019).

Ormaza, et al., (2018), en ese mismo informe, señalan que 1 600 personas, trabajan directamente en la actividad de eviscerado, distribuidos en

Manabí (66%), Santa Elena (20%) y un 14% distribuidos en las demás provincias. Otro trabajo realizado por la Universidad de la Península de Santa Elena (UPSE) en el 2013, denominado “*Evaluación de la Actividad de las embarcaciones artesanales con red de cerco en las provincias de Santa Elena, Esmeraldas, El Oro, Manabí y Guayas*” determinó que, alrededor de 2 112 personas, se dedican a eviscerar este recurso y que éstas se encontraban concentradas en las provincias de Manabí y Santa Elena, siendo las mujeres quienes lideran esta actividad.

La pinchagua, al igual que las demás especies de peces pelágicos, ha presentado fluctuaciones importantes en sus abundancias y condiciones biológicas las cuales podrían estar asociadas a las condiciones oceanográficas, así como también el efecto causado por la presión por pesca (Canales et al., 2013), similar situación se ha registrado en la pesquería de sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) en el Golfo de California (GC) en México, donde las causas de estas fluctuaciones han sido tratadas bajo enfoques de variabilidad ambiental en diferentes escalas de espacio y tiempo, obteniendo como resultado que en el GC la TSM, tiene una marcada estacionalidad, trayendo como consecuencia que las diferentes especies que allí habitan se redistribuyan afectando la distribución y composición espacial de los recursos pelágicos (Lanz, 2008).

Cushing (1982), indica que las especies de este género por ser abundantes y por su hábitos alimenticios desarrollan un papel muy importante en el ambiente marino, debido por el tipo de alimentación que tienen, son filtradores y al ingerir plancton acumula parte de la energía que se encuentra disponible en el ecosistema pelágico, la misma que es incorporada a manera de biomasa y es aprovechada por los diferentes organismos que forman parte de los niveles tróficos superiores, razón por la cual convierten a estas especies en un importante recurso pesquero. Cervantes et al. (1992), señalan que se

alimenta principalmente de diatomeas, seguidas en orden de importancia por crustáceos como anfípodos y copépodos, huevos de peces, dinoflagelados. Estudios realizados por Barange et al. (2018), exteriorizan que ante un escenario de cambio climático la producción primaria de los océanos disminuirá entre 9% y 21%, produciendo cambios en la luminosidad, temperatura y nutrientes, por lo cual esta especie se vería limitada en conseguir su alimento óptimo para poder cumplir con sus actividades fisiológicas por lo cual se vería afectado el reclutamiento.

Chavez et al. (2017), señalan que el Cambio Climático (CC) está impactando las pesquerías de California, en especial la correspondiente a la sardina del pacífico, afectando los stocks de peces y las comunidades pesqueras. A su vez, dan a conocer que los impactos directos hacia las comunidades pesqueras estarían dados por el incremento del nivel del mar, así como también de las precipitaciones, afectando las infraestructuras pesqueras que son base para sus negocios, mientras que los impactos indirectos se verían relacionado por los cambios en la distribución, abundancia de los recursos.

De igual manera, Chávez et al., (2017), y Lanz (2008), han registrado cambios en las variables oceanográficas físicas, las cuales han sido los generadores de los impactos directos e indirectos en las poblaciones de peces. A su vez indican que las condiciones oceanográficas más extremas afectarían la fisiología de las especies, disponibilidad de hábitat, calidad y abundancia de presas, interacciones de especies entre otros, y que a su vez influirían en la dinámica de la población y en la sostenibilidad de las poblaciones de peces.

Ormaza et al., (2016) han documentado en su estudio sobre si los desembarques de PPP podrían ser empleadas como predictores de eventos oceanográficos; que los cambios en la temperatura del agua, ya sea hacia el

incremento o a la baja, podrían causar redistribución de las poblaciones de peces y a su vez hacer que disminuya la posibilidad de que sean capturados por las diferentes pesquerías, y que estos cambios podrían generar modificaciones en el crecimiento de los peces, supervivencia, afectando los rangos de reproducción.

A nivel regional se cuenta con una serie de investigaciones, donde se da a conocer los efectos que la variabilidad ambiental ejerce en los rasgos biológicos de las poblaciones de especies pelágicas (Canales et al., 2018; Kreiner et al., 2001; Yáñez et al., 1992), a diferencia de Ecuador, donde trabajos de investigación respecto a estos temas son limitados. Ormazá, et al., (2016); Cornejo, (2007); De la Cuadra, (2010), en sus diferentes investigaciones han correlacionado las variaciones de los desembarques de especies como pinchagua, macarela, sardina redonda, entre otras especie pelágicas con Índices Niño Oceanico (ONI), Índice Multivariado de ENSO (MEI) y PDO, así como los impactos ocasionados por la presencia del Fenómeno El Niño y La Niña, pero no existen trabajos en este país donde se correlacione varios rasgos biológicos, a nivel específico de talla, peso, madurez, peso gónada de los individuos capturados. y como los procesos ambientales influyen en cada uno de estos parámetros, donde los resultados de esta investigación nos darían a conocer si el ambiente estaría provocando afectación en la estructura poblacional de este recurso, como se lo ha venido observando en las poblaciones de especies pelágicas distribuidas en otros países.

El poder conocer como el ambiente influye en las características biológicas de una especie en particular, permitiría determinar cuál parámetro biológico se está afectando, y a su vez se conocería que los cambios de la estructura poblacional de un recurso en particular estaría dado no sólo por efecto de actividad extractiva sino también como consecuencia del ambiente,

permitiendo incorporar recomendaciones más precisas bajo un enfoque ecosistémico en el proceso de manejo (Canales et al., 2018; Cheung et al., 2013; Sheridan & Bickford, 2011).

Adicionalmente en el país, el manejo pesquero se lo realiza a partir de recomendaciones dadas por el seguimiento de los indicadores biológicos – pesqueros, así como por resultados de evaluación de stocks; por lo tanto, la gobernanza de la pesquería está basada en la dinámica de poblaciones, sin incluir el ambiente o las condiciones oceanográficas, que influyen tanto en la distribución horizontal, vertical, reproducción y crecimiento (Ormaza et al., 2018).

Por lo anteriormente expuesto, en este trabajo de investigación se propone ir un paso adelante en el enfoque de las investigaciones sobre la interacción entre ambiente y recurso, de esa manera no sólo limitarnos al comportamiento de las capturas, sino ser más específicos al emplear parámetros biológicos y determinar cómo el ambiente estaría jugando un rol importante en el normal desarrollo de los individuos que conforman las poblaciones de pinchagua y de esa manera conocer si esta especie ha pasado por un proceso de adaptación como respuesta a las variaciones del ambiente, lo cual nos permitirá obtener resultados que podrán generar recomendaciones de manejo que permita crear resiliencia ante un evento de CC.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las adaptaciones en los rasgos biológicos que la especie pinchagua (*Opisthonema* spp) habría desarrollado en respuesta a las variaciones de las condiciones oceanográficas (Temperatura Superficial del Mar, Nivel Medio del Mar, Clorofila), frente a las costas ecuatorianas en el periodo 1995 y 2019.

2.1 Objetivos Específicos

- Identificar patrones espacio-temporales de los rasgos biológicos de pinchagua (*Opisthonema* spp) frente a las costas del Ecuador entre 1995 y 2019
- Determinar patrones espacio-temporales de las condiciones oceanográficas marinas (Temperatura Superficial del Mar, Nivel Medio del Mar, Clorofila) frente a las costas de Ecuador entre 1995 y 2019
- Evaluar posibles correlaciones entre los rasgos biológicos de pinchagua (*Opisthonema* spp) y las condiciones oceanográficas frente a las costas de Ecuador entre 1995 y 2019.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

El reporte especial de Océanos y Criósfera indica que el Cambio Climático (CC) impactará al océano y a la criósfera, pero también puede presentar oportunidades para el sector turismo y pesquero, esto es, por el aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el océano donde las poblaciones de peces se podrían redistribuir, permitiendo nuevas oportunidades de pesca, así como reducir el impacto en algunas pesquerías ya establecidas (Bell et al., 2011; Fenichel et al., 2016).

Estos impactos podrían darse alrededor de todo el mundo, siendo los trópicos los que se podrían ver más afectados, mientras que podría ser de beneficio en latitudes altas. Esto traerá como consecuencias que algunas pesquerías lleguen a su declive, mientras que otras se adaptarán e incluso se volverán prósperas (Burden & Fujita, 2019). Es por esto que el manejo pesquero es muy importante para reducir la vulnerabilidad de las pesquerías ante el CC, debido a que los cambios en la distribución, abundancia, productividad serán más marcados y de forma rápida (Peer & Miller, 2014).

Barange, et al., (2018) en su edición sobre como el CC impactará a las pesquerías y a la acuicultura, indican que el forzamiento antropogénico ha hecho una contribución substancial al calentamiento del océano en sus capas superiores (cerca de los 700 m) y que se ha venido observando desde 1960. Se espera que la temperatura se incremente en diferentes regiones a nivel global y será más prominente en el hemisferio Norte, especialmente en el Atlántico Norte. Adicionalmente, se espera que el calentamiento continúe en el siglo XXI especialmente en el trópico y en las regiones del hemisferio norte

subtropical, mientras que en aguas profundas se espera que el calentamiento sea más pronunciado en el Océano Austral.

Ante un escenario de CC, la TSM será uno de los parámetros que podría sufrir mayores cambios. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en su Reporte de Evaluación 5 (AR5, por sus siglas en inglés) del 2014, indica que la TSM calculada a partir de una tendencia lineal, muestra un incremento de 0.85°C , durante el período 1880-2012, es decir que la TSM se incrementaría $0.85^{\circ}\text{C}/132$ años. De acuerdo a los diferentes escenarios de emisiones se indica que para finales del siglo XXI, los primeros 100 m se calentarían en 0.6°C (RCP 2.6) a 2.0°C (RCP 8.5), mientras que para los 1000 m en el RCP 2.6 sería de 0.3°C a 0.6°C en el RCP 8.5 en comparación con el promedio de 1986 a 2005 (IPCC, 2014).

3.2 Variables ambientales y su influencia en los rasgos biológicos

El CC va a conducir alteraciones significativas en la distribución, fenología y comportamiento de todos los organismos (Biro et al., 2010), estos cambios han sido documentados en un creciente número de especies en múltiples continentes, tanto en organismos marinos como terrestres, pero en los últimos tiempos es cuando se han iniciado las investigaciones de cómo va afectar el CC en el normal desarrollo y crecimiento de las diferentes poblaciones de peces (Brander, 2010; Sheridan & Bickford, 2011). El incremento de la temperatura como consecuencia del CC va a influenciar en el tamaño de los organismos desde aquellos que forman parte de los productores primarios (fito y zooplancton), hasta aquellos que conforman los predadores topos (Gardner et al., 2011).

De igual manera Gardner et al., (2011); Sherida y Bickford (2011) señalan que el CC antropogénico está directamente involucrado en la reducción del tamaño del cuerpo de las especies; esto se debe a que se verán afectadas por la termorregulación y energía que involucra mantener los procesos biológicos (Figura 4). El cambio en el tamaño del cuerpo tiene implicaciones en la resiliencia de los organismos al momento de enfrentar el CC, por lo cual determinar cómo los cambios medio ambientales tienen relación con la reducción del tamaño del cuerpo, permitirá predecir las respuestas de las especies hacia el CC.

A su vez, se ha demostrado que los cambios en la biología de los individuos en lo relacionado al crecimiento en peso y corporal está ligado a los cambios que se producen en la distribución y abundancia de los stocks de especies pelágicas (Dragesund et al., 1997; Winters & Wheeler, 1994). Varios estudios han probado la manera en cómo el crecimiento de los peces influye en los factores denso-independiente y denso dependiente de las poblaciones (Jenkins et al., 1999), demostrando como el incremento de la densidad de las poblaciones es causado por una disminución en el crecimiento de los individuos. A nivel poblacional, el incremento en el tamaño de la población se lo ha relacionado por la reducción del crecimiento corporal en especies pelágicas (Winters y Wheeler, 1994; Dragesund et al., 1997), esto ha sido documentado en las poblaciones de macarela y sardina del mar del norte, donde se ha registrado estos cambios como producto del efecto de los factores denso-independiente (ambiente).

Cheung et al., (2013); Sheridan & Bickford (2011), han determinado que el incremento de la TSM reducirá el nivel de oxígeno en el agua, el cual impactaría en el crecimiento de los peces, debido al incremento del ritmo metabólico, los organismos tienen que dividir la energía requerida entre su

mantenimiento fisiológico, crecimiento y reproducción, por lo cual limitarán el crecimiento en favor de poder mantener la reproducción.

Heino & Kaitala (1999), indican que la vida reproductiva de los individuos está dada por la energía que se transfiere entre mantener la actividad reproductiva o el crecimiento (Figura 5), por lo cual se prioriza mantener un estado de reproducción constante sobre el alcanzar mayores crecimientos. De igual manera, se ha registrado que el patrón de crecimiento se altera de manera significativa al momento que las especies alcanzan su madurez sexual, cambiando la estrategia de asignación de energía (Quince et al., 2008).

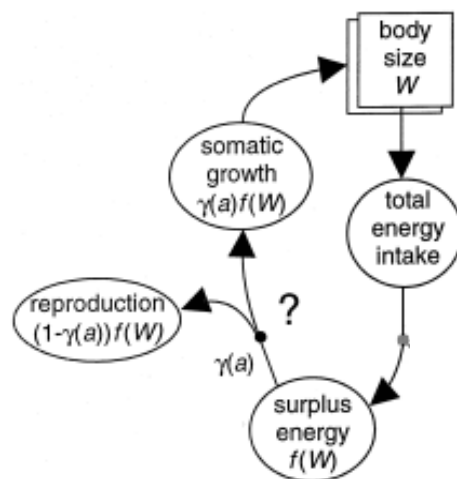


Figura 5 Modelo de representación de asignación de energía entre reproducción y crecimiento somático. Tomado de: Evolución de los recursos de asignación entre crecimiento y reproducción en animales con crecimiento indeterminado (Heino & Kaitala, 1999)

Mientras que Canales, et al., (2018), en el estudio donde relaciona las condiciones oceanográficas con los procesos biológicos de anchoveta (*Engraulis ringens*) correspondiente a la población que se desarrolla al Sur de Perú y Norte de Chile, obtuvieron como resultado que esta especie había

disminuido la longitud promedio y el peso individual pero que había ganado peso en sus gónadas como parte de un proceso de adaptación a las condiciones oceanográficas.

Así mismo, otros estudios han mencionado que el CC tendrá impactos positivos y negativos en los stocks de peces. Entre los positivos se encuentran los relacionados a alteraciones en el comportamiento y la fisiología, así como su capacidad de crecimiento, reproductivo, mortalidad y distribución, mientras que los negativos están concatenados hacia alteraciones en la productividad, estructura y composición de los ecosistemas marino, donde los diferentes stocks de peces dependen de un saludable ecosistema para poder obtener alimento. Sin embargo, otros factores como la pesca, interacción biológica entre los individuos de un mismo cardumen y factores no ambientales pueden tener efectos similares (Brander, 2010), de igual manera una explotación constante hacia los diferentes recursos pesqueros pueden alterar la estructura de las poblaciones y de los ecosistemas, y modificaría su capacidad de respuesta (resiliencia) hacia el clima (Planque et al., 2010).

Los diferentes ecosistemas marinos han incrementado su vulnerabilidad, debido a los múltiples cambios que han surgido como producto del CC, siendo los ecosistemas costeros o someros los que podrían verse mayormente afectados (Anadón et al., 2009). Existen diferentes tipos de energía que fluyen dentro del ecosistema marino, entre estos se encuentran los controles bottom-up, donde es el medio físico que afecta de una manera drástica toda la productividad del ecosistema, así como también la dinámica de las agregaciones de peces y el control de cintura de avispa, siendo los peces pelágicos pequeños los fundamentales dentro de este tipo de control, en el cual se maneja tanto la abundancia de los organismos inferiores (fito, zooplancton) como superiores (depredadores topos, aves). En otras palabras el colapso de estas especies, o alteraciones en sus patrones de distribución,

pueden generar cambios drásticos en niveles tróficos superiores, pero también en los inferiores, por lo cual es importante conocer lo que las implicaciones a estas especies podría afectar al ecosistema (Cury et al., 2003).

Las diferentes especies de peces tienen una temperatura óptima para su desarrollo, la cual para la pinchagua varía entre 24°C y 29°C (Binohlan, 2019), la misma que le permite cumplir cada una de sus funciones. Su incremento afectaría procesos biológicos fundamentales tales como el desove, provocando variaciones en los patrones reproductivos, disminución en la puesta de huevos, número de huevos fecundados, número de supervivientes, poniendo así en peligro la supervivencia y continuidad de estos recursos (Brander, 2010; Cárdenas, 2009).

Es así que cuando se han presentado eventos El Niño extremos, se han registrado impactos significativos en los procesos biológicos de la sardina (*Sardinops sagax*), encaminados a la reducción del factor de condición, el cual mide el bienestar de un pez en relación al incremento del peso corporal a medida que incrementa su longitud, así como del índice gonadosomático, donde se relaciona el incremento del peso de la gónada y está ligado a la época de desove (Bertrand et al., 2020; Cárdenas, 2009; Kreiner et al., 2001). De igual manera en estudios realizados por Brander (2010), da a conocer que la disminución del peso individual de los organismos contribuye directamente a la disminución de las biomásas y como resultado un lento de periodo reproductivo, debido a que la energía metabólica es limitada y compartida para otros procesos vitales como el crecimiento, por ende dará como consecuencias fallos en el reclutamiento.

Se puede decir que los procesos de reproducción de los organismos en el océano están modulados en parte, por las variaciones de las condiciones oceanográficas, las cuales ocurren en diferentes escalas de espacio y tiempo

(Salas de León & Monreal Gomez, 2005). Canales et al., (2018), indican que la época de desove de la anchoveta, se encuentra ligada a la disminución del nivel medio del mar (NMM), coincidiendo con lo registrado por (Bakun, 1996), el cual resalta que los habitats propicios para que se realicen los procesos reproductivos de especies pelágicas se encuentra cuando disminuye el NMM.

IPCC (2014) da a conocer que es probable que los niveles del mar extremos (por ejemplo, los que se producen con las mareas meteorológicas) hayan aumentado desde 1970, principalmente como consecuencia del aumento del nivel medio del mar, así también indica que durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 (0,17 a 0,21 m). (Dawahidi et al., 2019), indicaron que el incremento del nivel medio del mar relacionado al calentamiento de los océanos y las pérdidas de las masas de hielo, causará graves problemas en las áreas costeras, consideradas uno de los ambientes más frágiles del medio terrestre.

Las variaciones del NMM en la zona ecuatorial están controladas por forzamiento remoto, siendo el principal proceso oceanográfico relacionando la propagación de Ondas de Kelvin Ecuatoriales, desde el Pacífico Ecuatorial Occidental, hacia el Pacífico Ecuatorial Oriental, y a lo largo de la costa Oeste de Sudamérica (Enfield et al., 1987; Ripa, 1980). Durante un evento El Niño, la amplitud de las variaciones del NMM es máxima, encontrándose hasta 47 cm en La Libertad (Moreano et al., 1986). También se ha observado que existe una diferencia estadísticamente significativa de las variaciones intraestacionales del Nivel del Mar entre distintos tipos de eventos El Niño. En los eventos El Niño Canónicos (o del Pacífico Oriental), en sitios como Galápagos y La Libertad, la varianza (energía) del Nivel del Mar es más alta que durante los eventos El Niño Modoki (o del Pacífico Central, Cedeño 2015).

Se espera que como consecuencia del CC eventos como el Niño y la Niña se conviertan más frecuentes e intensos en toda la región y por ende afectando el NMM, lo anterior fue comprobado por Cai et al. (2018) en el trabajo "*Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming*", donde encontraron el aumento significativo en la variabilidad de la TSM y que este incremento se debe a la intensificación de la estratificación de la capa superior del océano inducida por el calentamiento a consecuencia del efecto invernadero en el Pacífico ecuatorial, produciendo una mejora en el acoplamiento océano-atmósfera. En conclusión este incremento en la varianza de TSM implicaría un aumento en el número de eventos El Niño "fuertes" (correspondientes a grandes anomalías de TSM) y eventos climáticos extremos asociados.

Adicionalmente, otras variaciones del medio ambiente y el impacto sobre las poblaciones de peces han sido estudiadas por Fonseca et al. (1986); Yáñez et al. (1992), reflejándose en los cambios de patrones en la distribución de estos recursos, asociados a cambios temporales de la temperatura superficial del mar, así como también por aquellos provocados por la variación en la producción primaria y altimetría (Canales et al., 2018). En el Golfo de California se han reportado estos tipos de patrones ligados a cambios en las condiciones oceanográficas, así como también en la presión por pesca (García Franco et al., 2001).

Balcazar (2011); Meza Figueroa (2016), indicaron que las fallas en los reclutamientos de esta especie estarían dadas por la falta de disponibilidad de alimento especialmente en la etapa larvaria, mientras que otros autores lo atribuyen a procesos físicos como las variaciones de la temperatura superficial del mar. Cubillos & Montes, (2000), registraron que cuando relacionaron las variaciones en la TSM con las fluctuaciones de diferentes especies pelágicas

tales como anchovetas (*Engraulis ringens*) o sardinas (*Sardinops sagax*) obtuvieron como resultado que la variabilidad de la TSM estaba concadenada con la variabilidad de baja frecuencia en las poblaciones de estos recursos pelágicos.

Otros autores han demostrado que cambios en las temperaturas del mar, incluyendo las diferencias en los patrones estacionales, podría influir en el comportamiento, crecimiento, reproducción y capacidad de regeneración de las especies marinas en especial de las especies pelágicas (Alexander et al., 2018), adicionalmente se podría decir que cada especie tiene sus características intrínsecas que va a permitir manejar su propia resiliencia y poder tolerar los cambios en el ambiente (Brander, 2010).

En lo que respecta a la producción primaria, se ha observado disminuciones de especies de fitoplancton y zooplancton debido al calentamiento de las aguas o a la extensión de los períodos fríos (Brander, 2010; Jiao, 2009), incluso se han registrado cambios en las especies dominantes dentro del ecosistema, alterando de manera profunda la fenología (relación entre factores climáticos y ciclo de vida de los seres vivos) y por ende las interacciones tróficas, estructura de alimentación y el normal funcionamiento del ecosistema (Edwards & Richardson, 2004).

La abundancia y composición del plancton se encuentra fuertemente relacionada con la variabilidad climática de manera natural, pero el CC va a alterar la fenología de los organismos, modificando la distribución, cambios y estructuras de las especies de este grupo de organismos, lo cual va a conducir a una afectación en la cantidad de energía disponible a través de la estructura del ecosistema y por ende de las interacciones tróficas (Druon et al., 2019).

Los patrones de migración para especies de la familia de sardinias, donde pertenece la pinchagua, son altamente variables y dependen de los cambios dados en los patrones oceanográficos, así como en las oportunidades para alimentarse (Kvamsdal et al., 2016; Skagseth et al., 2015), estos patrones de migración han sido documentados en las especie de sardinias que habitan en el mar de Noruega, dónde los periodos de desoves están ligados a la dependencia de alimentos (fitoplancton) y las concentraciones de éstos en las zonas donde habitan, el asegurar una buena alimentación permitirá que los individuos tengan reservas y garantice un buen proceso de desove y de migración (Sheridan & Bickford, 2011). Mientras que en el GC las especies de sardinias que ahí se desarrollan han sufrido fluctuaciones por fallas en el reclutamientos dada por la carencia de alimento, el cual es determinante para la sobrevivencia de las larvas (Lanz, 2008; Balcazar, 2011; Meza Figueroa, 2016), razón por la cual la producción de alimento en las zonas donde se desarrollan los diferentes recursos es de vital importancia para el desarrollo óptimo de los mismos (Cury & Roy, 1989; Lluch-Cota et al., 1999).

Parrish & Mallicoate (1995), indicaron que la disponibilidad de comida y los factores físicos (temperatura) del medio ambiente donde se desarrollan las especies, afectan al factor de condición (índice de salud de los individuos de una población) así como también el estado de maduración, y que a su vez la disponibilidad de alimento va a depender de las condiciones ambientales y de cuán abundante sea la población. (Kreiner et al., 2001), en su trabajo que realizaron en el Ecosistema de Benguela, encontraron que las especies de Sardina (*Sardinops sagax*), que ahí se distribuyen han desarrollado estrategias oportunistas para alimentación y que existen variaciones y patrones estacionales de alimentación entre las poblaciones de sardinias del norte y sur de Benguela, afectando el crecimiento en peso y a su vez sus periodos de desove, o cual se ve reflejado en la variabilidad del índice de

condición y gonadosomático, siendo los valores más bajos al año siguiente de un evento Niño, el cuál fue registrado como significativo para esa zona.

Estudios realizados en poblaciones de especies de macarela y sardinas al Noreste del Oceano Atlantico, han determinado que existe una clara relación en la disminución del rango de comida por pez, lo cual da como resultado en una disminución en el crecimiento de juveniles y pre-adultos, se llegó a esta conclusión debido a lo observado en el seguimiento de los parámetros longitud, peso y edad (Jansen & Burns, 2015; Olafsdottir et al., 2015), así como también se ha registrado que la falta de disponibilidad de alimento puede influir en la migración de estas poblaciones hacia zonas donde el agua es más productiva (Pacariz et al., 2016).

Del lado del Pacífico, también se han registrado este tipo de comportamiento, en las poblaciones de sardina de monterrey en el GC, relacionados en el efecto que produce la disponibilidad y abundancia de alimento en lo relacionado al incremento de la talla individual, donde en aumento en las longitudes (tallas) da como resultados desoves intensos y reclutamientos exitosos, mientras que una disminución causa un efecto contrario a lo ya indicado, resaltando lo importante del fitoplancton como base para un normal desarrollado en las poblaciones pelágicas (García Franco et al., 2001).

Las especies del género *Opisthonema* al ser filtradoras, se alimentan especialmente de dinoflagelados, copépodos y larvas de bivalvos, cuya predilección varía de acuerdo a la época y zona donde habitan (Cervantes et al., 1992), es así que de acuerdo a los resultados en estudios de contenido estomacal, realizados por personal del Laboratorio de Plancton del INP en Ecuador, han identificado en los organismos encontrados en la localidad de Crucita una mayor prevalencia de dinoflagelados y copépodos durante mayo

– junio, mientras que aquellos individuos capturados por la zona de Chanduy, la dieta estuvo constituida principalmente por copépodos, seguido de flagelados, situación similar sucedió en los capturados en la zona de Anconcito (Guzmán de Peribonio, 1983b)

Para poder determinar las zonas donde se encuentran el fitoplancton se lo realiza midiendo la concentración de los pigmentos fotosintéticos o también conocido como Clorofila a (Chl-a), y de esa manera conocer la disponibilidad de alimento y caracterizar el medio ambiente (Lanz, 2008), estas concentraciones pueden ser medidas de manera directa (fluorómetro, espectrofotometría) o indirecta a partir de sensores remotos (imágenes, datos satelitales), una serie de trabajos de investigación para correlacionar la TSM y Chl-a se han empleado para diferentes especies pelágicas como la albacora, para establecer si las concentraciones de clorofila estaban relacionadas a zonas frecuentes para la captura de jurel (*Trachurus murphyi*), sardina (*Sardinops sagax*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) en el norte de Chile (Silva, et al., 2000) dando como resultados que entre una mayor concentración de clorofila, mayor era la abundancia de anchoveta, similar estudio se realizó en el GC, donde las mayores correlaciones entre clorofila y especies pelágicas se dieron para sardina Monterrey ($r^2=0.94$) y sardina crinuda ($r^2=0.90$) (Lanz, 2008).

3.3. Uso de datos satelitales en Investigación Pesquera

En los últimos años se ha incrementado el uso de datos satelitales (GHRSSST, Modis Aqua), así como de base de datos secundarias (Copernicus, Earth Data, entre otras), para poder investigar las relación existente entre el ambiente y los recursos pesqueros que se desarrollan en ese medio, permitiendo que la cobertura espacial pueda abarcar grandes extensiones y que el dato generado sea de manera continua, a su vez que es tecnología

económica, debido a que no se requiere de un monitoreo estructurado para toma de datos mensuales, así como de reactivos para las mediciones de los parámetros ambientales específicos. Diferentes autores han empleado estas tecnologías para correlacionar variables ambientales tales como TSM, NMV y concentración de Chl-a con la disponibilidad de recursos pelágicos, así como también para inferir sobre los procesos climáticos que se dan en los océanos (Canales et al., 2018; J. Cedeño, 2015; Druon et al., 2019; Lanz, 2008; Quiroz, 2017; Suasnavas, 2018).

Para conocer si lo que se mide por satélite se aproxima a los datos que pueden obtenerse a partir de mediciones directas (*in situ*), se requieren de análisis de validación de estos resultados. Quiroz (2017) realizó este tipo de proceso con la finalidad que el uso de sensores remotos pueda incrementar la capacidad en que se pueda analizar y procesar los patrones oceanográficos en lapsos largos de tiempo, así como en grandes áreas, el trabajo consistió en obtener datos satelitales para variables TSM y Chl y validarlas con datos de estaciones fijas del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), durante 10 años. Entre los principales resultados se obtuvieron correlaciones mayores al 65% en relación a la variable TSM, 50% de correlaciones con lo que respecta a Chl, siendo la conclusión del documento que los sets de datos obtenidos *in situ* presentaban un comportamiento y patrón similar a los descargados por sensores remotos para las variables analizadas.

3.4 Modelos Lineales Generalizados y su empleo en análisis de datos biológicos-pesqueros y ambientales

El uso de Modelos Lineales Generalizados (GLM) ha permitido nuevas alternativas para el procesamiento y manejo de datos de capturas y esfuerzo, así como de otras variables ya sea de carácter biológico o ambiental. Estos

modelos se caracterizan por tener distribuciones de probabilidad del error de tipo normal, donde las pruebas de significancia y validez del modelo son dependientes de esta distribución (Cheek et al., 1990). La ventaja de aplicar GLM se encuentra en que se permite ensayar las diferentes opciones de distribución del error, generando mejoras en las posibilidades de ajuste, pero la desventaja es que suele ser susceptible en los estadísticos de significancia (Gatica & Hernández, 2003).

Diferentes autores han trabajado empleando este tipo de modelos para correlacionar diferentes variables oceanográficas en la estandarización de tasas de capturas en especies altamente migratorias (Allen & Punsly, 1984; Maunder & Punt, 2004), mientras que otros autores han relacionado la producción diaria de huevo con variables de temperatura, salinidad, proporción de hembras, talla y años de captura (Leonarduzzi et al., 2013), así como también Canales et al., 2018 donde analizaron el impacto de las condiciones medio ambientales en la condición biológica (talla, peso, madurez) de la población de anchoveta del Norte de Chile, así como de otras especies de pelágicos pequeños (Eleuterio Yáñez et al., 1999; Gatica & Hernández, 2003).

Kreiner et al, (2001), empleó este tipo de modelo, empleando índices biológicos como el de condición y gonadosomático (peso de gónada), relacionando series de tiempo en especies de sardinas (*Sardinops sagax*), presentes en el Ecosistemas de Benguela, teniendo como resultados que dentro del mismo ecosistema existen dos poblaciones independientes, dado por los cambios ambientales que se realizan en este ecosistema.

Los GLM actualmente constituyen el método más utilizado para estandarización ya sea de CPUE (Canales et al., 2013, 2020; Maunder & Punt, 2004; Simpfendorfer et al., 2000), así como también para conocer los

impactos de las variaciones oceanográficas y estado del recurso (Canales et al., 2018), adicionalmente permite evaluar los diferentes efectos que se pueden dar en una variable dada (Puig et al., 2005).

3.5 Contribución de la Investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Como parte de las acciones establecidas por todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo, se crearon los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS (Organización de las Naciones Unidas, 2020). Entre los ODS se encuentra el # 14 denominado Vida Submarina, el cual tiene como finalidad “Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos”.

Por lo antes expuesto los resultados de esta investigación contribuirán al ODS 14, en especial en las siguientes metas:

- Gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia, y adoptar medidas para restaurarlos a fin de restablecer la salud y la productividad de los océanos.

- Reglamentar eficazmente la explotación pesquera y poner fin a la pesca excesiva, la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada y las prácticas pesqueras destructivas, y aplicar planes de gestión con fundamento científico a fin de restablecer las poblaciones de peces en el plazo más breve posible, al menos alcanzando niveles que puedan producir el máximo rendimiento sostenible de acuerdo con sus características biológicas

4. METODOLOGÍA

Con la finalidad de poder cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo de investigación, se utilizará la metodología desarrollada por Canales et al (2018) en la cual se determinan relaciones entre los rasgos biológicos de la anchoveta (*Engraulis ringens*) (talla, peso corporal, peso de gónada, entre otros) con las variaciones oceanográficas en el norte de Chile.

En términos generales, la metodología considera la aplicación de Modelos Lineales Generalizados a las variables biológicas y oceanográficas para las mismas escalas espacio-temporales. Se incluyen efectos fijos para identificar patrones biológicos espaciales, estacionales y anuales de todas las variables. Finalmente se analizan niveles de correlación de los efectos temporales entre variables biológicas y ambientales y se identifican aquellas más relevantes. Esto último permite la propuesta de hipótesis que son discutidas en extenso

La forma en que se va a manejar la metodología de trabajo se detalla en el siguiente flujograma (Figura 6).

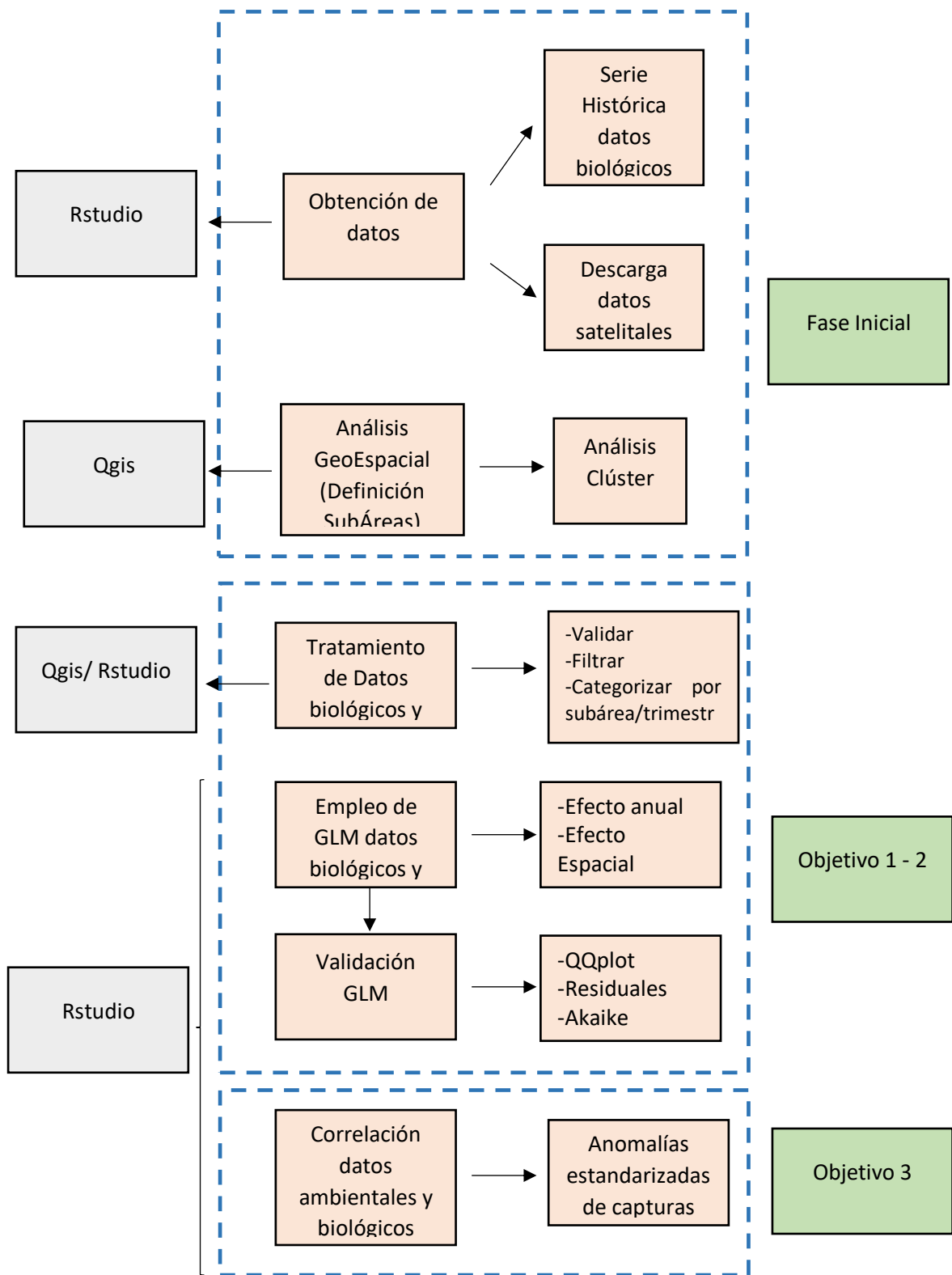


Figura 6. Diagrama de esquematización de la metodología de trabajo.

4.1 Área de Estudio

El área de trabajo de este estudio corresponde al perfil costero ecuatoriano, el cual comprende desde 119759.3 m de latitud Norte hasta 9629663.5 m de Latitud Sur, de la zona 17 sur, hasta las 20 millas náuticas de distancia a la costa, área en la cual opera la flota que captura el recurso pinchagua (Figura 7). Las características del área de estudio, procesos oceanográficos que ahí se desarrolla, corrientes que fluyen frente a las costas, fueron descritas en la sección de introducción.1

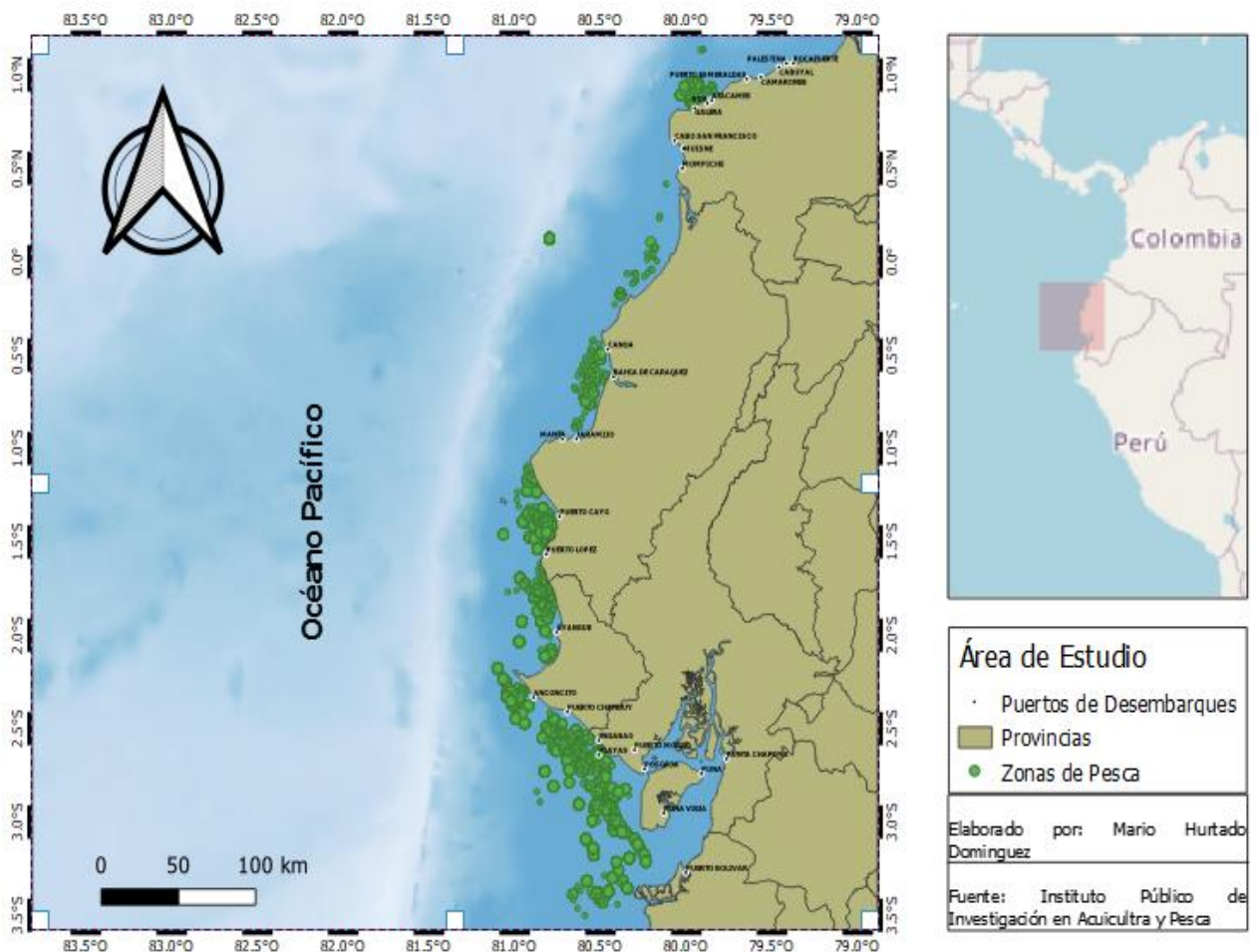


Figura 7. Zonas de pesca donde se captura históricamente el recurso pinchagua a lo largo de la costa ecuatoriana.

4.2 Diseño de muestreo y obtención de muestras

4.2.1 Origen de la Información Biológica

Se emplearon dos tipos de fuentes de datos: la serie histórica de datos biológicos pertenecientes al Instituto Público de Investigación en Acuicultura y pesca (ex Instituto Nacional de Pesca), a partir del Programa Seguimiento de la Pesquería de Peces Pelágicos Pequeños, desde 1995 a 2016, y la base de datos correspondientes al Programa de Observadores (2017 – 2019):

4.2.1.1 Seguimiento de la Pesquería Pelágicos Pequeños

Para el periodo 1995 – 2016, se empleó información correspondiente al monitoreo mensual, durante 7 días en los principales puertos de desembarque de la flota cerquera-sardinera (Crucita, Manta, Machalilla, Salango, Chanduy, Anconcito, La Libertad y Posorja), ya sea en playa o en los muelles de las diferentes empresas, durante el período denominado “oscura” que corresponde a la fase lunar de luna nueva y a su vez validados a través del Programa Peces Pelágicos Pequeños, así como también a partir de cruceros acústicos durante el periodo de veda (marzo – diciembre 2018 - 2019).

4.2.1.2 Programa Observadores a Bordo

Para el periodo 2017 – 2019, se completó la serie de tiempo con la base de datos del Programa Observadores Pesqueros. Los embarques se realizaron de forma mensual, 22 días, en las diferentes clases de embarcaciones que conforman la flota cerquera-sardinera que captura pelágicos pequeños, a lo largo de la costa ecuatoriana.

Las muestras fueron colectadas según lo establecido en el Protocolo de Monitoreo tanto para el Programa de Observadores (Jurado et al., 2019), así como para el Programa de Seguimiento de la Pesquería de Pelágicos Pequeños del INP (González & Jurado, 2017), donde se establece que las muestras obtenidas deberán representar a los individuos capturados durante

la actividad extractivas y por ende refleje a la fracción de población explotable, empleando un sistema de monitoreo estratificado a la talla de la especie capturada.

Los datos de pinchagua correspondieron a los atributos individuales: Longitud Total (LT), Peso Total (PT), Madurez Sexual (Mat), Peso Gónada (PG), Peso eviscerado (PE), zona de pesca (coordenadas), con los cuales se estructuró una nueva base de datos. La cantidad de datos por variable a analizar no ha sido constante durante el tiempo, es así que para las variables LT, PT, Mat y Zonas de Pesca se obtuvieron 48 481 datos correspondientes al periodo 1995 – 2019. Entre 2012 y 2019 se inició la toma de datos de PG y PE, por lo cual se registraron alrededor de 3 682 (tabla 1).

Tabla 1 Número de datos para cada variable biológica y periodo de la especie pinchagua a partir del monitoreo del Instituto Nacional de Pesca.

Variabes/Periodos	1995 – 2019	2012 – 2019	Número Total de datos
Longitud Total (LT)	✓	-	48 481
Peso Total (PT)	✓	-	48 481
Madurez sexual (Mat)	✓	-	48 481
Peso de gónada (PG)	-	✓	3 682
Peso Eviscerado (PE)	-	✓	3 682
Zonas de pesca*	✓	-	48 481

*posiciones georeferenciadas de lances de pesca efectivo

4.2.2 Análisis Geoespacial

A partir del software Quantum GIS (QGIS, QGIS.org, 2020), se realizó análisis de clúster, bajo el método de distancia múltiple, con la finalidad de determinar si las zonas de pesca, o los valores asociados a las zonas, exhiben un clustering (agrupación) o una dispersión estadísticamente significativa en un rango de distancias (ArcGIS Pro, 2020) y de esa manera limitar las áreas para el estudio. Para esto se realizaron los siguientes pasos:

- La información biológica histórica conjugada de pinchagua y sus respectivas posiciones de donde fueron capturadas, se procedió a guardar en formato de valores separados por coma (csv) compatible con QGIS.
- El criterio de aplicación de cluster fue espacial, es decir la distancia horizontal en que se realizaron los lances efectivos de pesca para la especie sujeta de estudio.
- Una vez armado los clústers, se empleó la herramienta de geoproceso vectorial, denominada *buffer* para delimitar las subáreas.
- Posteriormente cada subárea fue filtrada a partir de la herramienta de filtros espaciales, y con la calculadora de campos se creó una nueva columna para asignar el valor numérico que les correspondía a las nuevas zonas creadas
- Al finalizar a partir del programa R Studio (RStudio Team, 2020), se leyó el archivo .dbf de QGIS, donde se almacenaron los datos de la tabla de atributos modificada, y guardando esta nueva base en formato .csv

4.2.3 Datos Oceanográficos

Con la finalidad de dar cumplimiento al segundo objetivo, se procedió a obtener información sobre las variables oceanográficas que fueron sujetos de estudio, como la Temperatura Superficial del Mar (TSM), Nivel Medio del Mar (NMM), Índice Niño 1+2 y clorofila (Chl-a). Se emplearon datos satelitales, con una resolución de 9 km aproximadamente, con productos que contenían periodicidad mensual. El área de descargas comprendió alrededor de 20 millas desde 2°N, 4°S, 76°E, 82°O, la cual corresponde al área donde opera la flota. La descarga de datos cubrió el periodo comprendido entre 1995 – 2019, la información fue descargada de diferentes sensores remotos (satélites), así

como de repositorios de datos, debido a la periodicidad que contenían los mismos (tabla 2).

Tabla 2 Variables oceanográficas a emplear, fuente de datos satelitales y periodos disponibles para descargas

Variable	Nombre del Producto	Fuente	Resolución	Período	Periodicidad
Altimetría (NMM)	DUACS	www.aviso.oceanobs.com/duacs	8.8 x 8.8 Km	1995-2019	mensual
Temperatura Superficial (TSM °C)	ERDDAP	https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdP_H53sstnmday_graph	6.3 x 6.3 Km	1999- 2016	mensual
	OI-SST	https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/ncdc_Oisst2Agg.html	8.8 x 8.8 Km	2017-2019	mensual
Clorofila A	MODIS AQUA	https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/data.html#/oceanolordatasets	4.6 x 4.6 Km	1998-2019	mensual
Índice ONI	Índice ONI	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices	-	1998-2019	mensual

4.2.3.1 Descarga de Datos Satelitales

La descarga de los datos se realizó a partir de scripts individuales para cada una de las variables sujetas a estudio, realizados en el software R studio, las descargas se realizaron tomando en cuenta los límites espaciales y temporales anteriormente especificados. Al momento de realizar las descargas se importaron los datos en formato separado por coma (.csv) Excel.

4.2.3.2 Tratamiento de Datos Satelitales

Los datos obtenidos a partir de las descargas fueron trabajados y sometidos a procesos de limpieza en el software Quantum GIS (QGIS), realizando los pasos que a continuación se describen para cada una de las variables que son sujeto de estudio:

- El shape de áreas elaboradas con anterioridad, fue sobrepuesto al shape de datos ambientales con la finalidad de seleccionar las áreas de acuerdo al análisis de cluster
- A partir de la herramienta de filtros espaciales, se procedió a limpiar la data de cada variable, filtrando para aquellos valores que no sean NULL, creando una nueva capa vectorial y almacenada en formato shape.
- Una vez seleccionada el área, con la calculadora de campos se creó una nueva columna en la tabla de atributos para asignar el valor numérico que les correspondía a las zonas ya creadas
- Al finalizar a partir del programa R Studio, se leyó el archivo .dbf de QGIS, donde se almacenaron los datos de la tabla de atributos modificada, y guardando esta nueva base en formato .cvs

4.2.3.3 Validación de Datos Satelitales

El proceso de validación, se lo realizó a partir de una revisión bibliográfica intensiva de otros autores que han trabajado con datos in situ vs sensores remotos (datos satelitales), como por ejemplo Cedeño J. (2015) para los datos de nivel medio del mar, y Quiroz. S (2017) para TSM., Clorofila, esta última autora validó con datos de estaciones fijas del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR), durante 10 años obteniendo las siguientes correlaciones (Tabla 3).

Tabla 3 Datos de correlaciones obtenidas mediante validación in situ vs datos satelitales. Fuente: Quiroz. S (2017), Cedeño J. (2015).

Estaciones	Variable	Correlación
Puerto Bolívar	Temperatura Superficial del Mar	0.83
	Clorofila	0.52
La Libertad	Temperatura Superficial del Mar	0.66
	Clorofila	0.25
	Nivel Medio del Mar	0.77
Manta	Temperatura Superficial del Mar	0.75
	Clorofila	0.57

4.3 Modelo Lineal Generalizado (GLM)

El GLM flexibiliza a la regresión lineal permitiendo que un modelo lineal se relacione con diferentes variables respuestas, permitiendo que la varianza de cada punto sea una función de su propio valor predicho. Los resultados se generan a partir de la distribución exponencial y de una serie de distribuciones tanto normal, binomial, Poisson y gamma (Cheek et al., 1990). La fórmula del modelo es:

$$E(Y) = \mu = g^{-1}(X\beta)$$

Donde:

$E(Y)$ = valor esperado de Y

$X\beta$ = es el predictor lineal, una combinación lineal de parámetros desconocidos
g = función de enlace

Estos modelos cuentan con tres diferentes tipos de componentes:

- Componente aleatorio, es la probabilidad de distribución de la variable respuesta (Y), también llamado error del modelo.
- Componente sistemático, corresponde a las variables explicativas (X_1 , X_2 , X_k) en el modelo, más específicamente la combinación lineal en concordancia con el predictor lineal.
- Función de enlace (link), es el enlace entre los componentes aleatorios y sistemáticos. Indica que valores esperar como respuesta del predictor lineal de las variables explicadas

Adicional, en estos tipos de modelos se emplean los valores de desviación, los cuales juegan un rol muy importante en la dispersión exponencial de los GLM. La desviación para un modelo estadístico proporciona la bondad de ajuste; se utiliza a menudo para probar hipótesis estadísticas. Es una generalización de la idea de usar la suma de cuadrados de los residuos en mínimos cuadrados ordinarios para casos en los que el ajuste del modelo se logra mediante la máxima verosimilitud.

4.3.1 Procesamiento de GLM para data biológica

El GLM, se empleó de acuerdo a lo establecido por Canales et al, (2018) para analizar los rasgos biológicos los cuales fueron modelados a nivel de individuos. Los modelos fueron elaborados y ajustados empleando el software R, version 3.3.3.

Las variables biológicas, se agruparon en relación a cinco efectos fijos los cuales fueron: área, año, trimestre, sexo y zona. Además de esto, como

predictores lineales se incluyeron dos variables continuas: peso individual total (periodo 1995 – 2019) y peso individual eviscerado (2012 - 2019).

Para el efecto trimestral se consideró el comportamiento de actividad reproductiva iniciando en diciembre. Los cuatro niveles quedaron definidos como: diciembre-febrero, marzo-mayo, junio-agosto y septiembre-noviembre. Para el efecto área se emplearon las zonas resultantes del análisis geoespacial.

La LT fue incluida como un predictor lineal en el modelo del peso total (PT) transformado a escala logarítmica, y del mismo modo en el modelo del estado de madurez. Adicionalmente el peso eviscerado fue modelado en escala logarítmica como un predictor del peso de gónada (como un índice reproductivo igual que el índice Gonadosomático).

El estado reproductivo fue incluido como predictor lineal del modelo de peso total individual y peso de gónada. Para poder incluir en el GLM el peso total y el de gónadas fueron transformados a logaritmos naturales, y a su vez se asumió que la LT tiene una distribución normal y una “identidad” como función de enlace (Tabla 4). El estado de madurez fue modelado asumiendo una distribución binomial, con una función de enlace “lógica”. Para este modelo, el estatus reproductivo fue categorizado como 1 (maduro) y 0 (inmaduro), de acuerdo a las características registradas en el laboratorio a partir de los estadios de madurez sexual determinado por Arriaga et al., 1983).

Tabla 4 Matriz de GLM usada para describir la variabilidad de variables biológicas para pinchagua, así como los arreglos de las variables predictoras para modelación.

Variabes Respuestas Biológicas	Error	Función de Enlace	Variabes Predictoras
Longitud Total (LT)	Gausiano	Identidad	Año + zona + trimestre + sexo + zona/trimestre
Log Peso Total (PT)	Gausiano	Identidad	Año + zona + trimestre + sexo + log(talla) + Mat + zona/trimestre
Madurez (Mat)	Binomial	Logística	Año + zona+ trimestre + sexo + LT + zona/trimestre
Log Peso de Gónada (PG)	Gausiano	Identidad	Año + zona + trimestre + sexo + log(talla) + zona/trimestre

Con la finalidad de conocer el porcentaje de explicación del modelo se empleó lo siguiente:

$$1 - \text{Residual}/\text{NULL}$$

Siendo,

Residual= residuales de la desviación

NULL = es la desviación para el modelo que no depende de ninguna variable.

Adicional se calculó el modelo logístico de madurez (L50) como función de la longitud total por zonas y año. Donde el L50 es:

$$L_{50m} = -(\mu + \theta)b^{-1}$$

Siendo,

μ = media

θ = datos del efecto fijo de madurez de este estudio

b = coeficiente asociado a la LT

4.3.2 Procesamiento de GLM para data ambiental

Las variables oceanográficas Temperatura Superficial del mar (TSM), clorofila (Chl-a), nivel medio del mar (NMM), fueron agrupadas para cada subárea de estudio. Para la aplicación del GLM a la data ambiental, se consideró como efectos fijos el año, trimestre, y zona. Se supuso una distribución de error tipo gaussiano y función de “identidad” como función de enlace (Tabla 5).

Tabla 5 Matriz de GLM usada para describir la variabilidad de datos oceanográficos, así como los arreglos de las variables predictoras para modelación.

Variables Respuestas	Error	Función de Enlace	Variables Predictoras
TSM	Gausiano	Identidad	Año + zona + trimestre + zona/trimestre
CHI-a	Gausiano	Identidad	Año + zona + trimestre + zona/trimestre
Altimetría	Gausiano	Identidad	Año + zona + trimestre + zona/trimestre

4.3.3 Validación y Ajuste del GLM

Para la validación del modelo se lo realizó bajo el supuesto de normalidad de los residuos para LT, logaritmo de PT y PG, los cuales fueron probados usando gráficos de cuartil – cuartil (qq-plot), este tipo de gráfica permitirá conocer cuánto se acerca la distribución de un conjunto de datos en relación a una distribución normal

Se estimó la importancia y significancia de los predictores incluidos en el modelo a partir de análisis de desviación. Adicionalmente, esto se complementó con el uso de análisis de Criterio de Información de Akaike (AIC, Akaike, 1974), el cual permitiría medir el aumento relativo del AIC para escoger el modelo que tenga la mejor representación de los datos, cuando se excluye una de las variables predictoras lineales del modelo completo.

4.4 Análisis de Correlación

Para evaluar las posibles asociaciones entre los rasgos biológicos de pinchagua y las condiciones oceanográficas se realizó un análisis de correlación de Pearson, considerando los coeficientes de los efectos anuales obtenidos como resultado de la aplicación del GLM. Tanto para los datos biológicos como ambientales se elaboraron matrices.

Adicionalmente se incluyó como predictor las capturas anuales en forma de anomalías estandarizadas para evaluar si los rasgos biológicos estuvieron afectados por factores antropogénicos (pesca) y que éstos han sido un forzante en los cambios biológicos.

La obtención de las matrices de correlación anuales, así como los gráficos que resultante de los mismos, se realizaron empleando scripts a partir del software R Studio. Para cada coeficiente de correlación obtenido se calculó el valor de p-value, con la finalidad de determinar si las correlaciones entre las variables tenían o no significancia estadística al 95% ($p \text{ value} < 0.05$).

5. RESULTADOS

5.1 Análisis de Clúster

El análisis de clúster determinó que, espacialmente, existen 4 zonas u áreas donde se concentra la actividad pesquera que realiza la flota de pelágicos pequeños (Figura 8), los cuales han sido registradas o reportadas en anteriores ocasiones dentro de los trabajos realizados por el Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca – IPIAP (antes INP).

Al momento de realizar los primeros análisis, los resultados para las zonas 3 y 4, fueron estadísticamente similares ($P < 0.05$) y no registraron cambios en los efectos anuales, espaciales o intra-anual, por lo que, a pesar de que existe un desempeño espacial en la flota, el comportamiento de los rasgos biológicos es el mismo para esas zonas, por lo cual se volvió a reestructurar el análisis unificando las zonas 3 y 4.

Las zonas u áreas de estudios quedaron determinadas de la siguiente manera:

- Zona 1: Golfo de Guayaquil – Puntilla Santa Elena (3.39225°S hasta 2.19066°S)
- Zona 2: Puntilla de Santa Elena – Manta (2.19066°S hasta 0.94254°S)
- Zona 3: Norte de Manta – Sur de Esmeraldas (0.94254°S hasta 0.99426°N)

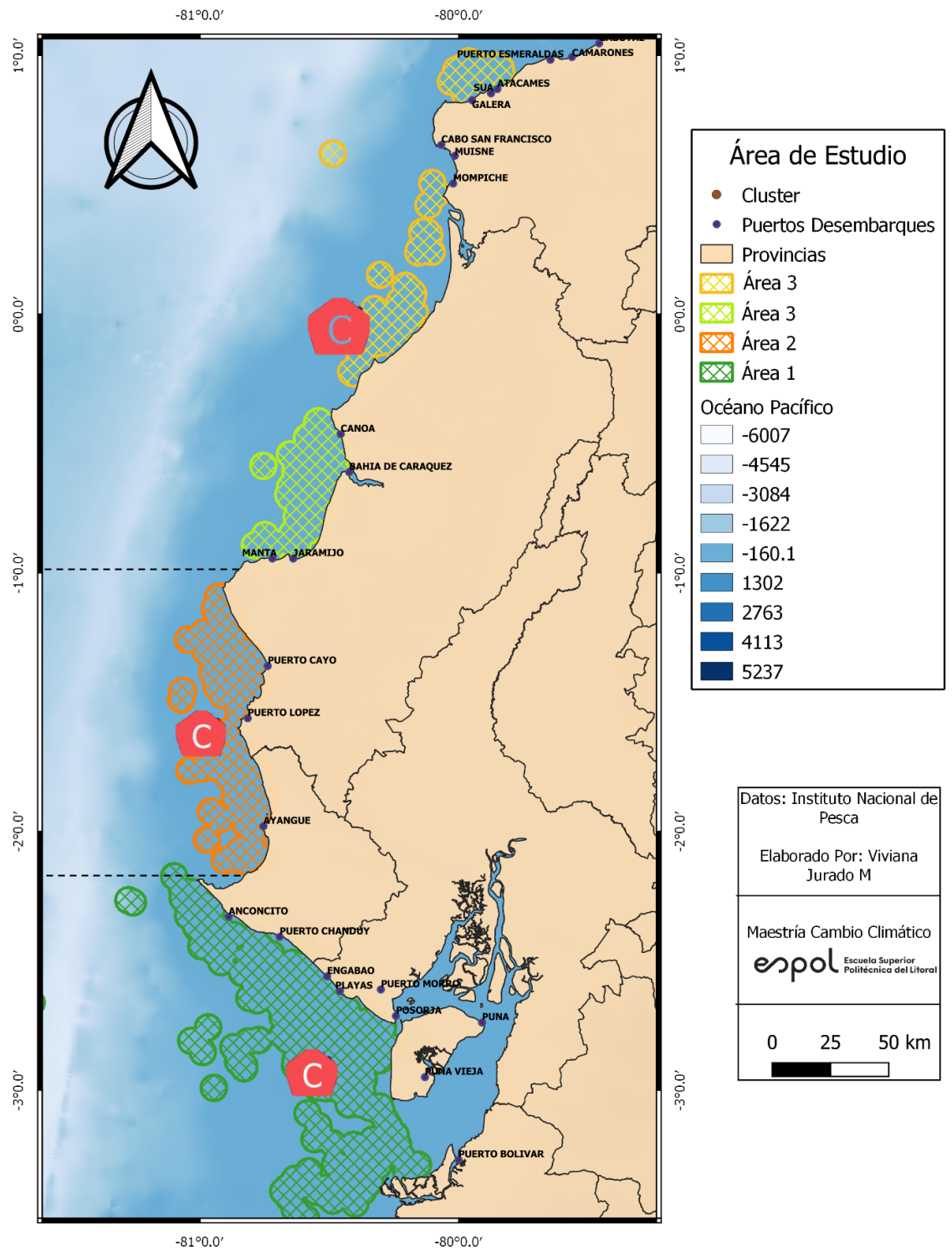


Figura 8. Áreas de estudio definidas a partir de análisis geoespacial.

5.2 Patrones Espacio – Temporales en rasgos biológicos

5.2.1 Longitud Total (LT)

Al aplicar el GLM para observar la variabilidad al nivel de individuos hacia los rasgos biológicos de *Opisthonema* spp., los resultados se ajustan y se reproducen de manera adecuada. En la Tabla 6, se muestran todos los factores modelados en sus diferentes niveles, los cuales fueron altamente significante ($P < 0.05$). En general, el 79% de la variabilidad de la LT fue explicada al momento de aplicar el modelo, y en su mayoría esta variabilidad fue dada por el efecto anual, el cual fue el factor más importante (18% AIC), seguido por el efecto espacial (8% AIC) y el sexo (3% AIC).

Lo anterior significa que, cuando se removió el efecto anual del modelo, la desviación del AIC se incrementó, por lo cual el modelo registra un menor desempeño, a diferencia de lo acontecido al eliminarse del modelo los efectos espaciales o el sexo, por lo cual se pone de manifiesto la importancia del efecto anual en los procesos biológicos de *Opisthonema* spp.

Los coeficientes del modelo muestran que existe un marcado decremento en las tallas de norte a sur, es así, que las pinchaguas presentes en la zona 1 (Golfo de Guayaquil), los individuos capturados fueron 2 cm más grandes que los capturados en la zona 3 (Manta – Sur de Esmeraldas), adicional a esto los individuos presentes en la zona 3 son 1.9 cm LT menores en comparación de las otras zonas (Tabla 6, Figura 9).

A nivel de estacional durante el tercer trimestre del año (junio, julio y agosto) se registraron tallas medias menores, donde las tallas promedios disminuyeron alrededor de 0.45 cm LT (Figura 9). A nivel de sexo, las hembras son en promedio 0.8 cm LT más grandes en comparación con los machos.

De manera anual, a partir del 2008 se registra un cambio en el régimen de las tallas de especie, donde se observa una disminución en las tallas medias. Cabe indicar que, en promedio, esta especie ha disminuido en 2.4 cm LT en los últimos 12 años (Figura. 9).

La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la Figura 10.

Tabla 6 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Longitud Total (LT cm). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 79%

Variable Predictora	ΔAIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	8%			0.000
Zona 2		-0.67993	-18.772	0.000
Zona 3		-1.97838	-54.931	0.000
Año	18%			0.000
Trimestre	0.5%			0.000
Trimestre 2		-0.37764	-9.145	0.000
Trimestre 3		-0.45353	-11.573	0.000
Trimestre 4		-0.1	-1.935	0.000
Sexo	3%			0.000
Hembra		0.8825	33.414	0.000

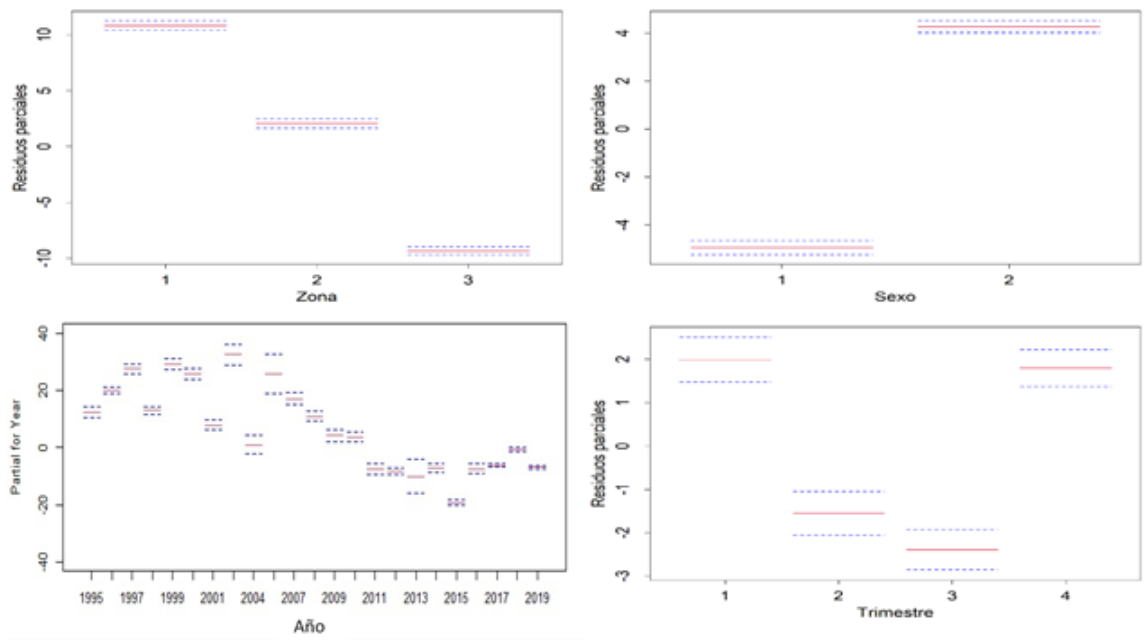
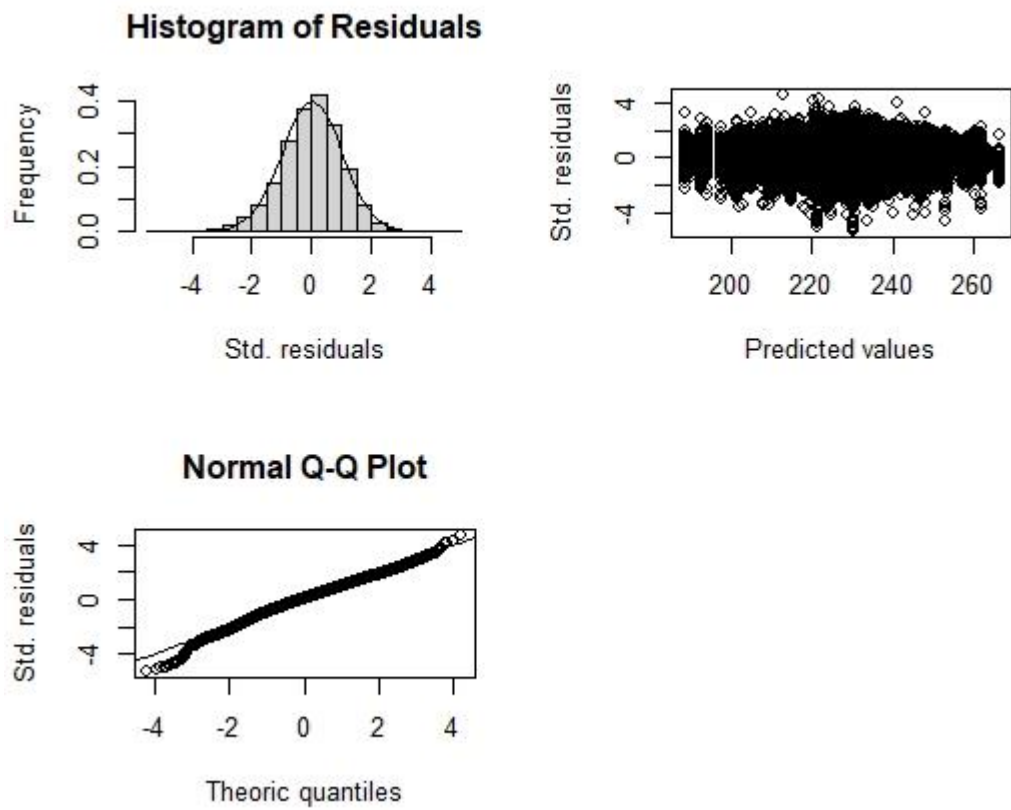


Figura 9 Coeficientes normalizados de la variable biológica Longitud Total con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (*Opisthonema spp.*) durante 1995 – 2019



*Figura 10 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de tallas de pinchagua (*Opisthonema spp*) durante 1995 – 2019.*

5.2.2 Peso Total (PT)

El GLM aplicado a los pesos totales en escala logarítmica, capta la variabilidad que este rasgo biológico ha presentado durante el periodo de estudio. En la Tabla 7, se presentan los coeficientes del modelo en sus diferentes niveles, los cuales fueron altamente significante ($P < 0.05$), de manera general el 92% de la variabilidad fue explicada al momento de aplicar el modelo (porcentaje explicado de la desviación residual), siendo el logaritmo de la talla, el responsable en gran medida de esta variabilidad (95% AIC), seguido del efecto año (6% AIC), y trimestre (3% AIC).

Los coeficientes del modelo indican que existe un marcado decremento en PT de norte a sur, es así, en la zona 1 (Golfo de Guayaquil), los individuos capturados pesaron 8 gr (función exponencial de los efectos espaciales) más en comparación con los de la zona 3 (Manta – Sur de Esmeraldas). Lo anterior se explica tomando como referencia un individuo de 24 cm LT de la zona 1, el cual pesa 8 gr. más que un individuo con talla similar en la zona 3. De manera anual, a partir del 2007, se registra un cambio en el régimen en los valores de peso promedio, donde se observa una disminución en 6 gr, similar a lo registrado en las tallas medias (Tabla 7, Figura 11).

A nivel estacional durante los dos primeros trimestres del año, se registraron los pesos promedios más altos, en relación con el tercero y cuarto trimestre (Figura 11). A nivel de sexo se registró una ligera diferencia significativa en los pesos promedios de macho y hembra.

La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la Figura 12.

Tabla 7 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Peso Total (log). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 92%.

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	3%			0.000
Zona 2		-1.19E-02	-7.068	0.000
Zona 3		-5.45E-02	-31.56	0.000
Año	6%			0.000
Trimestre	3%			0.000
Trimestre 2		2.61E-02	13.584	0.000
Trimestre 3		-3.48E-02	-5.75	0.000
Trimestre 4		-3.65E-02	-20.125	0.000
Sexo	0%			0.000
Hembra		1.10E-03	0.885	0.000
Log (LT)	95%	3.09E+00	631.518	0.000

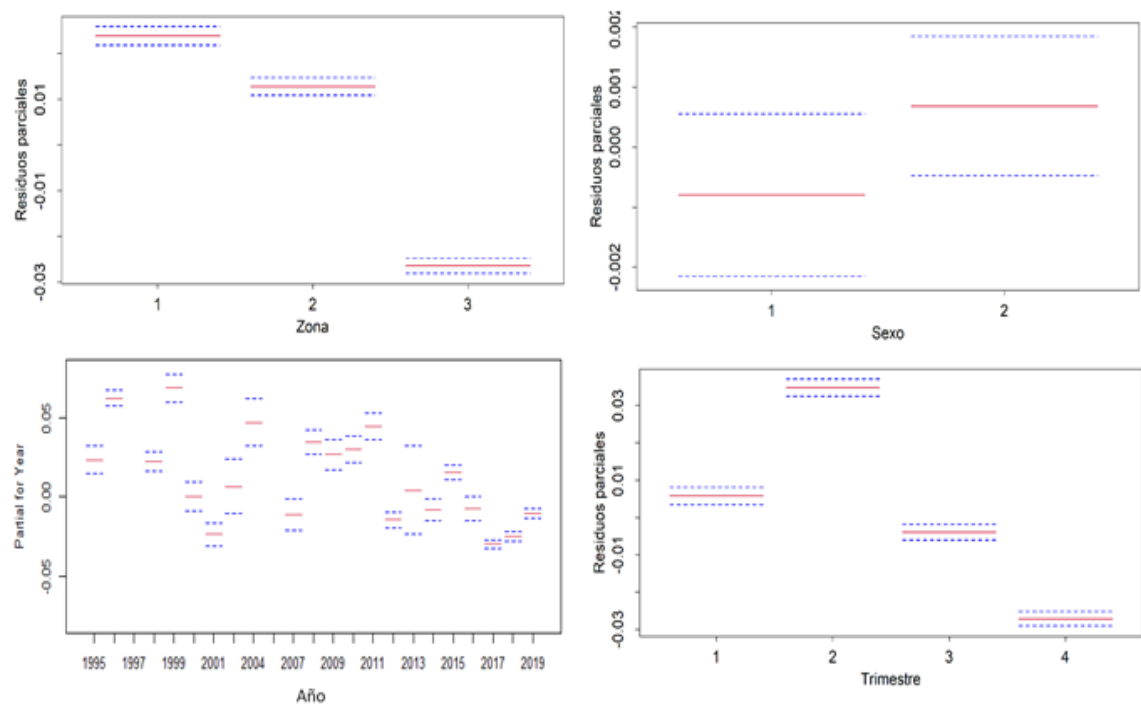


Figura 11 Coeficientes normalizados de la variable biológica Peso Total (log) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (*Opisthonema spp.*) durante 1995 – 2019.

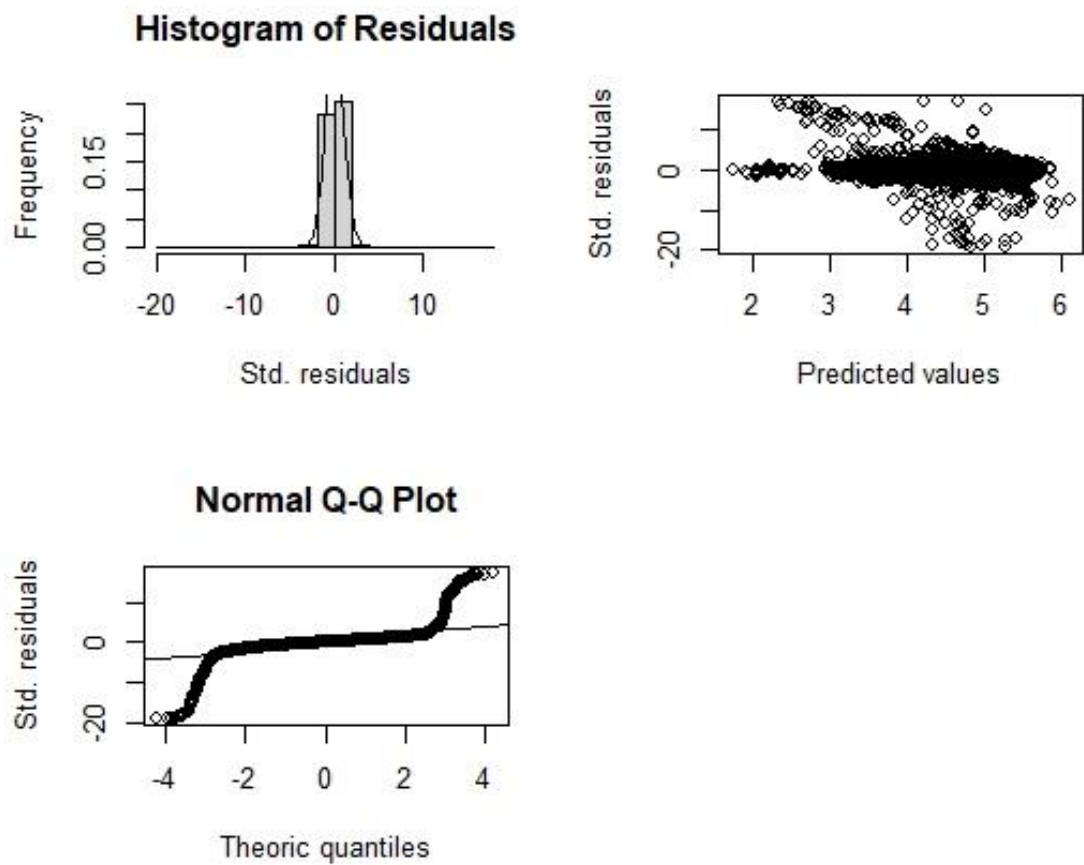


Figura 12 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de pesos totales de pinchagua (Opisthonema spp.) durante 1995 – 2019.

5.2.3 Peso Eviscerado (PE)

Los pesos eviscerados totales fueron modelados en escala logarítmica al momento de aplicar el GLM. En la Tabla 8, se registran los factores modelados en sus diferentes niveles los cuales fueron altamente significativos ($P < 0.05$). De manera general, el 93% de la variabilidad fue explicada al momento de la aplicación del modelo, donde la variabilidad está dada por el efecto del logaritmo de la talla (11% AIC), seguido del efecto interanual (5% AIC) y por último el efecto espacial (4% AIC).

Los coeficientes del modelo dieron como resultado que existe un marcado decremento en PE de norte a sur, es así, en la zona 1 (Golfo de Guayaquil), los individuos capturados pesaron 8 gr más en comparación con los individuos de la zona 3 (Manta – Sur de Esmeraldas). Debido a que la serie histórica de pesos eviscerados se inicia en el 2009, no se registra un patrón marcado hasta el 2016, en que se observa una pequeña caída de los pesos promedios, para incrementar en los últimos años. (Tabla 8, Figura 13).

A nivel estacional, se registra un comportamiento similar a lo reportado en pesos totales, donde los trimestres tres y cuatro corresponden a valores de pesos promedios más bajos del año (10 gr y 7 gr respectivamente), en comparación a los trimestres 1 y 2 (Figura 13). A nivel de sexo se registró una ligera diferencia significativa en los pesos promedios de macho y hembra, siendo las hembras las que tuvieron un mayor peso. La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la figura 14.

Tabla 8 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Peso eviscerado (log). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 93%)

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	4%			0.000
Zona 2		-1.63E-02	-8.852	0.000
Zona 3		-5.95E-02	-31.186	0.000
Año	2%			0.000
Trimestre	5%			0.000
Trimestre 2		5.58E-02	25.533	0.000
Trimestre 3		1.06E-02	5.189	0.000
Trimestre 4		-1.98E-02	-9.534	0.000
Sexo	0%			0.000
Hembra		9.14E-05	0.063	0.000
Log (LT)	11%	3.10E+00	560.385	0.000

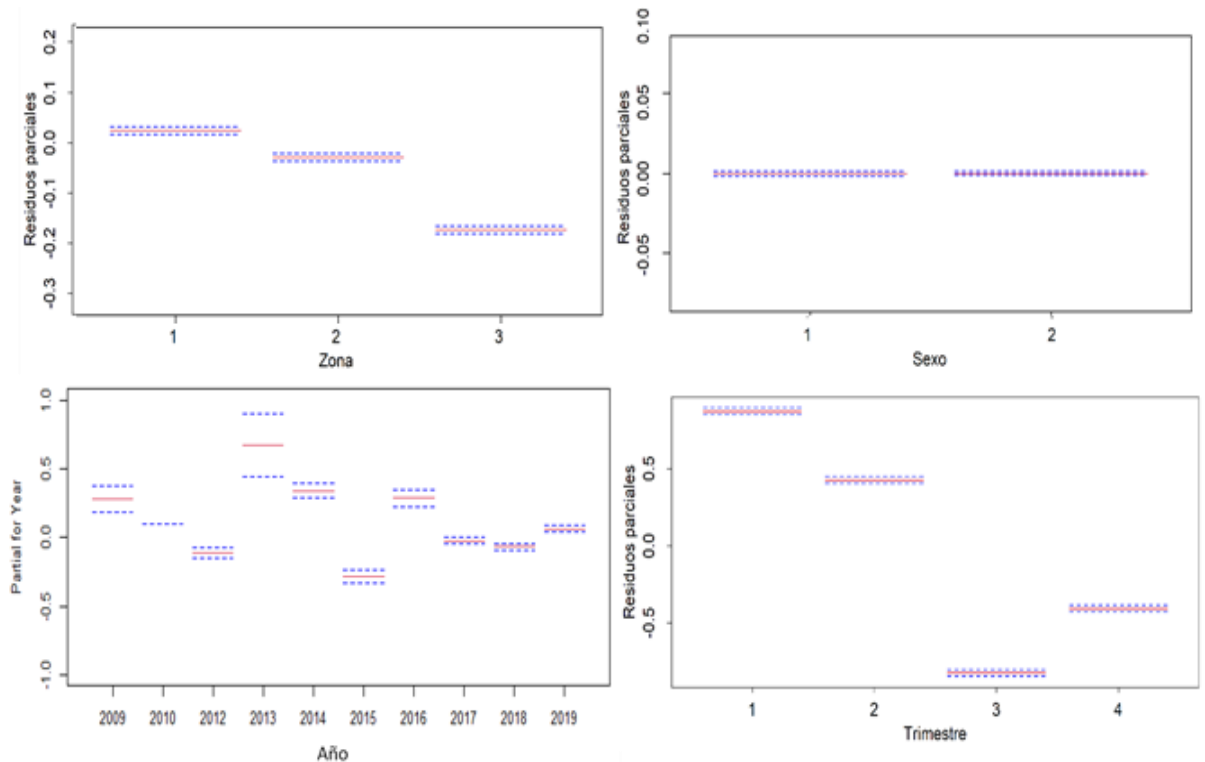


Figura 13 Coeficientes normalizados de la variable biológica Peso eviscerado (log) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (*Opisthonema spp.*) durante 1995 – 2019

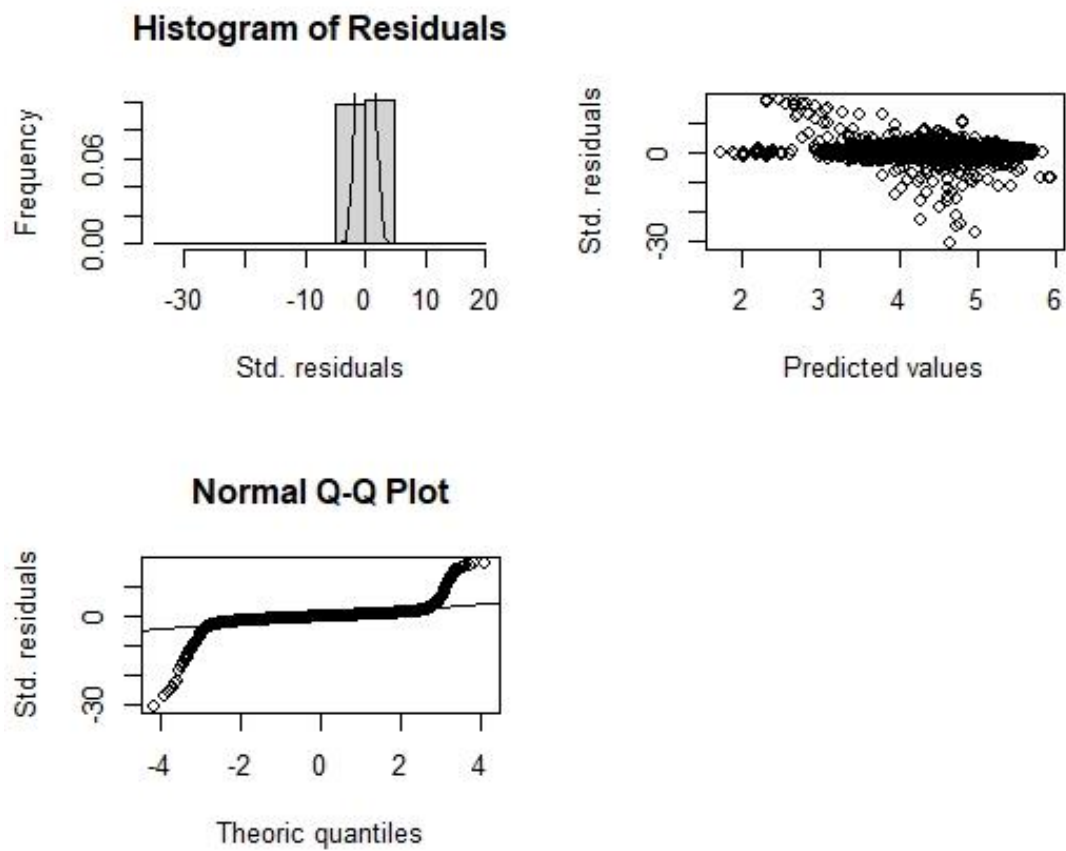


Figura 14 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de pesos viscerados de pinchagua (Opisthonema spp.) durante 1995 – 2019.

5.2.4 Peso Gónada (PG)

En lo que respecta a los rasgos reproductivos, los residuales de la varianza del modelo fueron explicado en un 65%, siendo esta variabilidad asociada al logaritmo de la talla (87% AIC), seguido del efecto interanual (43% AIC) y espacial (4% AIC). A nivel espacial, los pesos promedios de gónadas fueron superior en la zona 2 (Puntilla Santa Elena – Manta) y menor en la 3 (4 gr aproximadamente). En la Tabla 9, se registraron los factores modelados en sus diferentes niveles los cuales fueron altamente significante ($P < 0.05$).

A nivel de sexo, los individuos machos de pinchagua, registraron pesos promedios superiores en relación a las hembras. En lo que respecta al análisis intra-anual, se registra que esta especie ha ampliado el proceso reproductivo durante los dos primeros trimestres, siendo el primer trimestre quien aportaría en mayor proporción a la actividad reproductiva, con valores promedios de peso de gónada relativamente altos (6 gr), para posteriormente decaer e iniciar nuevamente el proceso a partir del cuarto trimestre (Figura 15).

De igual manera que los pesos eviscerados, la serie inicia en el 2009, por lo cual no se registra patrones marcados de incremento o decremento de pesos promedios de gónadas, pero lo que sí es evidente que no se han registrado variaciones importantes en los mismos a lo largo del periodo. La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la Figura 16.

Tabla 9 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Peso gónada (log). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 65%

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	4%			0.000
Zona 2		0.105939	6.599	0.000
Zona 3		-0.383299	-22.968	0.000
Año	2%			0.000
Trimestre	43%			0.000
Trimestre 2		-0.502948	-26.409	0.000
Trimestre 3		-1.734476	-97.56	0.000
Trimestre 4		-1.329047	-73.343	0.000
Sexo	1%			0.000
Hembra		-0.151815	-12.028	0.000
Log (LT)	87%	7.449738	154.554	0.000

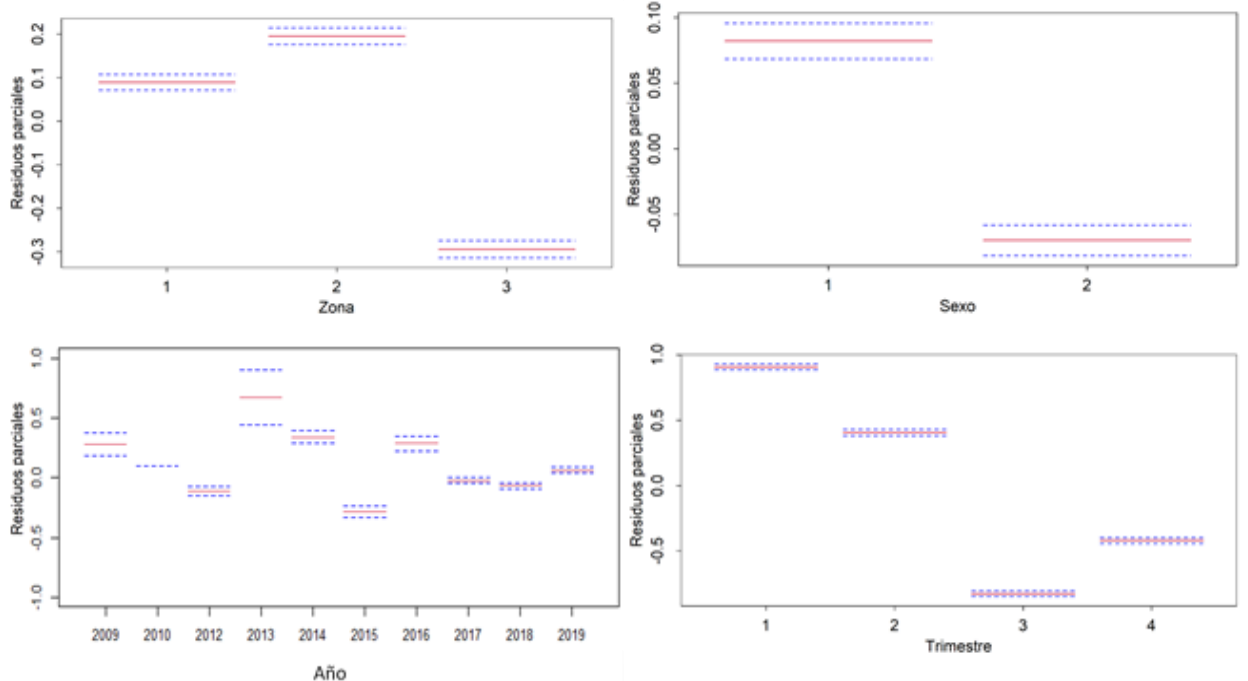


Figura 15 Coeficientes normalizados de la variable biológica Peso gónada (log) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (*Opisthonema spp.*) durante 1995 – 2019

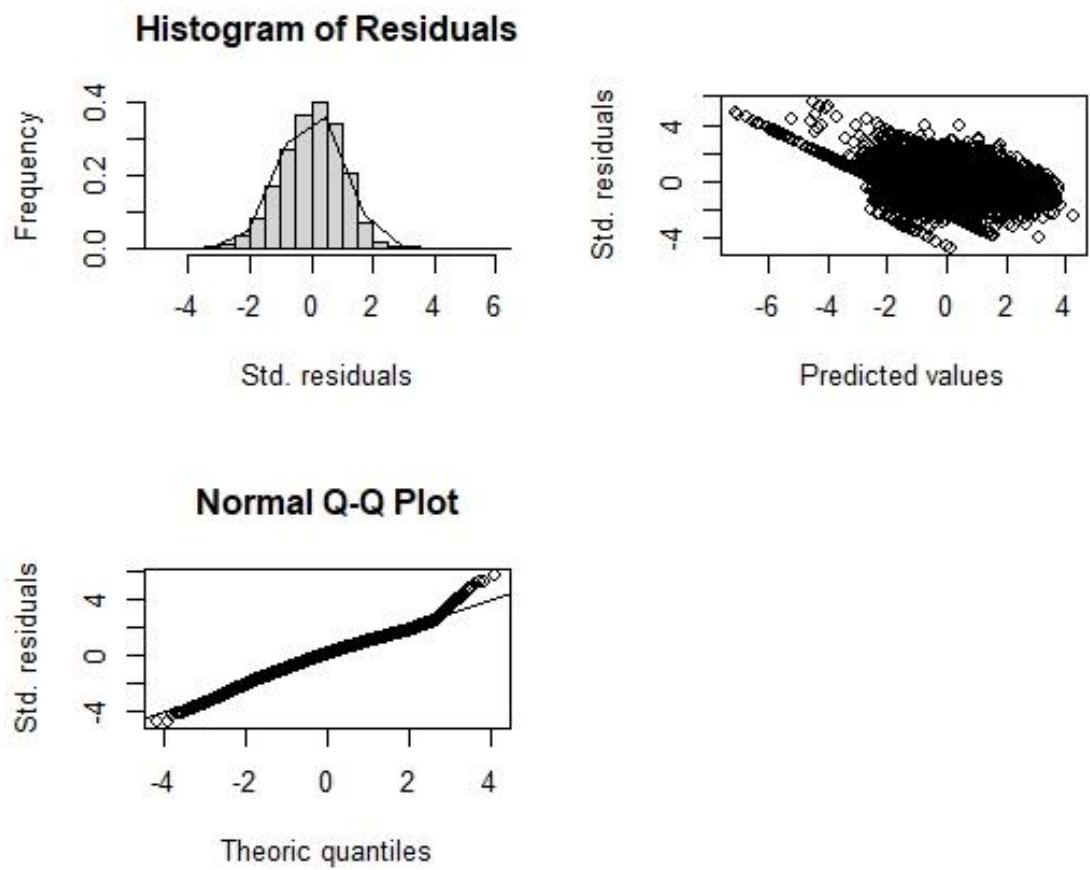


Figura 16 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de pesos gónadas de pinchagua (*Opisthonema spp.*) durante 1995 – 2019.

5.2.5 Madurez (Mat)

En lo que respecta a madurez, a partir del 2008 se registra un incremento en la proporción de individuos maduros dentro de la pesquería, donde los residuales de la varianza del modelo fueron explicado en un 65%, siendo el efecto de la talla el más relevante en dicha variabilidad (16% AIC), seguido del efecto trimestral (14% AIC) y finalmente el efecto anual (7% AIC). A nivel espacial, se registra un comportamiento contrario a lo registrado con las otras variables, donde en la zona 2 y zona 3 se registran las mayores concentraciones de individuos maduros a diferencia de la zona 1 (Golfo de Guayaquil) donde menor proporción de maduros fueron registrados.

En lo que respecta a la talla media de madurez (TMM), talla a la cual el 50% de los individuos se ha reproducido al menos una vez, se registra que los individuos de pinchaguas en la zona 1 presentan TMMS superiores (20 cm LT) en relación a las demás zonas (19 cm LT, TMMS). En la Tabla 10, se registran los factores modelados en sus diferentes niveles, los cuales fueron altamente significantes ($P < 0.05$).

A nivel de sexo, se registran presencia de individuos machos y hembras en estado de madurez, los cuales estarían ligados a un sincronismo al momento que se inicia la actividad reproductiva. En lo que respecta a la presencia de individuos maduros, de manera estacional coincide con lo registrado para PG, donde la mayor proporción de maduros se observa en el primer trimestre, decayendo para el 3er y 4to. (Figura 17).

Tabla 10 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable biológica de respuesta Madurez (Mat). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 65%

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	2%			0.000
Zona 2		0.989355	15.49	0.000
Zona 3		0.940425	15.946	0.000
Año	7%			0.000
Trimestre	14%			0.000
Trimestre 2		-1.185447	-17.069	0.000
Trimestre 3		-2.699263	-38.566	0.000
Trimestre 4		-2.550086	-35.926	0.000
Sexo	0.2%			0.000
Hembra		-0.210894	-5.169	0.000
Talla	16%	0.159561	81.207	0.000

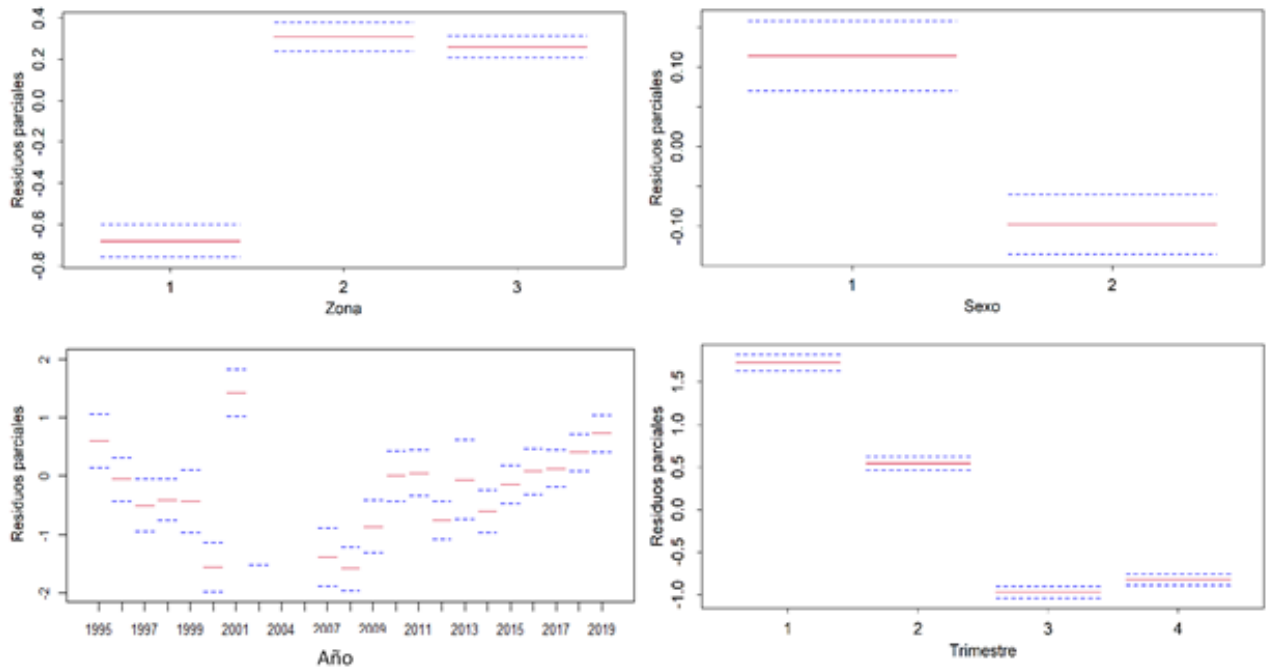


Figura 17 Coeficientes normalizados de Madurez (Mat) con el efecto espacial, sexo, anual y trimestre para pinchagua (*Opisthonema* spp.) durante 1995 – 2019

5.3 Patrones Espacio – Temporales en variables ambientales

5.3.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

A nivel espacial y considerando todo el período de análisis, se registra un marcado incremento de temperatura de sur a norte, donde en el Golfo de Guayaquil (Zona 1) el modelo registra en promedio 22 °C de TSM, mientras que en la zona norte la TSM es de 3°C superior (Figura 18a). En la Tabla 11, se registran los factores modelados en sus diferentes niveles los cuales son altamente significante ($P < 0.05$).

A nivel estacional, la TSM es superior en los primeros dos trimestres del año, meses asociados a la actividad reproductiva de la pinchagua (Figura 18b). En lo que respecta a partir del efecto anual se ha registrado un incremento paulatino de esta variable en los últimos 19 años (2000 – 2019). De manera general, el 58 % de la variabilidad de la TSM, fue explicado por el modelo, dónde el efecto anual fue el responsable de dicha variabilidad (20% AIC).

La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la figura 19.

Tabla 11 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Temperatura Superficial del Mar (TSM). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 58%

Variable Predictora	ΔAIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	60%			0.000
Zona 2		1.103033	322.821	0.000
Zona 3		3.011062	1081.346	0.000
Año	18%			0.000
Trimestre	2%			0.000
Trimestre 2		0.150808	48.891	0.000
Trimestre 3		-1.483235	-404.768	0.000
Trimestre 4		-1.81475	-471.582	0.000

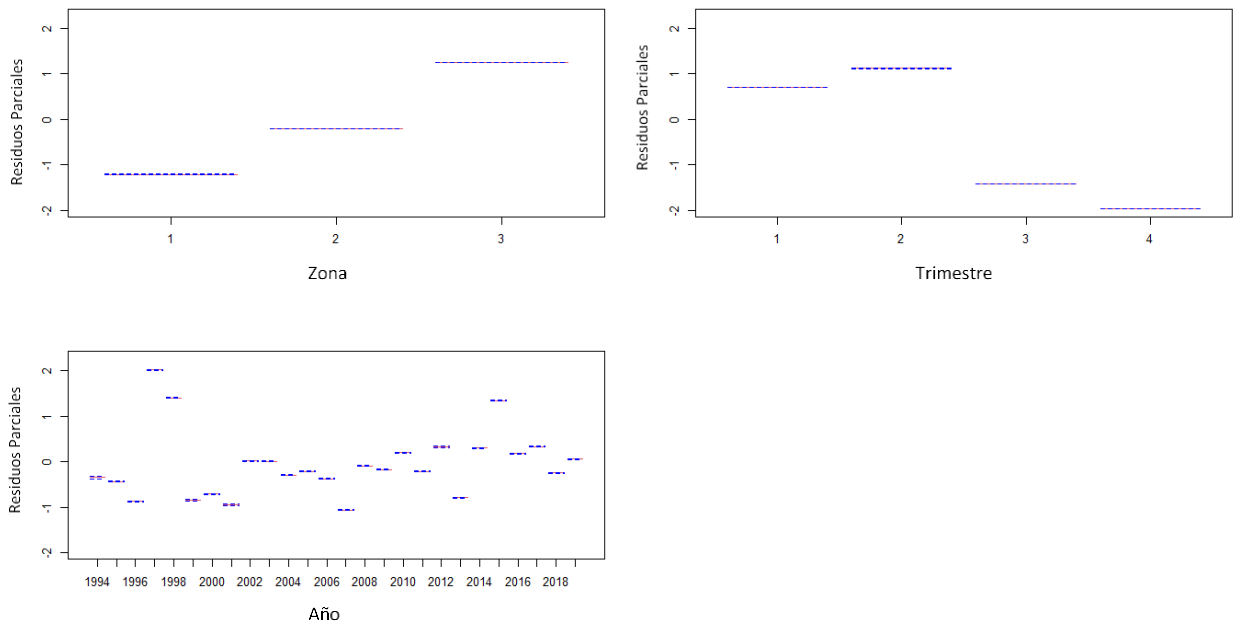


Figura 18 Coeficientes normalizados de temperatura superficial del mar (TSM): efecto espacial, trimestral y anual durante 1995 – 2019

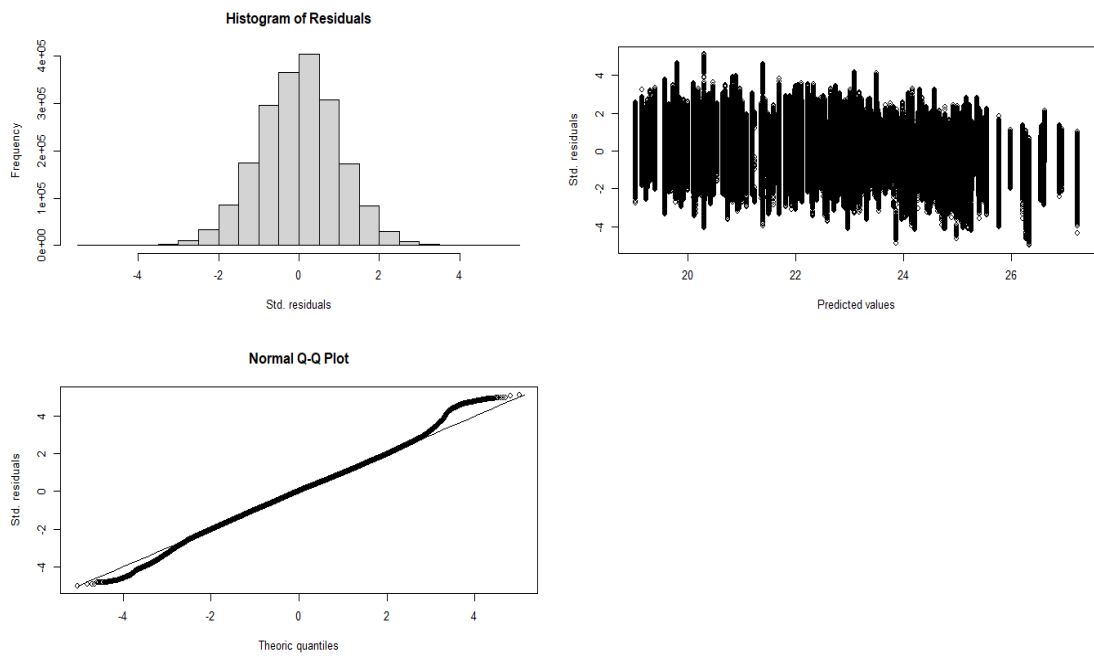


Figura 19 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de temperatura superficial del mar (TSM) durante 1995 – 2019.

5.3.2 Nivel del mar (altimetría)

Los resultados del análisis de esta variable a partir del efecto anual (Figura 20c), ha registrado un incremento paulatino y sostenido en los últimos 16 años (2003 – 2019), donde los residuales de la varianza del modelo fueron explicado en un 52%, siendo el efecto anual el responsable de dicha variabilidad (81% AIC), seguido del efecto zona (30% AIC). A nivel espacial (Figura 20a), se registra un marcado incremento del nivel medio del mar de sur (Golfo de Guayaquil) a norte (norte de Manabí). En la Tabla 12, se registran los factores modelados en sus diferentes niveles los cuales son altamente significante ($P < 0.05$).

A nivel estacional (Figura 19b), los coeficientes del modelo indican que los primeros dos trimestres tuvieron los valores más bajos, mientras que el tercer trimestre el NMM se incrementa. La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la Figura 21.

Tabla 12 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Altimetría (NMM). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 52%

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	30%			0.000
Zona 2		0.0239445	130.531	0.000
Zona 3		0.0666728	474.79	0.000
Año	81%			0.000
Trimestre	1%			0.000
Trimestre 2		0.0027737	16.154	0.000
Trimestre 3		0.01853	107.919	0.191
Trimestre 4		0.0073711	42.93	0.000

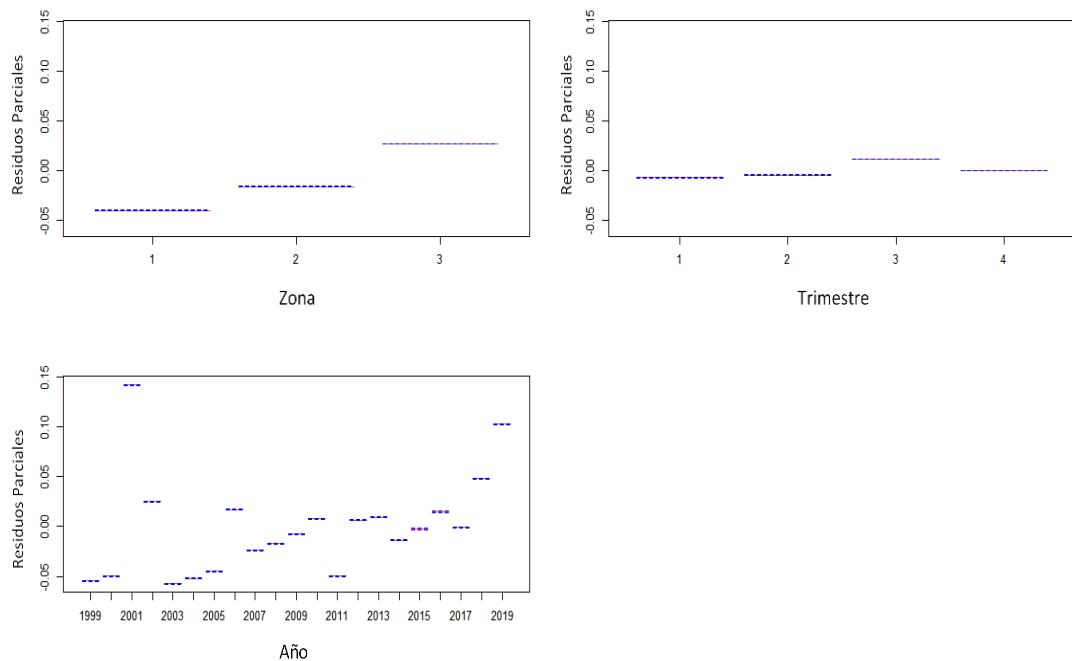


Figura 20 Coeficientes normalizados de altimetría (NMM): efecto espacial, estacional y anual durante 1999 – 2019

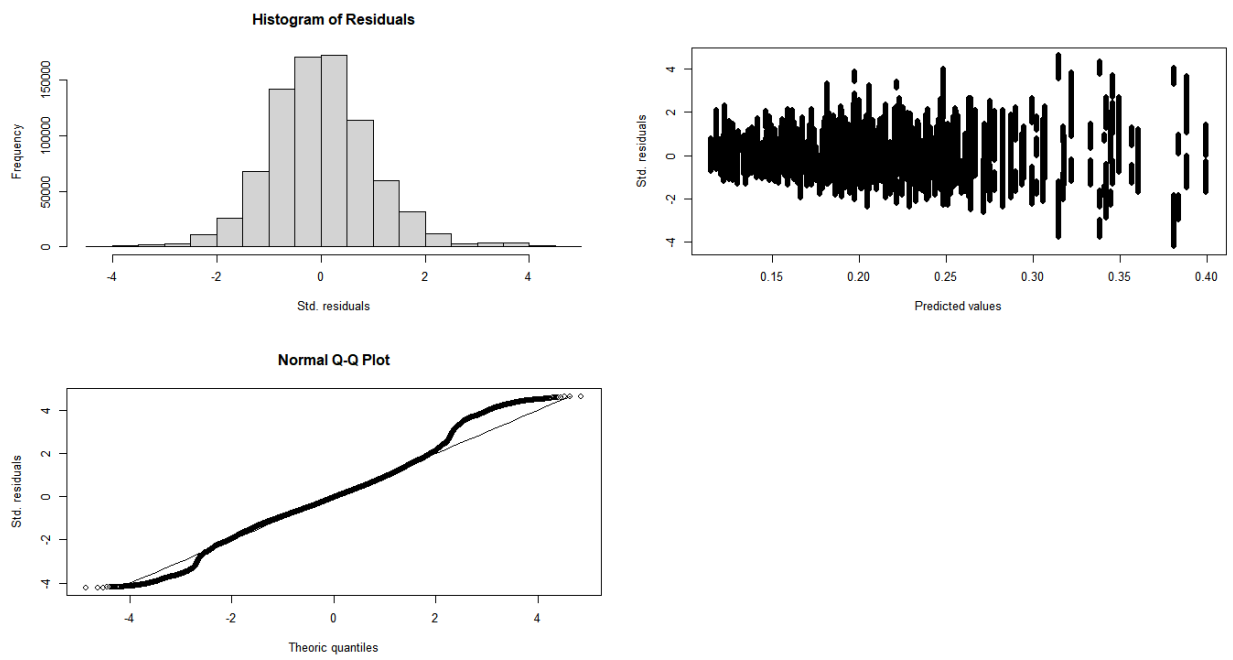


Figura 21 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de Altimetría (NMM) durante 1999 – 2019.

5.3.3 Clorofila (Chlo_a)

Esta variable fue modelada a partir de los logaritmos de las concentraciones de clorofia, donde las variaciones de los residuales del modelo fueron explicadas en un 22%, siendo el efecto anual y temporal (81% AIC), quienes aportaron es esta variabilidad seguido por la zona (71% AIC). En la Tabla 13, se registran los factores modelados en sus diferentes niveles, los cuales fueron altamente significantes ($P < 0.05$).

En la Figura 22 se representan los coeficientes normalizados para cada uno de los efectos en estudio. En lo que respecta al análisis intra-anual, durante el segundo y tercer trimestre se registran las mayores concentraciones, mientras que por zonas, la zona 1 (Golfo de Guayaquil) es la más productiva con concentraciones promedios de 0.6 mg/m^3 , mientras que en la zona 3 se registran concentraciones nulas, por debajo de 0.1 mg/m^3 . A nivel anual, independientemente de la zona o trimestre, se registra el decremento de chlo_a, durante los últimos 17 años (2002 – 2019). La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la Figura 23.

Tabla 13 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Clorofila (Chlo_a). El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 22%.

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Zona	79%			0.000
Zona 2		-0.1977534	0.0007916	0.000
Zona 3		-0.326287	0.0006531	0.000
Año	81%			0.000
Trimestre	81%			0.000
Trimestre 2		0.1388379	0.0007643	0.000
Trimestre 3		0.0643924	0.0008089	0.000
Trimestre 4		0.0050734	0.0008399	0.000

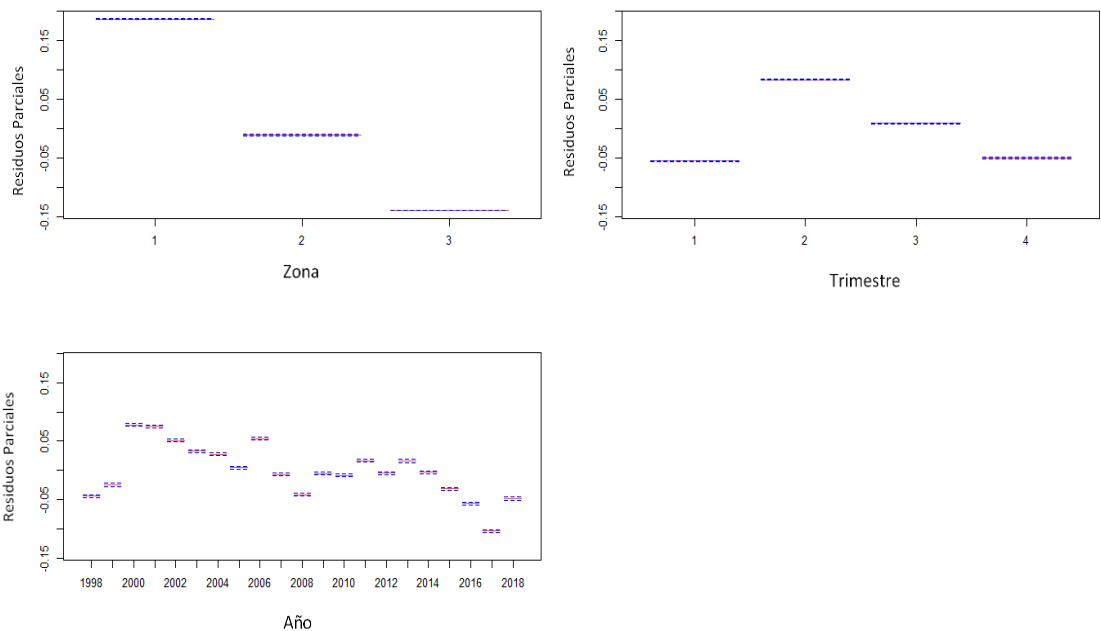


Figura 22 Coeficientes normalizados de clorofila (Chlo_a): efecto espacial, estacional y anual durante 1998 – 2018

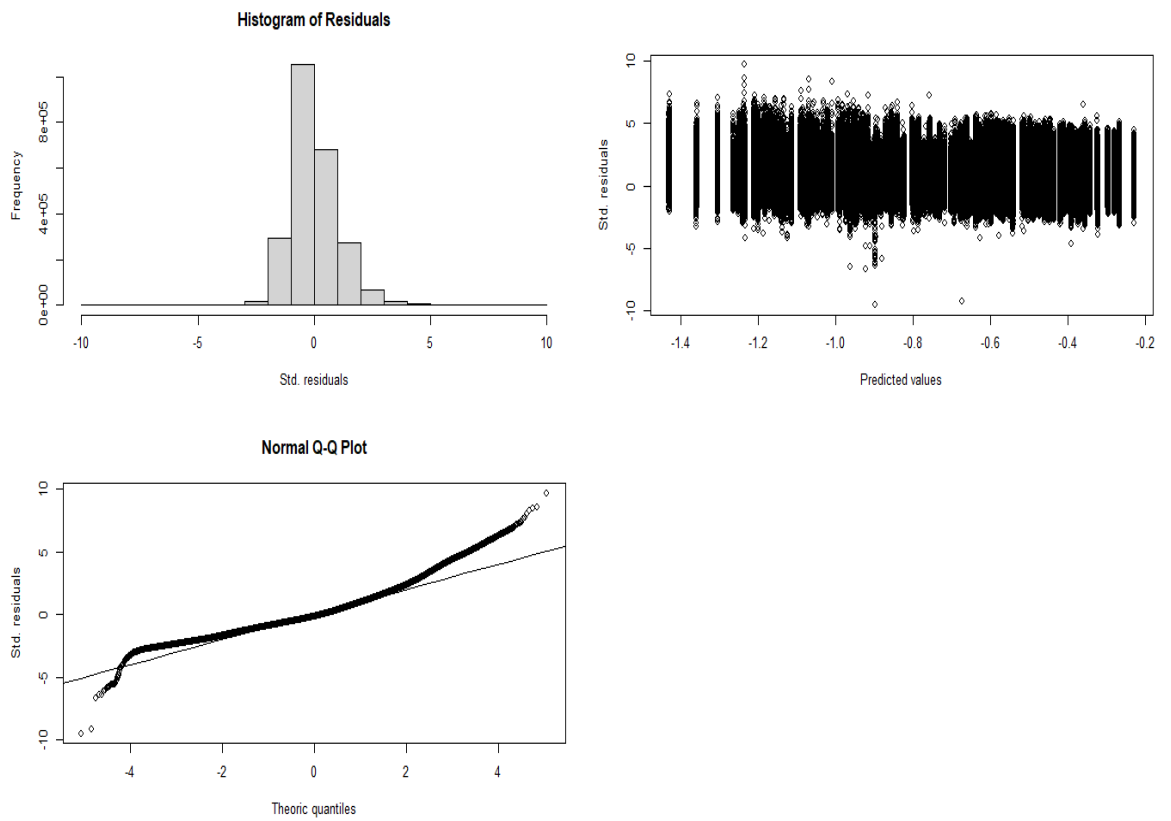


Figura 23 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de clorofila (Chlo_a) durante 1998 – 2018

5.3.4 Índice Niño 1 + 2

Los resultados del análisis de índice a partir del efecto anual (Figura 24a), ha registrado un comportamiento variable durante el periodo de estudio, donde los residuales de la varianza del modelo fueron explicado en un 57%, siendo el efecto interanual el responsable de dicha variabilidad (76% AIC), seguido del efecto anual (45% AIC). Debido a que este índice indica la variación temperatura a nivel de las regiones Niño, no se pudo modelar a nivel de zonas. En la Tabla 14, se registran los factores modelados en sus diferentes niveles los cuales fueron altamente significantes ($P < 0.05$).

A nivel estacional (Figura 24b), no se registraron marcadas variaciones de este índice a partir de los coeficientes del modelo, salvo el último trimestre con valores negativos del índice, pero no de gran magnitud (-0.1). La validación y ajuste del GLM respecto a la distribución de los residuales, predichos y qq-plot, se observan en la Figura 25

Tabla 14 Principales estadísticos obtenidos a partir del análisis del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a la variable ambiental de respuesta Índice Niño 1+2. El porcentaje de varianza explicado por el modelo, bajo esta combinación, es del 57%

Variable Predictora	Δ AIC	Coeff	t-value	p-value
Año	45%			
Trimestre	76%			
Trimestre 2		0.1016	0.1319	0.4418
Trimestre 3		0.07587	0.1319	0.56564
Trimestre 4		-0.0736	0.1319	0.57731

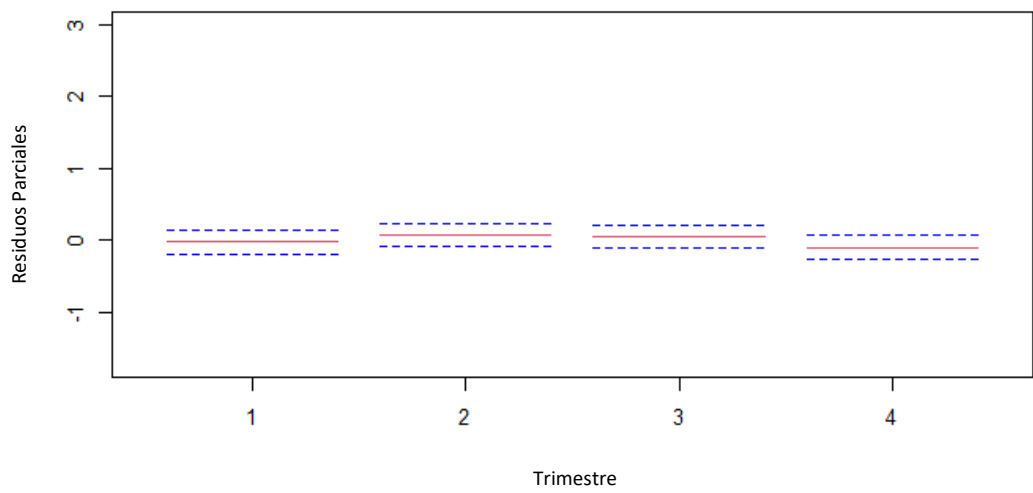
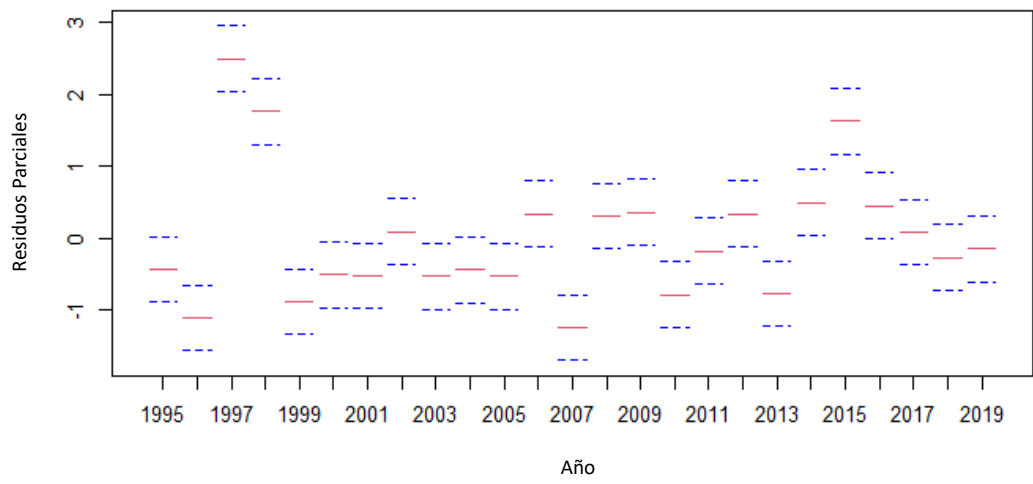


Figura 24 Coeficientes normalizados de Niño 1+2: efecto anual y estacional, durante 1995 – 2019

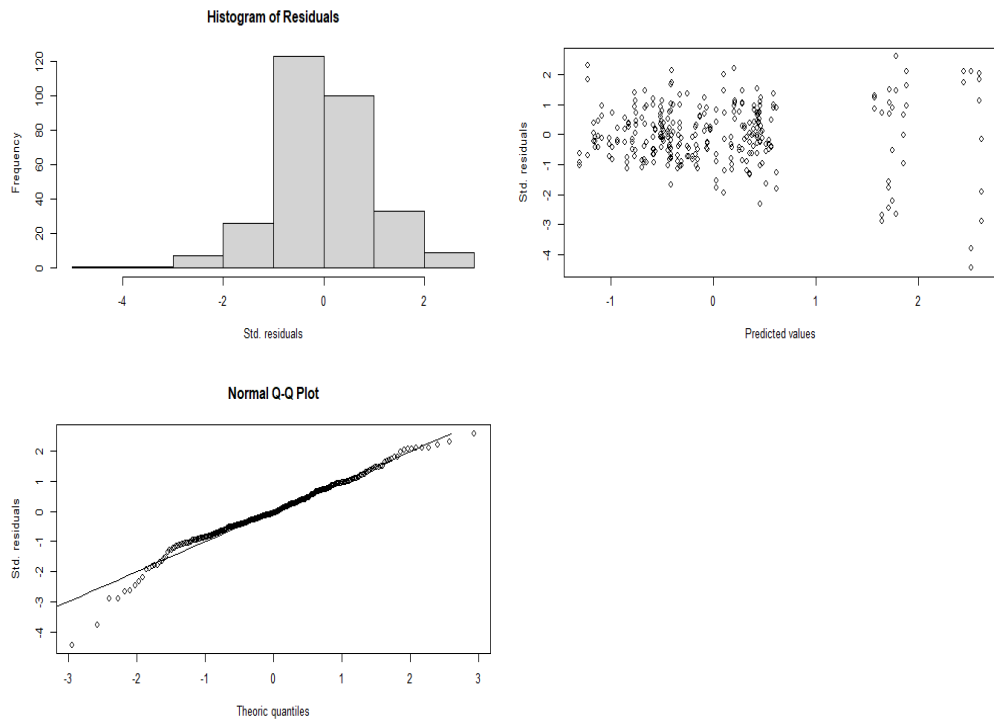


Figura 25 Diagnóstico gráfico del ajuste del Modelo Lineal Generalizado (GLM) aplicado a los datos de Índice ONI durante 1995 – 2019

En General, se registra a nivel espacial una marcada diferencia entre los rasgos biológicos así como también el comportamiento de las variables ambientales, es así que en la zona 1, correspondiente al Golfo de Guayaquil, la LT de la pinchagua es mayor, al igual que la concentración de clorofila, pero la proporción de maduros, peso de gónadas, así como la TSM, NMM, son menores en comparación con la zona 3 (Norte de Manta – Sur de Esmeraldas), donde se registra un comportamiento inverso tanto en las variables ambientales y biológicas en comparación a lo observado en la

zona 1 (Figura 26).

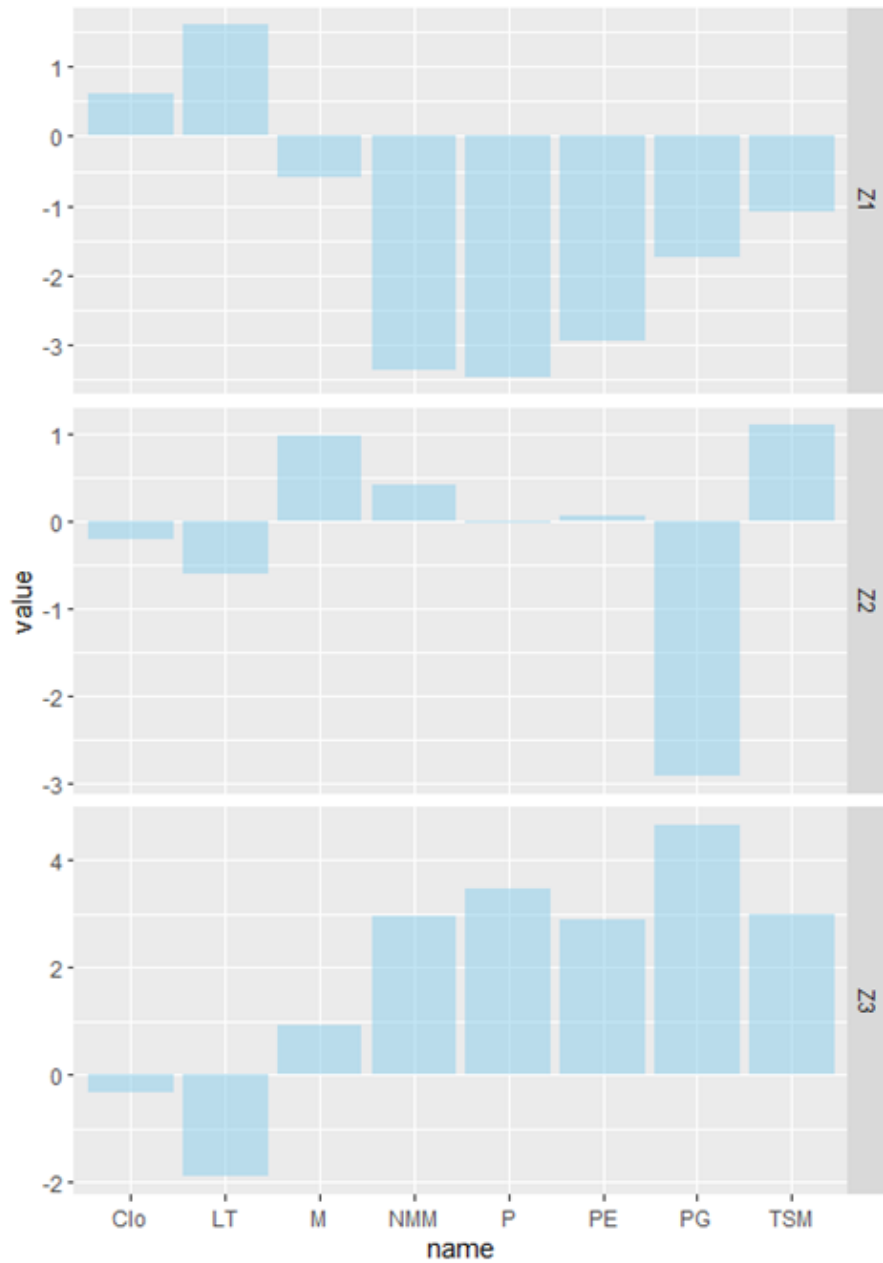


Figura 26 Coeficientes del efecto zona: Z1 (Golfo de Guayaquil), Z2 (Puntilla de Santa Elena – Manta) y Z3 (Norte de Manta – Sur de Esmeraldas) obtenidas a partir de GLM para para las variables ambientales Clorofila (clo), Altimetría (NMM), Temperatura Superficial del Mar (TSM), así como variables biológicas: Longitud Total (LT), Madurez (Mat), Peso (P), Peso Eviscerado (PE) y Peso de Gónada (PG)

5.4 Correlaciones entre los rasgos biológicos y las variables ambientales

En las Tablas 15 – 16, se registran los resultados del análisis de correlación entre los coeficientes de los rasgos biológicos y variables ambientales de manera anual, de acuerdo a los diferentes tratamientos a las cuales fueron sometidos (correlaciones con valores normales y correlaciones desfasadas con 1 año). Se destacan aquellas correlaciones que demostraron tener una relación lineal fuerte ($p \text{ value} < 0.05$), así como también los gráficos que mejor representaron estas correlaciones.

La talla se correlaciona negativamente con el PDO ($r=-0.51$), a diferencia del peso cuya correlación es positiva con las concentraciones de clorofila ($r= 0.58$) (tabla 15, Figura 27). Las tendencias de estas variables muestran que a partir del 2008 la longitud total va disminuyendo, en respuesta a un incremento de los valores negativos de la PDO, mientras que a medida que estos valores se acercan a positivos, la disminución en las longitudes se vuelve pausado (Figura 29a). Para el caso de las tendencias entre peso y clorofila, los valores de concentración de clorofila han disminuido en los últimos 11 años, los cuales han influido directamente en los pesos promedios (Figura 27a).

Se registraron correlaciones negativas entre el peso de gónada y los coeficientes de las capturas ($r=-0.62$), a pesar que esta relación no fue significativa al 95%, sí lo fue al 90% ($p \text{ value} < 0.1$). Así mismo se observa que con desfase de un año, la proporción de individuos maduros se relaciona de manera positiva ($r=0.73$) y significativa ($p=0.01$) con el nivel medio del mar (tabla 16). En lo relacionado a las tendencias, se destaca a partir del 2008 el incremento paulatino del NMM así como de los coeficientes de madurez, sugiriendo esto que la variabilidad de este rasgo biológico se ve explicada por los cambios en los niveles del mar (Figura 28 a). Complementariamente se

destaca que la TSM se correlaciona positivamente con los rendimientos de la pesca ($r=0.59$).

Tabla 15 Matriz de correlación (incluyendo los valores de significancia p value < 0.05), a partir de los coeficientes anuales del GLM, empleado para describir los efectos entre las variables biológicas y medioambientales.

	Talla	Peso	Peso_Gon	Mat	NMM	Clo	TSM	ONI	PDO	Capt
Talla	1									
Peso	0.32 (0.30)	1								
Peso_Gon	-0.52 (0.15)	-0.60 (0.09)	1							
Mat	-0.48 (0.12)	-0.41 (0.18)	-0.04 (0.91)	1						
NMM	-0.07 (0.84)	-0.55 (0.05)	0.07 (0.86)	0.58 (0.05)	1					
Clo	0.04 (0.90)	0.58 (0.05)	-0.04 (0.92)	-0.38 (0.23)	-0.59 (0.04)	1				
TSM	-0.50 (0.10)	-0.08 (0.80)	-0.32 (0.40)	0.01 (0.97)	-0.03 (0.94)	-0.34 (0.27)	1			
ONI	-0.39 (0.20)	-0.02 (0.95)	0.21 (0.58)	-0.31 (0.33)	-0.21 (0.52)	-0.20 (0.53)	0.77 (0.00)	1		
PDO	-0.51 (0.09)	-0.47 (0.12)	0.25 (0.52)	0.39 (0.21)	0.30 (0.34)	-0.44 (0.15)	0.57 (0.05)	0.53 (0.08)	1	
Capt	0.01 (0.98)	0.33 (0.29)	-0.62 (0.07)	-0.43 (0.16)	-0.41 (0.19)	0.12 (0.72)	0.59 (0.04)	0.29 (0.36)	-0.18 (0.57)	1

- En color sombreado se destaca las correlaciones significativas.

Tabla 16 Matriz de correlación (incluyendo los valores de significancia p value < 0.05), a partir de los coeficientes anuales del GLM, empleado para describir los efectos entre las variables biológicas y medioambientales, con desfase de 1 año.

	Talla	Peso	Peso_Gon	Mat	NMM	Clo	TSM	ONI	PDO	Capt
Talla	1									
Peso	0.13 (0.71)	1								
Peso_Gon	-0.52 (0.15)	-0.60 (0.09)	1							
Mat	-0.10 (0.78)	-0.23 (0.50)	-0.04 (0.91)	1						
NMM	-0.03 (0.93)	-0.13 (0.69)	0.22 (0.56)	0.73 (0.01)	1					
Clo	-0.26 (0.45)	0.37 (0.26)	-0.11 (0.78)	-0.61 (0.04)	-0.30 (0.38)	1				
TSM	-0.22 (0.52)	-0.02 (0.95)	0.21 (0.59)	0.34 (0.31)	-0.03 (0.93)	-0.42 (0.20)	1			
ONI	-0.01 (0.97)	-0.16 (0.63)	-0.04 (0.91)	0.12 (0.73)	-0.17 (0.62)	-0.33 (0.32)	0.78 (0.00)	1		
PDO	-0.33 (0.32)	-0.37 (0.26)	0.04 (0.92)	0.55 (0.08)	0.31 (0.35)	-0.44 (0.18)	0.58 (0.06)	0.56 (0.08)	1	
Capt	-0.03 (0.93)	0.54 (0.09)	0.08 (0.84)	-0.11 (0.74)	-0.35 (0.29)	-0.03 (0.94)	0.61 (0.05)	0.27 (0.43)	-0.15 (0.66)	1

- En color sombreado se destaca las correlaciones significativas.

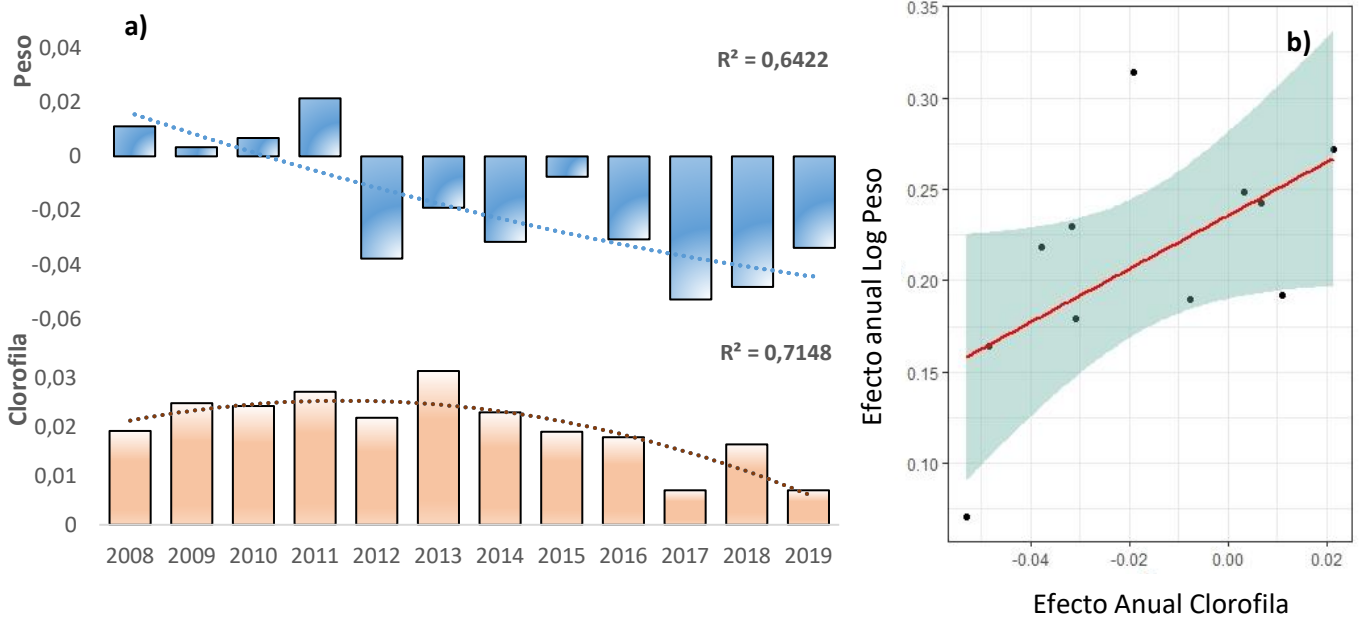


Figura 27 Comportamiento en las tendencias de los efectos anuales de las variables ambientales Peso y Chlorofila (a) y Regresión Lineal entre efectos anual de Clo - Peso (b)

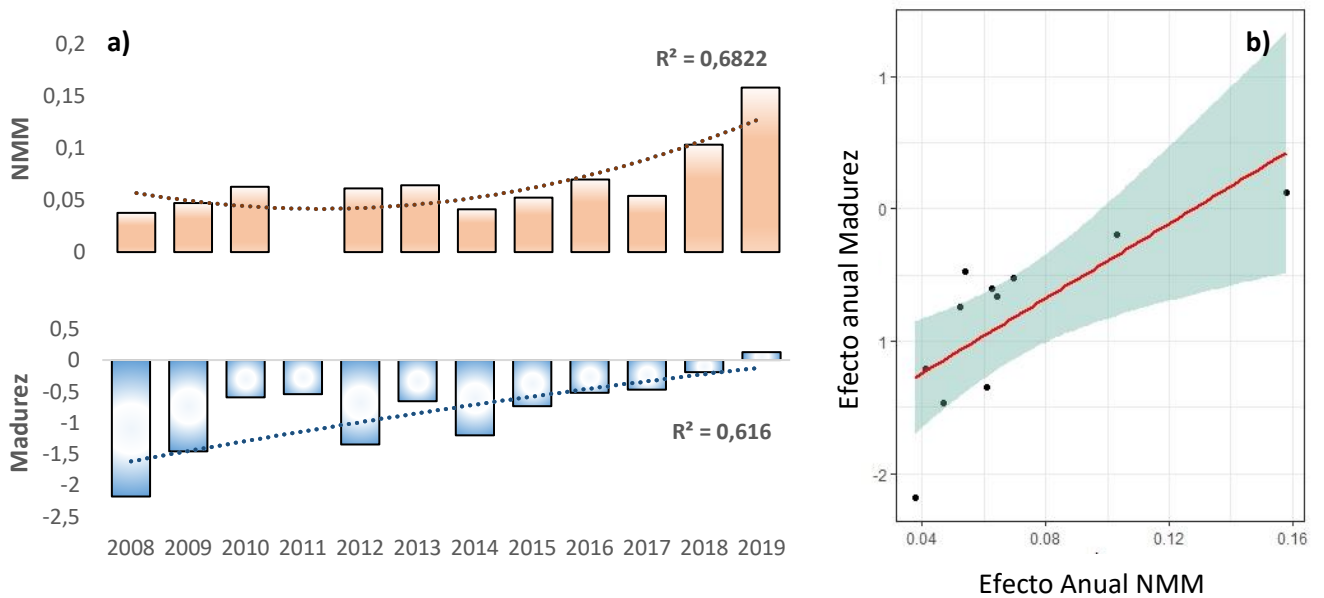


Figura 28 Comportamiento en las tendencias de los efectos anuales de las variables ambientales NMM y Madurez (a) y Regresión Lineal entre efectos anual de NMM y Madurez (b)

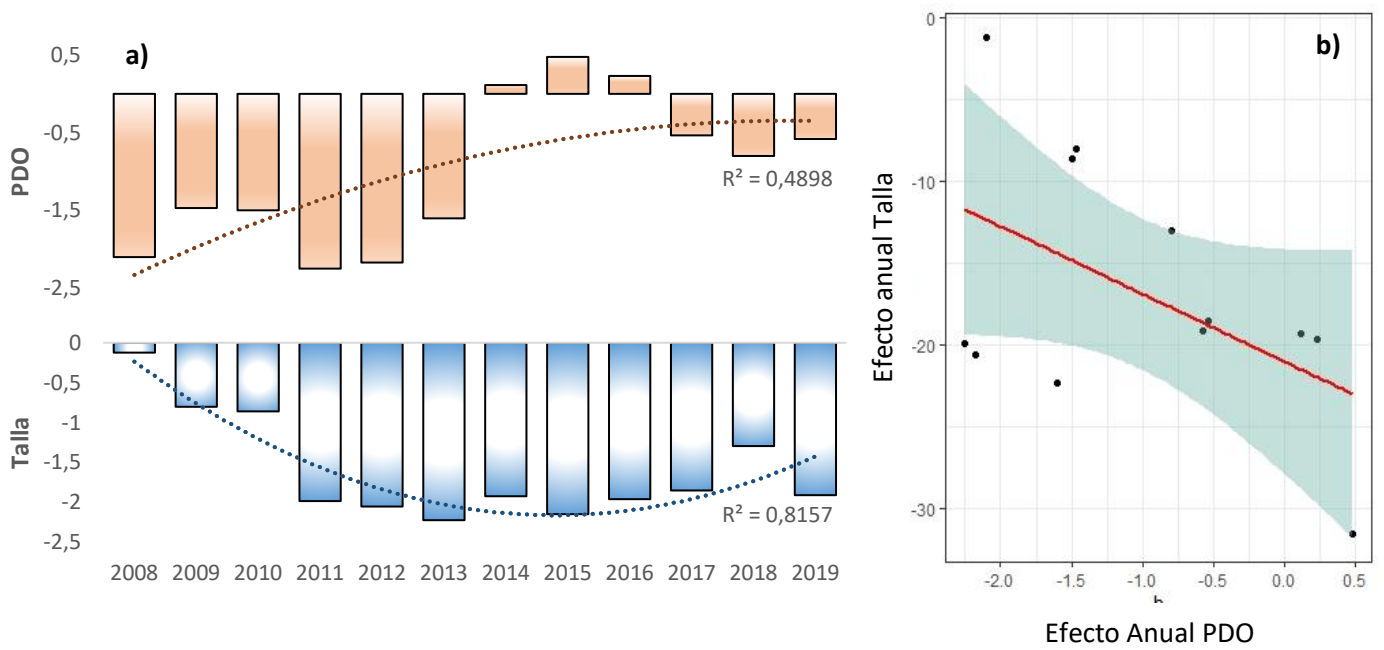


Figura 29 Comportamiento en las tendencias de los efectos anuales de las variables ambientales PDO y Talla (a) y Regresión Lineal entre efectos anual de PDO y Talla (b)

6. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

Diferentes factores pueden afectar o impactar la población de un determinado recurso tales como la temperatura, disponibilidad de alimento, altimetría, los cuales, a su vez, pueden afectar de manera positiva o negativa procesos importantes como el crecimiento, reproducción, distribución espacial (Barange et al., 2009; Cahuin et al., 2013; C. M. Canales et al., 2018; Cubillos & Montes, 2000; Deriso et al., 2008). En este trabajo se avanzó en la comprensión del efecto de las variables ambientales sobre los rasgos biológicos del recurso pinchagua durante el periodo 1995 -2019, integrando 24 años información de la especie *Opisthonema* spp, donde se registraron importantes cambios en los rasgos biológicos anuales, interanuales, así como espaciales.

6.1 Variaciones en los rasgos biológicos

Los resultados de los efectos anuales en los rasgos biológicos de esta especie, mostraron que, a nivel general, la longitud total y el peso total han decrecido mientras que el porcentaje de individuos maduros incrementó durante el periodo de análisis, lo cual coincide con lo reportado por Canales et al (2018), para la anchoveta al sur de Perú – Norte de Chile. En los últimos 12 años, la pinchagua ha registrado un decremento en la longitud promedio en 2.4 cm, y de manera similar se ha registrado la disminución en el peso promedio individual.

Los registros señalan que, a partir del periodo 2007 – 2008, se habría detectado un cambio de régimen ambiental donde se marcaría el inicio en la disminución de la longitud promedio individual de *Opisthonema* spp, coincidiendo con el incremento de la TSM, por lo cual la reducción en la LT estaría dado por el impacto que las variaciones en la TSM ejerce sobre la

fisiología de estos recursos, en respuesta al incremento o decremento de esta variable ambiental. La TSM tiene una respuesta negativa sobre las tallas, este tipo proceso se ha documentado en otros recursos pelágicos como resultado de la afectación a los procesos de termorregulación y energía que involucra para mantener los procesos biológicos y a su vez se ha indicado que el CC impactará de manera negativa estos procesos (Gardner et al., 2011; Sherida y Bickford, 2011).

De igual manera Cheung et al.(2013); Druon et al. (2019); Heino & Kaitala, (1999), indicaron que los organismos tienen que dividir la energía requerida entre su mantenimiento fisiológico, crecimiento y reproducción, por lo cual limitarán el crecimiento en favor de la reproducción. Esto podría explicar lo encontrado en este estudio respecto al decremento de las tallas y el incremento de la proporción de maduros, ligado a un ligero incremento del peso de la gónada, por lo cual se podría decir que esta especie como parte de un proceso de adaptación hacia nivel de fenotipo, ha penalizado su crecimiento por su necesidad de reproducirse y mantener la especie causado por la influencia de las variables ambientales, este tipo de respuesta se encuentra en concordancia con otras especies pelágicas a nivel pacífico (Canales et al, 2018; Biro et al., 2010).

Adicionalmente, de acuerdo a las correlaciones obtenidas, la talla se relaciona de manera negativa al PDO, por lo cual valores negativos del PDO como parte de la fase fría en la cual se encuentran en la actualidad (Ormaza, et al., 2016) podría estar influyendo en el crecimiento individual. Deriso et al. (2008), indica que la PDO es citada con frecuencia como la mayor influencia en los cambios en el ecosistema y que a su vez ha influenciado en los procesos de crecimiento en la sardina del pacífico.

6.2 Periodo Reproductivo y condiciones ambientales

El incremento de la proporción de individuos maduros y de pesos de gónadas se vio acentuada durante el primer y segundo trimestre, ratificando los patrones reproductivos descritos para esta especie (Jurado et al, 2018; Canales et al, 2020; Canales et al, 2013; Cedeño & González, 2008), así como también una ampliación en los meses donde se producen la actividad reproductiva, los cuales podrían estar relacionados a un proceso de adaptación de la especie.

Los resultados de este estudios demuestran que en la época de actividad reproductiva las condiciones ambientales se reflejan en valores altos de TSM, altas concentraciones clorofila y bajos niveles de NMM. Al parecer esta es una condición que rige los patrones de reproducción en especies pelágicas considerando resultados similares en la anchoveta al sur de Perú (Canales et al, 2018). Estos resultados igualmente corroboran la hipótesis de Bakun (1996), donde indica que el hábitat ideal para la reproducción de especies pelágicas es el resultado de tres procesos marcados: 1) capas superficiales del mar enriquecida con altas concentraciones de clorofila, 2) alta concentración de nutrientes como respuesta a una disminución del NMM y 3) retención de huevos y larvas como consecuencia de la disminución del viento.

6.3 Reclutamiento, condición somática, reproductiva y patrones espacios temporales

Los resultados de este estudio en lo que respecta a los patrones espacio temporales registraron que, durante el tercer trimestre (junio-agosto), se evidenció una reducción en la longitud promedio y peso promedio, asociado a la captura de juveniles dentro de la pesquería. Estos resultados sugieren que dicho período coincidiría con el período de reclutamiento de esta especie, corroborando con lo mencionado por Jurado et al. (2018); Jurado & Prado

(2007), quienes indicaron que para estos meses, la presencia de individuos juveniles estaría relacionada con el ingreso de reclutas a la pesquería.

De igual manera, Canales et al. (2020), indicaron que en los últimos años los cambios en las biomásas de pinchagua se han dado por fallas a nivel de reclutamiento. Cambios en la productividad dados por anomalías en el ambiente son los responsables para que se produzcan cambios en el reclutamiento y por ende se altere la estructura poblacional de este recurso (Canales et al., 2013). Estos cambios de régimen por afectación del ambiente ha sido documentada en la pesquería de anchoveta en Perú y Chile (Canales et al., 2018; Cahuin, et al., 2013), mientras que situación similar se registra en la sardina de monterrey en el GC (Lanz, 2008). Cabe indicar que las condiciones ambientales para esos meses está dada una disminución en la TSM, concentraciones medias de clorofila, y valores medios en la altimetría.

A nivel especial, se registraron cambios importantes en los patrones biológicos de sur a norte, donde individuos capturados de pinchaguas en la zona 1, correspondiente al Golfo de Guayaquil, presentaron longitudes corporales, pesos totales (factor de condición) y peso de gónadas superiores en lo relacionado a la zona 3. A diferencia de la proporción de individuos maduros, donde hacia el norte (zona 3) fueron significativamente superiores. Esta marcada diferencia en las longitudes y pesos promedios por zona estarían dadas por el hábitat donde se desarrollan las especies, es así que el Golfo de Guayaquil (GG) es considerado como un área altamente productiva dada por los diferentes tipos de corrientes que ahí convergen, así como también por la influencia del caudal de agua dulce correspondientes a todas las cuencas hidrográficas que ahí convergen, así como producto de la aportación del sistema de manglares que bordea la línea costera que aporta con material orgánico (Ocean Health Index (OHI) 2015). Jurado y Prado (2007)

y Jurado (2018) indicaron que existen diferencias en la estructura de tallas de pinchaguas distribuidas en las zonas antes mencionadas.

Torres et al (2018), determinaron que los valores de nutrientes asociados a la concentración de clorofila en el GG son constantes, siendo el nitrato el mayor componente que se aporta en este sistema por lo cual soporta las concentraciones de fitoplancton aún en aguas cálidas asociadas a eventos ENOS, por lo cual la diferencia en las longitudes promedio estaría dada por la disponibilidad de alimento, así como su capacidad para aprovecharlo y almacenarlo, y utilizarlo para incrementar tanto su talla como peso, sin dejar a un lado la presión por pesca que se ejerce en cada una de estas zonas.

Adicionalmente se podría decir que las diferencias encontradas en tallas (crecimiento) en los individuos que habitan en el GG en comparación con los del norte de Manabí, estaría dada por la baja competencia por disponibilidad de comida por lo cual existe una mayor ingestión de presa por individuo lo cual se ve reflejado en un mayor y rápido crecimiento (Trippel, 1995).

Este tipo de comportamiento en lo relacionado a aprovechar de mejor manera los nutrientes disponible se documentó en las poblaciones de sardina en el Ecosistema de Benguela, donde las poblaciones que habitaban al sur registraban mayor factor de condición, que aquellas que se distribuían al norte y que a su vez este cambio se había dado porque las sardinias habían adoptado una estrategia oportunista de uso de energía disponible (alimento) y era empleado para su crecimiento tanto en talla como en peso (Kreiner *et al.*, 2001).

De manera general se puede decir que la longitud y peso promedio se ve reducida latitudinalmente y que a su vez la proporción de individuos maduros a la misma edad se incrementa hacia al norte, pero decrecen al sur. Esto

debido a que las condiciones ambientales al sur (GG) son más favorables que las encontradas al norte del país. Este tipo de patrones donde la distribución geográfica es favorable para los rasgos biológicos es similar a lo encontrados en las poblaciones de anchoveta del sur de Perú – Norte Chile y en las sardinas en Benguela (Kreiner et al., 2001; Canales et al., 2018).

Adicionalmente las pinchaguas del norte de Manabí, podrían tener un menor tamaño dado que la TSM es superior (en 3° C) respecto al GG, (Inocar, 2000 reporta que la TSM para Manabí flutúa entre 25.9° C y 25.6° C) y por ende se relacionaría a una actividad reproductiva más intensa. Los individuos de pinchagua requieren producir una mayor cantidad de huevos con la finalidad de mantener la especie y aprovechar al máximo los pocos nutrientes disponible en esa zona y por ende en los individuos de pinchagua de esta zona la talla de primera madurez sexual es inferior. Lo anterior es mas notable considerando que la talla y el peso se ven reducido tanto por influencia negativa de la TSM (Canales et al., 2018; Gardner et al., 2011; Sheridan & Bickford, 2011) así como por su gasto de energía para mantener la reproducción (Cheung et al., 2013; Druon et al., 2019; Heino & Kaitala, 1999).

6.4 Variables ambientales y desempeño del rendimiento de pesca

Se han documentado correlaciones negativas entre las capturas y el peso de las gónadas, las cuales son atribuidas por efectos latitudinales asociada a variables ambientales más que al factor pesca (Canales et al., 2018). Los resultados de este estudio encontraron similares correlaciones negativas, pero debido al estado de explotación de este recurso, no se puede descartar que los procesos reproductivos de *Opisthonema* spp. puedan estar también afectados al estrés que el esfuerzo pesquero causa sobre ellos (Trippel, 1995), sumado a procesos de adaptaciones fisiológicas al incremento de la TSM y cambios ambientales (Brosset et al., 2015).

De igual manera se encontró que la TSM impacta de manera negativa las capturas. Diferentes autores han documentado como esta variable ambiental influye en la distribución y abundancia de poblaciones pelágicas (Ormaza et al., 2016; Cornejo 2007; Cahuin et al., 2013; Jiménez, 2008) y a su vez como el CC va a acrecentar los cambios en disponibilidad de estos recursos (Barange et al., 2018; Bell et al., 2011; Biro et al., 2010; Druon et al., 2019; Fenichel et al., 2016).

Por otro lado, la matriz de correlación determinó que cambios en las concentraciones de clorofila tiene impacto negativo en los pesos promedios individuales, afectando de esa manera las biomásas de este recurso. Del mismo modo, estos cambios en los pesos se ven reflejados a partir del 2008 con la disminución de la clorofila y podría sugerir periodos de baja nutrición de Pinchagua. Los niveles de biomasa de esta especie han decaído en la última década en aguas ecuatoriana, donde los valores de biomásas de 101 222 t en 1995, se redujeron a valores inferiores de 85 433 t para periodos posteriores al 2008 (Canales et al.,2020). Cuando disminuye la biomasa se ven afectadas las capturas por lo cual estos cambios tienen afectaciones socioecómicas también.

Brosset et al. (2015); Van Beveren et al. (2014), indicaron que los cambios en la biomasa no solamente dependen de fallas en los reclutamientos, sino que podrían estar dados por efectos combinados de crecimiento lento y por factores ambientales como la productividad, basado en la calidad de la comunidad fitoplántonica. Así también la biomasa puede disminuir debido a cambios en patrones de migración para buscar sitios con mejor productividad primaria (Pacariz et al., 2016, García-Franco et al., 2001). Cambios en la productividad de plancton a causa del incremento de la temperatura se ha documentado en el mar mediterráneo dando como resultado que la condición (peso) de las poblaciones de sardinas se vea afectada por el inadecuado suplemento de comida (Brosset et al., 2015, 2016).

6.5 Disponibilidad de alimento y rasgos reproductivos

Esta especie se ha catalogado como oportunista, debido a que su dieta está basada en huevos de peces, copépodos, dinoflagelados, larvas de bivalvos (Guzmán de Peribonio, 1983a), los cuáles varían estacionalmente dada por las condiciones ambientales propias de cada área, así como el rango de distribución de la especie (Canales et al., 2018; García-Franco et al., 2001; Lanz, 2008).

Wilson & Adamec (2002), reportan una relación inversa entre el NMM y nutrientes (clorofila), lo cual podría indicar una condición en las corrientes con sistema de afloramiento como es la corriente de California. Los resultados de esta investigación evidenció que existe una asociación negativa entre el NMM y concentración de clorofila, así como una relación directa entre NMM y madurez. Por lo cual la producción de alimento y un adecuado nivel del mar podría estar asociado a un habitat favorable al momento iniciar el desove, donde los valores bajo del NMM permitirían una mayor concentración de nutrientes y por ende las larvas tendría alimento disponible para su normal desarrollo.

Los desoves de sardinas que habitan en el mar de Noruega, están ligados a la dependencia de alimentos (fitoplancton) y las concentraciones de éstos en las zonas donde habitan, el asegurar una buena alimentación permitirá que los individuos tengan reservas y garantice un buen proceso de desove y de migración (Sherida y Bickford, 2011). Mientras que en el GC las especies de sardinas que ahí se desarrollan ajustan sus periodos de desove a la presencia de alimento, el cual es determinante para la sobrevivencia de las larvas (Lanz, 2008), razón por la cual la producción de alimento en las zonas donde se desarrollan los diferentes recursos es de vital importancia

para el desarrollo óptimo de los mismos (Cury y Roy, 1989; Lluch-Cota et al., 1999).

Canales et al., (2018) indicó que la anchoveta disminuye en tallas de manera latitudinal con cambios en sus rasgos reproductivos relacionado a la poca disponibilidad de alimento y al incremento del NMM. Los resultados de este trabajo de investigación dan a conocer que esta condición se cumple para las poblaciones de *Opisthonema* spp. distribuidas a lo largo de la costa de Ecuador, donde los individuos de pinchagua que habitan en el GG son de mayor longitudes asociados a habitats donde la TSM y el NMM es bajo y con alta concentración de clorofila, en comparación con el norte de Manabí donde las variables ambientales antes mencionadas poseen un comportamiento contrario.

Para finalizar, los resultados de este trabajo de investigación ha generado dos posibles hipótesis: 1) las poblaciones de *Opisthonema* spp., estarían estructuradas como una metapoblación, dado por los patrones en los rasgos biológicos a nivel espacial, así como también por sus zonas costeras de desove, este tipo de hipótesis se ha generado en otras especies pelágicas como anchoveta (*Engraulis ringens*) en el stock Norte de Chile (Canales et al., 2018) , jurel (*Trachurus murphyi*) en Chile (Gerlotto et al., 2017), sardina ibérica (*S. pilchardus*) en Galicia (Carrera & Porteiro, 2003), entre otras especies. 2). Otra hipótesis estaría dada a que existe segregación a nivel de especies, es decir que son especies distintas que se encuentran distribuidos en habitats específico.

6.6 Conclusiones Generales

De acuerdo al análisis realizado a la serie de tiempo de variables biológicas de la especie pinchagua, se pudo determinar cómo las variables ambientales influyen en el normal desarrollo de las poblaciones de esta especie. La aplicación de GLM permitió determinar cambios en los patrones espaciales y temporales de *Opisthonema* spp.

Se puede concluir que *Opisthonema* spp pasa por un proceso adaptativo a nivel de fenotipo, como una estrategia de respuesta hacia las variaciones ambientales y así poder perpetuar la especie. Por lo tanto la TSM, el NMM y la disponibilidad de alimentos son variables importantes para el desarrollo de esta especie pero también son aquellas que serán fuertemente alteradas durante un proceso de CC, por lo cual es necesario que se implemente un manejo pesquero adaptativo, como parte de buenas prácticas de manejo, con la finalidad de tener pesquerías resilientes al CC y de esa manera salvaguardar la cadena de valor a nivel social, económico y ecológico.

Entre las medidas de manejo adaptativo que se propone se encuentran:

- Implementar sistema de registro continuo de toma datos pesqueros, biológicos y ambientales
- Seguimiento de índices como Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), Biomasa Desovante, Rendimiento por Recluta, entre otros
- Incluir factores ambientales en los modelos operativos al momento de aplicar Estrategias de Manejo

7. RECOMENDACIONES

Con la finalidad de incrementar el conocimiento país del impacto del CC en las pesquerías pelágicas se recomienda implementar estudios de la estructura del hábitat con la finalidad de contar con estudios actuales y de esa manera modelar a futuro lo que sucedería con los escenarios RCP 6.0 y 8.5 y correlacionarlos con datos pesqueros (esfuerzo, distribución, abundancia)

De igual manera empezar a recolectar datos a nivel de especie por zonas y de esa manera replicar este estudio, pero a escala interespecífica del género *Opisthonema*.

Adicionalmente debido a las diferencias marcadas en los rasgos biológicos (crecimiento, peso, reproducción) de *Opisthonema* spp en el GG y en el norte de Manabí, dadas por el hábitat (o condiciones ambientales) donde se distribuyen, se sugiere implementar medidas de manejo diferenciadas espacialmente con la finalidad de mitigar el estrés de la pesca sobre poblaciones que están siendo afectadas por las constantes variaciones ambientales y teniendo en consideración las características biológicas intrínsecas de las especies.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723.
<https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Alexander, M. A., Scott, J. D., Friedland, K. D., Mills, K. E., Nye, J. A., Pershing, A. J., & Thomas, A. C. (2018). Projected sea surface temperatures over the 21st century: Changes in the mean, variability and extremes for large marine ecosystem regions of Northern Oceans. *Elementa*, 6.
<https://doi.org/10.1525/elementa.191>
- Allen, R., & Punsly, R. G. (1984). Catch rates as indices of abundance of abundance in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 18(4), 301–379.
<http://aquaticcommons.org/3386/>
- Anadón, R., Duarte, C. M., Fariña, C., & Moreno, J. M. (2009). Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero. In *Impactos del Cambio Climático en España* (pp. 147–182). http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/04_eco_marino_y_pesquero_2_tcm7-12420.pdf
- ArcGIS Pro. (2020). *Análisis clúster espacial de distancia múltiple (Función K de Ripley) (Estadística espacial)*. Esri. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/multi-distance-spatial-cluster-analysis.htm#>
- Arriaga, L., Coello, S., & Maridueña, L. (1983). Escala de madurez sexual para los principales peces pelágicos en aguas ecuatoriana. *Revista Ciencias Del Mar y Limnología. Instituto Nacional de Pesca*, 2(1), 69–78.
- Bakun, A. (1996). *Patterns in the ocean : ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Balcazar, J. J. (2011). *Golfo De California , Y Su Relación Con El Zooplancton Y El Ambiente*. Instituto Politécnico Nacional.
- Barange, M. A., Bernal, M., Cergole, M. C., Cubillos, L. A., Cunningham, C. L., Daskalov, G. M., & Oliveira, J. A. (2009). Current trends in the assessment and

- management of stocks. In *Climate Change and Small Pelagic Fish* (pp. 547–1026). Cambridge University Press.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C. M., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. In *Food and Agriculture Organization UN* (Vol. 627).
- Barange, Manuel, Bernal, M., Cergole, M. C., Cubillos, L. A., Daskalov, G. M., de Moor, C. L., De Oliveira, J. A. A., Dickey-Collas, M., Gaughan, D. J., Hill, K., Jacobson, L. D., Köster, F. W., Ñiquen, M., Nishida, H., Oozeki, Y., Palomera, I., Saccardo, S. A., Santojanni, A., Serra, R., ... Yatsu, A. (2009). Current trends in the assessment and management of stocks. In *Climate Change and Small Pelagic Fish*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511596681.011>
- Bell, J. D., Johnson, J. E., & Hobday, a J. (2011). Vulnerability of tropical pacific fisheries and aquaculture to climate change. In *Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia*. (p. 925).
- Bertrand, A., Lengaigne, M., Takahashi, K., Avadí, A., Poulain, F., & Harrod, C. (2020). El Niño Southern Oscillation (ENSO) effects on fisheries and aquaculture. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 660*. <https://doi.org/10.4060/ca8348en>
- Binohlan, C. (2019). *Opisthonema libertate* (Günther, 1867). Fish Base. <https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?ID=1484&AT=pinchagua>
- Biro, P. A., Beckmann, C., & Stamps, J. A. (2010). Small within-day increases in temperature affects boldness and alters personality in coral reef fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1678), 71–77. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1346>
- Brander, K. (2010). Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*, 79(3–4), 389–402. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.015>
- Brosset, P., Le Bourg, B., Costalago, D., BĂnaru, D., Van Beveren, E., Bourdeix, J. H., Fromentin, J. M., Ménard, F., & Sarau, C. (2016). Linking small pelagic dietary shifts with ecosystem changes in the Gulf of Lions. *Marine Ecology Progress Series*, 554, 157–171. <https://doi.org/10.3354/meps11796>
- Brosset, P., Ménard, F., Fromentin, J. M., Bonhommeau, S., Ulses, C., Bourdeix, J.

- H., Bigot, J. L., Van Beveren, E., Roos, D., & Saraux, C. (2015). Influence of environmental variability and age on the body condition of small pelagic fish in the Gulf of Lions. *Marine Ecology Progress Series*, 529, 219–231. <https://doi.org/10.3354/meps11275>
- Burden, M., & Fujita, R. (2019). Better fisheries management can help reduce conflict, improve food security, and increase economic productivity in the face of climate change. *Marine Policy*, 108(July), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103610>
- Cahuin, S. M., Cubillos, L. A., Escribano, R., Luis Blanco, J., Ñiquen, M., & Serra, R. (2013). Sensitivity of recruitment rates anchovy (*Engraulis ringens*) to environmental changes in Southern Peru-Northern Chile. *Environmental Development*, 7(1), 88–101. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.004>
- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., Yang, Y., Carréric, A., & McPhaden, M. J. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature*, 564(7735), 201–206. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>
- Cámara Nacional de Pesquería. (2019). *Exportaciones Conservas de Sardinias 2017 - 2018*. <https://camaradepesqueria.ec/wp-content/uploads/2019/02/SARDINAS-EN-CONSERVA-2018.pdf>
- Canales, C., Jurado, V., Peralta, M., Chicaiza, D., Elías, E., & Romero, Á. (2020). *Evaluación del stock de recursos pelágicos pequeños del ecuador, 2020*.
- Canales, C. M., Adasme, N. A., Cubillos, L. A., Cuevas, M. J., Sánchez, N., & Kuparinen, A. (2018). Long-time spatio-temporal variations in anchovy (*Engraulis ringens*) biological traits off northern Chile: An adaptive response to long-term environmental change? *ICES Journal of Marine Science*, 75(6), 1908–1923. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy082>
- Canales, C., Peralta, M., & Jurado, V. (2013). Evaluación de la población de pinchagua (*Opisthonema spp*) en el Ecuador y perspectivas de explotación. *Boletín Especial, Revista Cienciasdel Mar*, 4(3), 51.
- Cárdenas, G. (2009). *Análisis de series de tiempo de los indicadores biológicos, pesqueros y poblacionales de la sardina, *Sardinops sagax* (Jenyns 1842), en función de la variabilidad ambiental y la pesca*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

- Carrera, P., & Porteiro, C. (2003). *Stock dynamic of the Iberian sardine (Sardina pilchardus, W.) and its implication on the fishery off Galicia (NW Spain)**. 67, 245–258.
- Cedeño, I., & González, N. (2008). *Criterios técnicos para la recomendación de las vedas vigentes de pinchagua (Opisthonema spp.) y chuhueco (Cetengraulis mysticetus)*.
- Cedeño, J. (2015). *Variabilidad Interanual de las Ondas Intraestacionales de Kelvin en el Pacífico Ecuatorial Este*.
- Cervantes, M., Gallardo, M., CHIappa, X., & Ruíz, A. (1992). Régimen alimentario de la sardina crinuda *Opisthonema libertate* (Pisces : Clupeidae) en el Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 40(2), 233–238.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v40i2.24540>
- Chavez, F. P., Costello, C., Aseltine-Neilson, D., Doremus, H., Field, J. C., Gaines, S. D., Hall-Arber, M., Mantua, N. J., McCovey, B., Pomeroy, C., Sievanen, L., Sydeman, W. J., & Wheeler, S. A. (2017). *Readying California Fisheries for Climate Change. June*, 58. http://www.oceansciencetrust.org/wp-content/uploads/2016/06/Climate-and-Fisheries_GuidanceDoc.pdf
- 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>
- Cheek, P. J., McCullagh, P., & Nelder, J. A. (1990). Generalized Linear Models, 2nd Edn. In *Applied Statistics* (Vol. 39, Issue 3, p. 385).
<https://doi.org/10.2307/2347392>
- Cheung, W. W. L., Sarmiento, J. L., Dunne, J., Frölicher, T. L., Lam, V. W. Y., Palomares, M. L. D., Watson, R., & Pauly, D. (2013). Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nature Climate Change*, 3(3), 254–258. <https://doi.org/10.1038/nclimate1691>
- Cornejo, P. (2007). Human Development Report 2007 / 2008 Ecuador Case Study : Climate Change Impact on Fisheries Pilar Cornejo. *Human Development*.
http://hdr.undp.org/sites/default/files/cornejo_pilar.pdf
- Cubillos, L., & Montes, R. (2000). Pelagic Fisheries in Central Southern Chile: recruitment, abundance and availability patterns related to environmental variability. *Workshop Pn Interannual Climate Variability and Pelagic Fisheries*.

IOC, NASA, GLOBEC, NOAA/OGP, SPC, 14.

- Cucalón, E. (1996). *Sistemas biofísicos en el Golfo de Guayaquil*.
- Cury, P., & Roy, C. (1989). Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46(4), 670–680. <https://doi.org/10.1139/f89-086>
- Cury, P., Shannon, L., & Shin, Y. (2003). The functioning of marine ecosystems: a fisheries perspective. *Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, January*, 103–123. <https://doi.org/10.1079/9780851996332.0103>
- Cushing, D. H. (1982). Climate and Fisheries. In *Academic Press. Londres* (p. 373).
- Dawahidi, T., Marinas, D. I., & Gomariz-Castillo, F. (2019). Estimación de la subida del nivel del mar por efecto del Cambio Climático mediante datos de mareógrafos y la serie de satélite [en] Accuracy measurement of sea level rise due to effect of Climate Change through tide gauge data and NASA Topex-Poseidon / *J. Anales de Geografía*, 39(1), 39–58. <https://doi.org/10.5209/AGUC.64676>
- Deriso, R. B., Maunder, M. N., & Pearson, W. H. (2008). Incorporating covariates into fisheries stock assessment models with application to pacific herring. *Ecological Applications*, 18(5), 1270–1286. <https://doi.org/10.1890/07-0708.1>
- Dragesund, O., Johannessen, A., & Ulltang, Ø. (1997). Variation in migration and abundance of norwegian spring spawning herring (*clupea harengus* l.). *Sarsia*, 82(2), 97–105. <https://doi.org/10.1080/00364827.1997.10413643>
- Druon, J. N., Hélaouët, P., Beaugrand, G., Fromentin, J. M., Palialexis, A., & Hoepffner, N. (2019). Satellite-based indicator of zooplankton distribution for global monitoring. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41212-2>
- Edwards, M., & Richardson, A. J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430(7002), 881–884. <https://doi.org/10.1038/nature02808>
- Eleuterio Yáñez, R., Fernando Espíndola, R. F., Fréon, P., María Angela Barbieri, B., & Inés Guerrero, S. (1999). Estandarización de tasas de captura de pesquerías pelágicas de la zona norte de Chile durante 1987-92. *Investigaciones Marinas*, 27(1999), 53–63. <https://doi.org/10.4067/s0717-71781999002700006>

- Enfield, D. B., Cornejo-Rodriguez, M. D. P., Smith, R. L., & Newberger, P. A. (1987). The equatorial source of propagating variability along the Peru coast during the 1982-1983 El Niño. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92(C13), 14335–14346. <https://doi.org/10.1029/JC092iC13p14335>
- Fenichel, E. P., Levin, S. A., McCay, B., St. Martin, K., Abbott, J. K., & Pinsky, M. L. (2016). Wealth reallocation and sustainability under climate change. *Nature Climate Change*, 6(3), 237–244. <https://doi.org/10.1038/nclimate2871>
- Flores, R., Tenorio, J., & Dominguez, N. (2009). *Variaciones de la Extensión Sur de la Corriente Cromwell frente al Perú entre los 3 y 14°S* (IMARPE, Vol. 24, Issues 1–2).
- Fonseca, T., Yáñez, E., & Barra, O. (1986). Relación entre la temperatura superficial del mar y capturas comerciales en el área de Talcahuano (1965-76). In *Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso*.
- French, S., & Menz, A. (1983). La pesquería para peces pelágicos en el Ecuador y la distribución de las capturas en relación con factores ambientales. *Revista Comisión Permanente Del Pacífico Sur*, 65–82.
- García Franco, W., Cota Villavicencio, A., & Sánchez Ruiz, F. J. (2001). Análisis de la pesquería de pelágicos menores en la costa occidental de Baja California, México, en 1994. *Ciencia Pesquera*, 15, 113–120.
- Gardner, J. L., Peters, A., Kearney, M. R., Joseph, L., & Heinsohn, R. (2011). Declining body size: A third universal response to warming? *Trends in Ecology and Evolution*, 26(6), 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.005>
- Gatica, C., & Hernández, A. (2003). Tasas de captura estandarizadas como índice de abundancia relativa en pesquerías: Enfoque por Modelos Lineales Generalizados. *Investigaciones Marinas*, 31(2), 107–115. <https://doi.org/10.4067/s0717-71782003000200011>
- Gerlotto, F., Mariano, M., & Bertrand, A. (2017). *Insight on population structure of the Chilean jack mackerel (Trachurus murphyi)*. 355(2012), 341–355.
- González, N., & Jurado, V. (2017). *Protocolo Sistema de Muestreo - Programa Peces Pelágicos*.
- Gonzalez, N., & Solís, E. (2010). Informe Técnico sobre las características biológico-pesqueras de la pinchagua (*Opisthonema* spp) en aguas ecuatorianas. *Boletín Científico y Técnico*, 20(7), 19–46.

- Guzmán de Peribonio, R. (1983). Estudio del contenido Estomacal de la Pinchagua (*Opisthonema libertate*). *Revista Ciencias Del Mar y Limnología. Instituto Nacional de Pesca*, 2(1).
- Heino, M., & Kaitala, V. (1999). Evolution of resource allocation between growth and reproduction in animals with indeterminate growth M. *Journal of Evolucionary Biology*, 12(3), 423–429. <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.1999.00044.x>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*.
- Jacob-Cervantes, M., Gallardo-Cabello, M., Chiappa-Carrara, X., & Ruiz L., A. (1992). Régimen alimentario de la sardina crinuda *Opisthonema libertate* (Pisces : Clupeidae) en el Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 40(2), 233–238. <https://doi.org/10.15517/rbt.v40i2.24540>
- Jansen, T., & Burns, F. (2015). Density dependent growth changes through juvenile and early adult life of North East Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*). *Fisheries Research*, 169, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.011>
- Jenkins, T. M., Diehl, S., Kratz, K. W., & Cooper, S. D. (1999). Effects of population density on individual growth of brown trout in streams. *Ecology*, 80(3), 941–956. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[0941:EOPDOI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[0941:EOPDOI]2.0.CO;2)
- Jiao, Y. (2009). Regime shift in marine ecosystems and implications for fisheries management, a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19(2), 177–191. <https://doi.org/10.1007/s11160-008-9096-8>
- Jiménez, R. (2008). *Aspectos biológicos de El Niño en el Océano Pacífico Ecuatorial* (Universida).
- Jurado, V., Gilbert, G., Ponce, G., & Solís, K. (2019). *Protocolo de obtención de datos del programa de observadores de la flota industrial de peces pelágicos pequeños*.
- Jurado, V., González, N., & Aguilar, F. (2018). *SEGUIMIENTO A LA PEQUERÍA DE PECES PELÁGICOS PEQUEÑOS, DURANTE 2017*.
- Jurado, V., & Prado, M. (2007). *La pesquería de pelágicos pequeños en el ecuador durante 2007*.

- Kreiner, A., Van Der Lingen, C. D., & Freón, P. (2001). A COMPARISON OF CONDITION FACTOR AND GONADOSOMATIC INDEX Illiifiill. *South African Journal of Marine Science*, 23(February), 123–134.
- Kvamsdal, S. F., Eide, A., Ekerhovd, N. A., Enberg, K., Gudmundsdottir, A., Hoel, A. H., Mills, K. E., Mueter, F. J., Ravn-Jonsen, L., Sandal, L. K., Stiansen, J. E., & Vestergaard, N. (2016). Harvest control rules in modern fisheries management. *Elementa*, 2016, 1–22. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000114>
- Lanz, E. (2008). *Analisis de la variabilidad espacio- temporal en la disponibilidad de las especies de pelagicos menores en el golfo de california y su relacion con el medio ambiente* [Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwirxZ2VwqjkAhWls1kKHdBfDtUQFjADegQIBhAC&url=https%3A%2F%2Fbibnor.repositorioinstitucional.mx%2Fjspui%2Fbitstream%2F1001%2F326%2F1%2Flanz_e.pdf&usg=AOvVaw2pP7ABUa2dqE0
- Leonarduzzi, E., Di Marco, E., & Pájaro, M. (2013). Identificación de las variables que afectan a la fracción desovante de la población bonaerense de anchoíta (*Engraulis anchoita*) mediante el uso de modelos lineales generalizados. *REV. INVEST. DESARR. PESQ*, 23, 23–34.
- Lluch-Cota, S. E., Lluch-Cota, D. B., Lluch-Belda, D., Nevárez-Martínez, M. O., Parés-Sierra, A., & Hernández-Vázquez, S. (1999). Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 40, 184–190.
- Maunder, M. N., & Punt, A. E. (2004). Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches. *Fisheries Research*, 70(2-3 SPEC. ISS.), 141–159. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.08.002>
- Meza Figueroa, E. M. (2016). *Impacto de las variaciones ambientales climatológicas en las larvas de anchoveta *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842) y sardina *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) usando un modelo de balance energético dinámico*. Universidad Peruana Cayetano Heredia.
- Moreano, H., Zambrano, E., Suescum, R., & Paredes, N. (1986). El Niño 1982 - 83, su formación, su desarrollo y sus manifestaciones en aguas ecuatorianas. *Acta Oceanográfica Del Pacífico. Inocar - Ecuador*, 3(1), 23.

- Ocean Health Index (OHI). 2015. Ejecución de una evaluación regional. Estimación del Índice de Salud del Océano del Golfo de Guayaquil.
- Olafsdottir, A. H., Slotte, A., Jacobsen, J. A., Oskarsson, G. J., Utne, K. R., & Nøttestad, L. (2015). Changes in weight-at-length and size-at-age of mature Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) from 1984 to 2013: Effects of mackerel stock size and herring (*Clupea harengus*) stock size. *ICES Journal of Marine Science*, 2–11. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv142>
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/>
- Ormaza-González, F. I., Mora-Cervetto, A., Mariá Bermúdez-Martínez, R., Armando Hurtado-Domínguez, M., Raúl Peralta-Bravo, M., & Mariuxi Jurado-Maldonado, V. (2016). Can small pelagic fish landings be used as predictors of high-frequency oceanographic fluctuations in the 1-2 El Niño region? *Advances in Geosciences*, 42(November), 61–72. <https://doi.org/10.5194/adgeo-42-61-2016>
- Ormaza, F. (2016). Estudios Industriales: Orientación Estratégica para la toma de decisiones-Industria de Pesca. *Espae*, 6–44. <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones-de-espae/%0Ahttp://www.espae.espol.edu.ec/estudios-industriales/ver-categoria>
- Ormaza, Franklin, Anastacio, J., & Valesco, M. (2018). Análisis de Causa Raíz para la pesquería de Peces Pelágicos Pequeños en Ecuador. *Cadenas Mundiales Soténibles*, 55. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/EQU/PRODUCTO 3 ACR V1.pdf>
- Pacariz, S. V., Hátún, H., Jacobsen, J. A., Johnson, C., Eliassen, S., & Rey, F. (2016). Nutrient-driven poleward expansion of the Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) stock: A new hypothesis. *Elementa*, 2016, 1–13. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000105>
- Parrish, R. H., & Mallicoate, D. L. (1995). Variation in the condition factors of California pelagic fishes and associated environmental factors. *Fisheries Oceanography*, 4(2), 171–190. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.1995.tb00070.x>
- Peer, A. C., & Miller, T. J. (2014). Climate Change, Migration Phenology, and

Fisheries Management Interact with Unanticipated Consequences. *North American Journal of Fisheries Management*, 34(1), 94–110.
<https://doi.org/10.1080/02755947.2013.847877>

Perry, R. I., Ommer, R. E., Barange, M., & Werner, F. (2010). The challenge of adapting marine social-ecological systems to the additional stress of climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(5–6), 356–363.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.10.004>

Planque, B., Fromentin, J. M., Cury, P., Drinkwater, K. F., Jennings, S., Perry, R. I., & Kifani, S. (2010). How does fishing alter marine populations and ecosystems sensitivity to climate? *Journal of Marine Systems*, 79(3–4), 403–417.
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.12.018>

Puig, X., Ginebra, J., & Gisbert, R. (2005). Análisis de la evolución temporal de la mortalidad mediante modelos lineales generalizados. *Gaceta Sanitaria*, 19(6), 481–485. [https://doi.org/10.1016/s0213-9111\(05\)71401-1](https://doi.org/10.1016/s0213-9111(05)71401-1)

QGIS.org. (2020). *QGIS Geographic Information System* (3.4). QGIS Association.

Quince, C., Abrams, P. A., Shuter, B. J., & Lester, N. P. (2008). Biphasic growth in fish I: Theoretical foundations. *Journal of Theoretical Biology*, 254(2), 197–206.
<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2008.05.029>

Quiroz, S. (2017). *Análisis comparativo de variables oceanográficas de sensores remotos y datos in situ en la costa del Ecuador para periodos de tiempo entre 1996-2014*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Riofrío, M., & Chavarría, J. (2009). *Caracterización termohalina de la estación oceanográfica*.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/1564/3054.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ripa, P. (1980). *¿Qué es una onda ecuatorial de Kelvin?*

RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio (<http://www.rstudio.com/>).

Salas de León, D. A., & Monreal Gomez, M. A. (2005). Procesos físicos que influyen en la productividad biológica de los mares mexicanos. *Ciencias*, 49, 49–59.
https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/56_4/procesos_fisicos.pdf

- Santos, M., & Fuentes, E. (1992). Situación actual y perspectivas del recurso pinchagua (*Opisthonema* spp.) en Ecuador. *Boletín Científico Técnico - Instituto Nacional de Pesca*, 12(2), 57–74.
- Sheridan, J. A., & Bickford, D. (2011). Shrinking body size as an ecological response to climate change. *Nature Climate Change*, 1(8), 401–406. <https://doi.org/10.1038/nclimate1259>
- Simpfendorfer, C. A., Donohue, K., & Hall, N. G. (2000). Stock assessment and risk analysis for the whiskery shark (*Furgaleus macki* (Whitley)) in south-western Australia. *Fisheries Research*, 47(1), 1–17. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00109-0)
- Skagseth, Ø., Slotte, A., Stenevik, E. K., & Nash, R. D. M. (2015). Characteristics of the Norwegian coastal current during years with high recruitment of Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* L.). *PLoS ONE*, 10(12), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144117>
- Suasnavas, A. (2018). *Diseño de una solución informática para el procesamiento y análisis de datos de una serie de tiempo oceanográfica y biológica de las Islas Galápagos 2000 - 2014*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Torres, G., Recalde, S., Richard, N., Renteria, W., Troccoli, L., & Tinoco, O. (2018). Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton y variables oceanográficas en El Golfo de Guayaquil durante el 2013-15. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 20(40), 70–79.
- Trippel, E. (1995). Age at Maturity as a Stress Indicator in Fisheries. *American Institute of Biological Sciences*, 45(11), 759–771.
- Tutasi, P., Palma, S., & Cáceres, M. (2011). Distribución de copépodos epipelágicos en el pacífico ecuatorial oriental durante el evento débil de la niña de 2001. *Scientia Marina*, 75(4), 791–802. <https://doi.org/10.3989/scimar.2011.75n4791>
- Van Beveren, E., Bonhommeau, S., Fromentin, J. M., Bigot, J. L., Bourdeix, J. H., Brosset, P., Roos, D., & Sarau, C. (2014). Rapid changes in growth, condition, size and age of small pelagic fish in the Mediterranean. *Marine Biology*, 161(8), 1809–1822. <https://doi.org/10.1007/s00227-014-2463-1>
- Whitehead, P. (1985). Vol.7. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). In *FAO Species Catalogue*. FAO Fish. Synop.

<https://www.fishbase.in/Summary/SpeciesSummary.php?ID=1484&AT=pinchagua>

- Wilson, C., & Adamec, D. (2002). A global view of bio-physical coupling from SeaWiFS and TOPEX satellite data, 1997-2001. *Geophysical Research Letters*, 29(8), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2001GL014063>
- Winters, G. H., & Wheeler, J. P. (1994). Length-specific weight as a measure of growth success of adult Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(5), 1169–1179. <https://doi.org/10.1139/f94-116>
- Yáñez, E., Barbieri, M. A., & Santillán, L. (1992). Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. *South African Journal of Marine Science*, 12(1), 175–188. <https://doi.org/10.2989/02577619209504701>