



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

REVISIÓN DE LA HIPÓTESIS “EL PROBLEMA DEL
RÉGIMEN” SOBRE LA BASE DE NUEVA
INFORMACIÓN Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

Vanessa Izquierdo Peña

La Paz, Baja California Sur, febrero de 2020

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 24 del mes de enero del 2020, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Revisión de la Hipótesis el Problema del Régimen Sobre la Base de Nueva Información y Técnicas de Análisis"

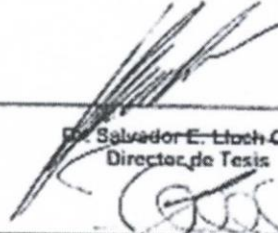

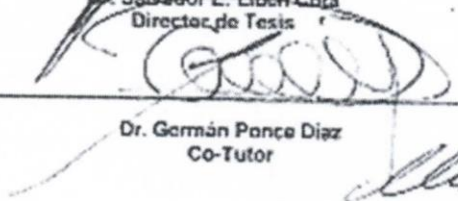

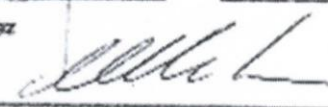
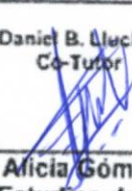
Presentada por el alumno:

Vanessa Izquierdo Peña

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN Biología Marina

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

 _____ Dr. Salvador E. Ulich Cota Director de Tesis	 _____ Dr. Francisco P. Chavez Co-Tutor
 _____ Dr. Germán Ponce Díaz Co-Tutor	 _____ Dr. Enrique Morales Bojórquez Co-Tutor
 _____ Dr. Daniel B. Ulich Cota Co-Tutor	
 _____ Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro, Directora de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos	

Comité Tutorial

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Director de Tesis

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.

Dr. Francisco Chavez

Co-tutor

Monterey Bay Aquarium Research Institute

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Co-tutor

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.

Dr. Enrique Morales Bojórquez

Co-tutor

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.

Dr. Germán Ponce Díaz

Co-tutor

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Comité revisor de tesis

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Dr. Francisco P. Chavez

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Enrique Morales Bojórquez

Dr. Germán Ponce Díaz

Jurado de examen

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota

Dr. Francisco P. Chavez

Dr. Daniel Bernardo Lluch Cota

Dr. Enrique Morales Bojórquez

Dr. Germán Ponce Díaz

Suplentes

Dr. Raúl Octavio Marínez Rincón

Dr. Arturo Fabian Eduard Muhlia Melo

Resumen

Los pelágicos menores (sardinias y anchovetas) han sido tema central de investigación durante más de 35 años debido a su importancia ecológica y económica, así como por las fluctuaciones multidecadales observadas en su abundancia, acompañadas de una aparente sincronía entre regiones remotas (California, Japón, Humboldt y Benguela) y una alternancia entre sardinias y anchovetas. Los mecanismos que gobiernan este patrón, denominado “Problema del Régimen”, se mantienen sin resolver y son fuente de intenso debate, con implicaciones significativas para el manejo de la pesquería. En este trabajo se revisaron las premisas originales del Problema del Régimen, actualizando las series de captura (1950-2015) e incorporando pesquerías que no fueron consideradas en el planteamiento original, para definir si las fluctuaciones sincrónicas de pelágicos menores y la alternancia entre especies dentro de cada sistema, son evidentes después de actualizar las series de captura y si es posible detectar una señal multidecadal global. En una segunda fase, sobre la base de tendencias mundiales, se exploran los principales retos de estas pesquerías para demostrar su sustentabilidad en el marco de la acreditación del Consejo de Administración Marina MSC. Los resultados indicaron que la sincronía multidecadal entre sistemas y la alternancia entre especies se observó únicamente entre los sistemas de Japón y Humboldt. La sardina y la anchoveta en California presentaron una gran variabilidad multidecadal; sin embargo, no se encuentran en fase con otros sistemas. En Benguela, no es evidente una alternancia entre sardina y anchoveta durante las dos últimas décadas. En el análisis de pesquerías de pelágicos menores no incluidas en el planteamiento original, se encontró que no existen patrones de alternancia entre sardinias y anchovetas. Se concluyó que independientemente de la región, las pesquerías de pelágicos menores tienden a exhibir grandes fluctuaciones interanuales a multidecadales, pero no existe un modo único de variabilidad mundial que las teleconecte, lo que sugiere la dominancia de procesos ambientales a escala regional o local sobre los globales o de cuenca. Adicionalmente, se documentó que, dentro del proceso de certificación del MSC, la mayoría de las pesquerías de pelágicos menores fracasan en la demostración de sostenibilidad de su abundancia y que resulta urgente enfocar esfuerzos en comprender la naturaleza y las causas de los cambios en la productividad del ecosistema.

Palabras clave: Alternancia, sincronía, pelágicos menores, sardina, anchoveta

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota
Vo. Bo. Director de tesis

Summary

Small pelagic fishes (sardines and anchovies) have been a central research topic over the last 35 years due to their ecological and economic importance. The populations of these small pelagics have multi-decadal fluctuations in their abundance characterized by an alternation between the abundance of sardines versus anchovies and apparent synchrony between remote regions (California, Japan, Humboldt, and Benguela). The mechanisms governing this pattern, known as the “Regime Problem” remain unsolved and a topic of intense debate, with significant implications for fishery management. In this study, the premises of the Regime Problem were revisited by updating the fish catch series of small pelagics between 1950 and 2015, and by incorporating fisheries that were not analyzed when the hypothesis was originally proposed, to detect whether the synchronous fluctuations of small pelagics and the alternation between species within each oceanographic system are evident after updating the catch series and if it is possible to detect a global multidecadal signal in fisheries catches. Also, the main challenges faced by these fisheries to demonstrate their sustainability within the accreditation of the MSC Marine Stewardship Council framework were explored. The results show that the multidecadal synchrony among oceanographic systems and the species alternation occurred only for the Japan and Humboldt systems. Sardines and anchovies in California showed considerable multidecadal variability, but these populations are not in phase with other systems. In Benguela system, there was no evidence of the occurrence of an alternation between sardines and anchovies during the last two decades. In the analysis of small pelagic fisheries that were not included in the original analyses, it was found that there is no clear alternation pattern between sardines and anchovies. Further, It was concluded that regardless of the region small pelagic fisheries tend to exhibit large interannual to multidecadal fluctuations but there is no single mode of global variability that connects them. This finding suggests that relative abundance variability is more closely linked to the local-to-regional environmental processes than to basin-to-global scale processes. Finally, it was documented that within the MSC certification process, most of the small pelagic fisheries fail to demonstrate their sustainability, and it is urgent to focus efforts on understanding the nature and causes of changes in the productivity of the ecosystems.

Keywords: Alternation, synchrony, small pelagics, sardines, anchovies

Dr. Salvador Emilio Lluch Cota
Vo. Bo. Director de tesis

Dedicatoria

“A todos aquellos que no se dejaron vencer por la carencia, el miedo y las excusas. Para aquellos que creyeron en sus sueños y lograron materializarlos”

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. por ser la institución que me permitió realizar mis estudios de doctorado, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo financiero durante el programa de doctorado a través de la beca 290547.

Al programa de movilidad internacional ERASMUS por el apoyo económico, que me permitió tomar algunos cursos en la Universidad de Bretaña Occidental durante tres meses. Al Dr. Edouard Kraffe por su ayuda y recomendaciones antes y durante el viaje.

Agradezco especialmente al Dr. Salvador Lluch, por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo aun en la distancia, por ser un gran guía y un excelente maestro. A Martín Hernández Rivas, por creer en mí, por compartir su inmensa pasión por el recurso de pelágicos menores, por sus comentarios, preguntas y sugerencias durante mi proceso de formación de posgrado.

A todos los miembros del comité (Dr. Enrique Morales Bojorquez, Dr. Daniel Lluch Cota, Dr. Francisco P. Chavez y Dr. Germán Ponce Díaz) por el tiempo invertido durante estos cuatro años, por compartir su conocimiento para el enriquecimiento de este trabajo.

A mi esposo y mi hijo, por ser incondicionales en cada momento, por la confianza, por el respaldo y por el apoyo constante en cada proyecto.

A mi madre y a mis hermanas, por creer siempre en mí.

A mis amigos de siempre Diego y Pao. Y a todas las personas que hicieron parte de una u otra forma en este proceso.

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Lista de figuras	vii
Lista de tablas	viii
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- ANTECEDENTES	2
3.- JUSTIFICACIÓN	7
4.- HIPÓTESIS	8
5.- OBJETIVOS	8
5.1 Objetivo general.....	8
5.2 Objetivos particulares	9
6.- MATERIAL Y MÉTODOS	9
6.1 Fuente datos de captura	9
6.2 Análisis de Biomasa.....	10
6.3 Análisis de Factores.....	15
6.4 Estimación Divisoria Jerárquica	15
6.5 Certificación de las pesquerías de pelágicos menores.....	16
6.6 Comité de co-manejo en la pesquería de pelágicos menores	17
7.- RESULTADOS	17
7.1 Análisis de los datos de capturas.....	17
7.2 Sincronía	18
7.3 Alternancia.....	25
7.4 Certificación pesquerías de pelágicos menores	27
7.5 Descripción del Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores	33
8.- DISCUSIÓN	36
8.1 Uso de los datos de captura	36
8.2 Actualización de las series originales de la hipótesis El Problema del Régimen	37

8.3 Variabilidad de baja frecuencia y alternancia en nuevas series de pelágicos menores	40
8.4 Certificación pesquerías de pelágicos menores	42
8.5 Identificando debilidades en la certificación del MSC para las pesquerías de pelágicos menores.....	44
8.6 El caso de la pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California	45
9.- CONCLUSIONES	50
10.- LITERATURA CITADA.....	51

Lista de figuras

- Figura 1.** Serie de tiempo capturas de sardina monterrey en el Golfo de California 1968-2018 las barras en gris señalan los periodos de bajas capturas..... 7
- Figura 2.** Series de capturas estandarizadas de sardina y anchoveta para los cuatro sistemas originalmente incluidos en la discusión el Problema del Régimen: California, Japón, Humboldt y Benguela 1950-2015 (FAO). Las marcas de tiempo en 1983 y 2003 corresponde a algunos de los principales artículos sobre el Problema del Régimen (Kawasaki, 1983; Chavez *et al.*, 2003). 20
- Figura 3.** Series de las capturas de sardina monterrey (1926-2012) en la Corriente de California (Canadá, Estados Unidos y México) la parte sombreada corresponde a las capturas aportadas por el Golfo de California. 21
- Figura 4.** Series de la puntuación factorial correspondiente a los 4 factores obtenidos a partir de las 29 series de pelágicos menores 1950-2015 24
- Figura 5.** Proporción de las series de tiempo que presentaron cambios significativos al utilizar el método de Estimación Divisoria Jerárquica (cambios detectados al menos al 75% en las diferentes longitudes de corte..... 26
- Figura 6.** Pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas en el proceso de certificación del MSC en diferentes zonas de pesca. 27
- Figura 7.** Principales razones de suspensión o retiro en las pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas en el proceso de certificación del MSC. 28
- Figura 8.** Pesquería de pelágicos menores con mayor antigüedad en el proceso de certificación del MSC 29
- Figura 9.** Puntuación promedio en cada indicador de desempeño para las 23 pesquerías de pelágicos menores certificadas por el MSC. 30
- Figura 10.** Temas tratados por el Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores durante 26 años de talleres (1992-2018). 34

Lista de tablas

Tabla I. Clupeidos y engráulidos incluidos en los análisis de la revisión de la hipótesis el problema del Régimen.	12
Tabla II. Series de biomasa para sardinas, anchovetas y sardinelas procedentes de diferentes regiones, en cada caso se especifica la población analizada, así como el método utilizado para realizar las estimaciones de biomasa.	14
Tabla III. Correlación de Spermán ($p < 0.05$) para las series de capturas y biomasa, se indican los años de traslape entre las series, las correlaciones significativas se encuentran marcadas (*) y con negrita.	18
Tabla IV. Especies de pelágicos menores analizados, con una correlación significativa en su respectivo factor ($r > 0.68$, $df = 66$, $p < 0.05$).	23
Tabla V. Puntajes finales en los principios 1, 2 y 3 y número de condiciones establecidas por el MSC en la certificación de las pesquerías de pelágicos menores de países en desarrollo.	31
Tabla VI. Puntajes asignados en cada indicador de desempeño para las pesquerías de pelágicos menores en países en desarrollo.	32
Tabla VII. Lista de instituciones participantes y frecuencia de participación en los talleres anuales organizados por el Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores desde 1992 hasta 2018.	35

1.- INTRODUCCIÓN

Los pelágicos menores (sardinias, anchovetas, macarelas) se encuentran entre las pesquerías más importantes del mundo, en términos ecológicos son las principales presas de muchos depredadores, sirven como puente de energía entre el plancton y los depredadores incluida la megafauna carismática (Cury, 2000; Fréon *et al.*, 2009). En términos económicos y sociales representan una fuente importante de proteína, ingresos y empleos, aportando alrededor del 25% de las capturas a nivel mundial (FAO, 2018). Sin embargo, su manejo es complicado dado que sus poblaciones se han caracterizado por presentar amplias fluctuaciones en su distribución y abundancia durante periodos relativamente largos, que al interactuar con factores antropogénicos se amplifican o modulan (Alheit *et al.*, 2009; Alheit y Peck, 2019), lo que dificulta la evaluación y el manejo pesquero (Barange *et al.*, 2009). Esta situación ha motivado numerosos esfuerzos científicos para identificar las causas de dichas variaciones en tiempo y espacio.

Ejemplos de esta amplia variabilidad han sido observados en la pesquería de sardina en California, que alcanzó capturas de 700 mil toneladas en 1936 para luego disminuir a 13 mil toneladas a principios de 1950, en Japón se pasó de capturar 1.6 millones de toneladas de sardina en 1936 a 0.02 millones de toneladas durante 1960, la anchoveta de Perú registró capturas de 11 millones de toneladas en 1970 a 3 millones de toneladas a principios de 1980. En el Atlántico oriental la sardina de Benguela alcanzó capturas de 1.4 millones de toneladas en 1968 para posteriormente colapsar en 1970 (Lluch-Belda *et al.*, 1989, 1992a; Schwartzlose *et al.*, 1999; Chavez *et al.*, 2003; Alheit *et al.*, 2009).

Kawasaki (1983) fue el primero en sugerir que existía un patrón de sincronía al observar las fluctuaciones en las capturas de sardina en tres regiones del Océano Pacífico (Japón, California y Humboldt). Posteriormente se argumentó que la sardina y anchoveta de sistemas distantes (Japón, California, Humboldt y Benguela) presentaban, además de sincronía, alternancia entre periodos de crecimiento y

colapso entre ambas especies a pesar de la diferencia en las características ambientales locales, y que estas variaciones de abundancia estaban acompañadas de cambios en la distribución por expansión o contracción del área ocupada (Lluch-Belda *et al.*, 1992). Este patrón ha sido enmarcado bajo el concepto del Problema del Régimen (Kawasaki, 1983; Lluch-Belda *et al.*, 1989, 1992; Schwartzlose *et al.*, 1999; Chavez *et al.*, 2003; Alheit *et al.*, 2009), en seguimiento con los conceptos más clásicos de las ciencias pesqueras (Problema de la Pesca y el Problema del Reclutamiento; Clark y Marr, 1955).

Esta hipótesis fue planteada principalmente entre 1983 y 2003 sobre la base de series más cortas de las que existen hoy día, y desde entonces diversas observaciones han cuestionado la validez de la hipótesis (Fréon *et al.*, 2003; McClatchie *et al.*, 2017). Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue revisar las premisas originales del Problema del Régimen considerando nuevos datos y técnicas de análisis disponibles.

2.- ANTECEDENTES

Durante los últimos 30 años, se han llevado a cabo investigaciones para documentar las fluctuaciones de abundancia, la sincronía entre las regiones y la alternancia entre las especies, observadas durante el siglo XX. Hasta ahora los mecanismos subyacentes que vinculan el clima y la dinámica poblacional siguen sin ser resueltos; sin embargo, se han generado diferentes hipótesis que van desde el efecto de la temperatura en el reclutamiento (Takasuka *et al.*, 2007, 2008), la disponibilidad de hábitat para el desove (Lluch-Belda *et al.*, 1992), la influencia de estructuras y procesos oceánicos que determinan la retención de larvas y concentración de alimento en los sistemas productivos (Bakun, 1998; MacCall, 2009), hasta los efectos de la variabilidad en la composición y tamaño del fitoplancton y zooplancton consumido por los peces (van der Lingen *et al.*, 2006; Rykaczewski y Checkley, 2008).

Desatacan los trabajos de Lluch-Belda *et al.* (1989,1992), quienes propusieron que el colapso de la sardina en el Océano Pacífico había ocurrido al mismo tiempo que se había producido un cambio en los regímenes de temperatura de las zonas de distribución (por ejemplo, de cálido a frío en California), por lo tanto, se sugirió que estos cambios ambientales de baja frecuencia generan alternancia entre periodos favorables y desfavorables para la distribución y reproducción de las especies. Chávez *et al.* (2003) argumentaron que las fluctuaciones de sardina y anchoveta están asociadas con cambios a gran escala en la temperatura del océano y propusieron que el Pacífico es más cálido que el valor promedio durante 25 años, originando el régimen de la sardina, y posteriormente cambia a un periodo más frío de la misma duración que resulta en un régimen de la anchoveta. Por otro lado Lindegren *et al.* (2013) propusieron modelos con el fin de explicar las causas subyacentes de las fluctuaciones, exponiendo que la variabilidad del clima y los procesos denso-dependientes intervienen a través de procesos asociados a la historia de vida de las especies, interactuando y dando lugar a las fluctuaciones de sardina-anchoveta.

Cierto es que existe evidencia sólida de que las amplias fluctuaciones en las poblaciones de pelágicos menores tiene un origen natural, que se han presentado repetidamente incluso antes de la explotación pesquera (Baumgartner *et al.*, 1992; McClatchie *et al.*, 2017). También es claro que, dada las características intrínsecas de las poblaciones (ciclo de vida corto, comportamiento gregario, mortalidad natural grande y variable), los pelágicos menores exhiben respuestas rápidas y drástica a cambios ambientales (Alheit *et al.*, 2009). Sin embargo, la sincronía entre sistemas remotos y la alternancia entre sardinas y anchovetas han sido cuestionadas (Fréon *et al.*, 2003) y no existe aún evidencia sólida sobre los mecanismos que estarían rigiendo dichos patrones.

Ante los enormes retos que representa el manejo de estas pesquerías masivas, de gran importancia para diversos países, incluido México, resulta importante asociar la investigación oceanográfico-pesquera a estrategias que permitan operar bajo los

objetivos establecidos en el código de conducta para la pesca responsable de la FAO (1995), para promover su explotación sustentable a largo plazo. No es claro si el manejo tradicional comando-control, e incluso algunas formas de co-manejo, sean suficientes para garantizar un manejo adecuado. La pesquería de sardina de California en los Estados Unidos de América, por ejemplo, una de las más informadas y con regulaciones más avanzadas, colapsó hace casi 70 años y, a diferencia de casos como Japón y Humboldt, su recuperación ha sido lenta y nunca ha llegado a niveles de producción comprables a los máximos históricos.

Actualmente se han desarrollado estrategias que buscan crear e incentivar un mercado internacional de productos sostenibles. Para esto el productor debe cumplir con ciertos estándares basados en indicadores científicos de pesca sustentable, a fin de acceder a mercados diferenciados y obtener mayores rendimientos económicos. Hoy en día existen diversas ecoetiquetas, algunas diseñadas específicamente para ciertas pesquerías y con propósitos particulares, como la etiqueta *Dolphin Free*, otras de carácter más regional o de competencia global, como la de *Fair Trade*. Dentro de las más destacadas están la *Seafood Watch* y la de mayor público a nivel global *Certified Sustainable Food MSC*, que califica pesquerías particulares en diversas dimensiones (Zepeda *et al.*, 2019).

El Consejo de Administración Marina (Marine Stewardship Council, MSC) ha desarrollado un programa de certificación en el que se evalúa la sustentabilidad de las pesquerías con independencia de su tamaño, localización geográfica o método de pesca, basado en tres principios: 1) sustentabilidad de las poblaciones, 2) minimización del impacto ambiental y 3) manejo eficaz. Se considera que al cumplir con estos estándares las pesquerías garantizan que se encuentran operando de forma adecuada y que, a largo plazo, pueden aportar beneficios sociales, medioambientales y económicos a las sociedades que dependen de ellas. La certificación del MSC ayuda a satisfacer la creciente demanda de productos pesqueros sustentables ofreciendo oportunidades comerciales (acceso a nuevos mercados, oportunidad de promoción) y mayor prestigio. Este enfoque ha sido

prometedor porque crea incentivos para el manejo sustentable de los recursos naturales, alineando los objetivos económicos y de conservación (Micheli *et al.*, 2014), lo que ha motivado la participación en el programa de certificación cerca de 470 pesquerías alrededor del mundo (MSC, 2018b).

Actualmente México tiene dos pesquerías de pelágicos menores certificadas como sustentables en el esquema del MSC: la pesquería de pelágicos menores en Sonora desde 2011, y la pesquería de sardina Crinuda en 2016 ambas ubicadas en el Golfo de California (MSC, 2019). En México, la captura comercial de pelágicos menores se encuentra en el primer lugar de la producción pesquera nacional en términos de volumen (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2017).

Esta pesquería se desarrolla de manera industrial en el noroeste del país, especialmente en el Golfo de California, destacándose el estado de Sonora como uno de los principales productores al aportar alrededor del 54% de las capturas a nivel nacional (DOF, 2018). En esta pesquería, el 85% de la producción se destina a la elaboración de harina y aceite de pescado y el 15% a productos enlatados y congelados (Nevárez-Martínez *et al.*, 2014).

La pesquería de pelágicos menores es multiespecífica, sin embargo existe una orientación hacia la sardina monterrey (*Sardinops sagax*), ya que en general conforma más del 70% de las capturas (Martínez-Zavala *et al.*, 2010; Nevárez-Martínez *et al.*, 2014; Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2017). La pesquería se encuentra regulada por la NOM-003-SAG/PESCA-2018 (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2019).

En la norma se establecen: los límites máximos de captura incidental, se diferencian las fluctuaciones naturales de las poblaciones de pelágicos menores en diferentes escalas, se reconoce la participación del Comité Técnico para el estudio de Pelágicos Menores en la toma de decisiones. En el manejo de esta pesquería, también se consideran otros instrumentos regulatorios como la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2018) y el Plan de Manejo Pesquero (DOF, 2012).

La pesquería de pelágicos menores inició en el Golfo de California a finales de los sesenta, debido al movimiento de la flota dada la escases de la sardina monterrey en la costa occidental (Cisneros-Mata, 1996). Tal como se ha observado en otros sistemas, la sardina monterrey del Golfo también ha presentado fuertes cambios de abundancia, sin embargo, estos se han caracterizado por presentar una frecuencia de variación más alta (interanual, Lluch-Cota *et al.*, 2007) en comparación a lo observado en otros sistemas (interdecadal, Lluch-Belda *et al.*, 1992; Chavez *et al.*, 2003).

Desde el desarrollo de esta pesquería a finales de los setenta, se observó un ascenso en las capturas, alcanzando las 249 mil toneladas a finales de los años ochenta, posteriormente a principios de los noventa las capturas cayeron alrededor de las 7 mil toneladas (Cisneros-Mata *et al.*, 1995; Nevárez-Martínez *et al.*, 2006). Esta disminución dramática en las capturas generó una crisis económica con fuertes implicaciones sociales en Sonora (la pérdida de casi 3000 empleos, el cierre de aproximadamente la mitad de la flota y de las plantas de procesamiento; Lluch-Cota *et al.*, 1999), lo que motivó a que se reconociera la importancia del estudio de las poblaciones de sardina y se conformará el Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores con el objetivo de implementar medidas de manejo que permitieran un aprovechamiento racional y sustentable del recurso.

Tras dos temporadas de captura en niveles muy bajos, a mediados de los noventa se observó un incremento alcanzando alrededor de las 200 mil toneladas y desde entonces se han registrado cuatro ciclos de descenso y recuperación (Fig. 1). Resaltando un pico de producción en 2007-2008, por encima del medio millón de toneladas, superando en cerca del 70% las 300 mil toneladas que se alcanzaron en 1988, como máximo histórico hasta ese momento.

Aunque en esta pesquería existe una orientación primordial hacia la sardina monterrey, se ha observado que durante los periodos de descenso asociados a las anomalías de El Niño, las capturas de sardina crinuda (*Opisthonemna* spp.) y otras

especies de afinidad tropical aumentan en el Golfo compensando la disminución de sardina.

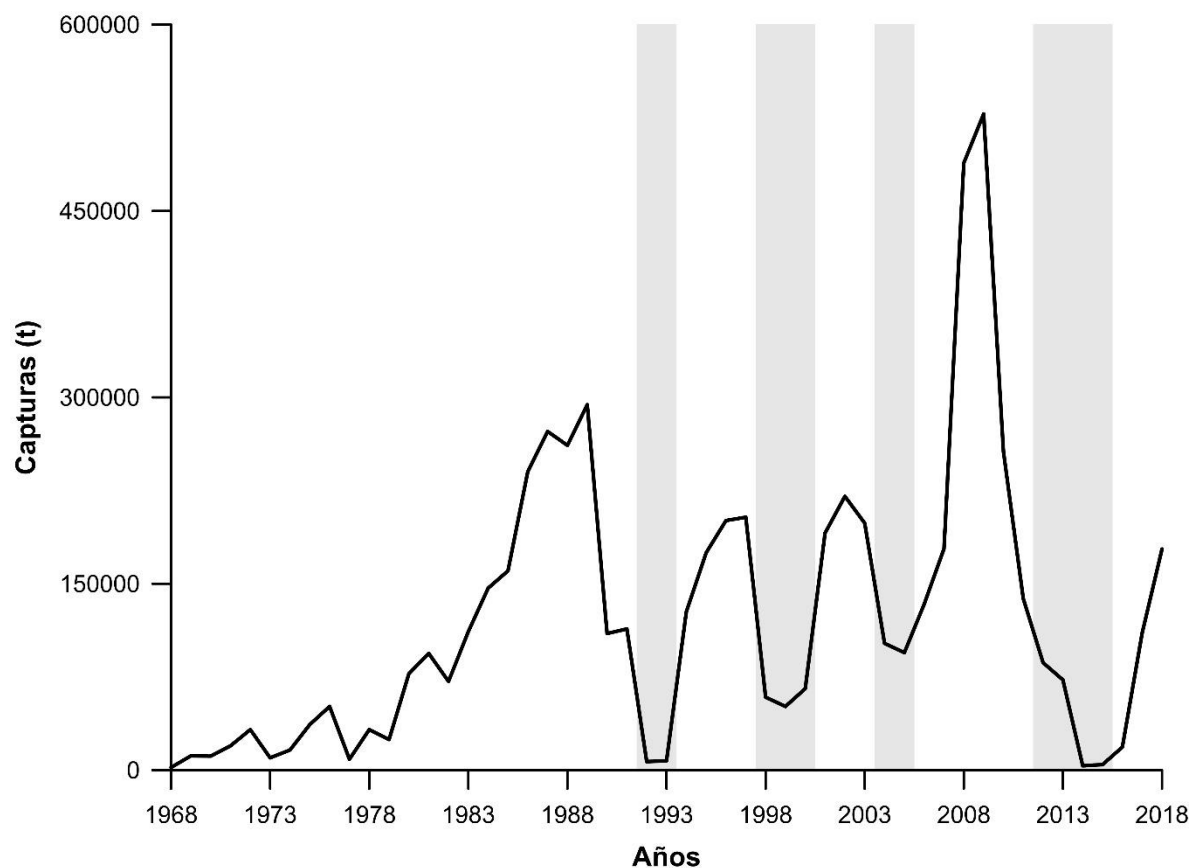


Figura 1. Serie de tiempo capturas de sardina monterrey en el Golfo de California 1968-2018 las barras en gris señalan los periodos de bajas capturas.

3.- JUSTIFICACIÓN

La pesquería de pelágicos menores representa el recurso con mayor biomasa marina a nivel mundial, son ampliamente utilizados como materia prima en la fabricación de harina y aceite de pescado; productos con un gran mercado y una fuente importante de ingresos para algunos países (FAO, 2014). Sin embargo, su manejo ha sido difícil a pesar de la larga historia en la investigación, las causas de

las fluctuaciones se mantienen sin resolver y son fuertemente debatidas, generando implicaciones significativas en el manejo de la pesquería (Lindegren *et al.*, 2013).

Dado que actualmente se cuenta con series de capturas más amplias, se buscó establecer si las fluctuaciones sincrónicas observadas durante el siglo XX en las poblaciones de pelágicos menores y la alternancia entre especies de sardinas y anchovetas permanecen en la actualidad. Además, si estas variaciones se pueden percibir en otras poblaciones de pelágicos menores alrededor del mundo, lo cual nos permitirá obtener una visión más clara sobre los mecanismos que podrían estar modulando la respuesta de estos organismos a las variaciones de baja frecuencia.

Dada la importancia de este recurso a nivel ecológico y económico se espera que a largo plazo estas pesquerías puedan cumplir con los estándares internacionales de pesca responsable. Por esta razón, se discutieron los principales desafíos que experimentan estas pesquerías para demostrar la sustentabilidad a través del proceso de certificación del MSC. De esta forma, las pesquerías que aspiren ingresar al proceso podrán identificar las principales problemáticas a corto y mediano plazo.

4.- HIPÓTESIS

Las variaciones multidecadales reportadas para las capturas de sardina y anchoveta en los sistemas de California, Japón, Humboldt y Benguela se relacionan con procesos ambientales locales, no globales, por lo que su señal no es necesariamente sincrónica ni de la misma frecuencia, ni exclusiva de estas regiones.

5.- OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar las premisas originales de la Hipótesis del Régimen, a la luz de nuevos datos y técnicas de análisis.

5.2 Objetivos particulares

- Evaluar si, después de 25 años desde que se propuso la hipótesis el “Problema del Régimen”, se sigue observando la sincronía y la simetría entre sardina y anchoveta de los sistemas de California, Japón, Humboldt y Benguela.
- Identificar la señal del régimen en series de captura de regiones no consideradas en el planteamiento original de la hipótesis.
- Documentar otros recursos que pudieran presentar alternancia, así como definir la significancia estadística de la alternancia en cada uno de los sistemas estudiados.
- Documentar los retos que enfrentan las pesquerías de pelágicos menores para demostrar su sustentabilidad a través del programa Marine Stewardship Council, identificando las principales problemáticas a corto y mediano plazo asociadas a las características y patrones de variabilidad de estos recursos.

6.- MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Fuente datos de captura

Se recopilaron los datos de captura de sardinas y anchovetas de la base de estadísticas de producción pesquera de la FAO (FAO, 2017) para el periodo 1950-2015, estos datos se organizaron considerando: zona de producción, país, especie y nombre común. Las series de capturas de los sistemas de California, Japón, Humboldt se analizaron a nivel de cuenca con el fin de identificar los patrones descritos en la hipótesis el problema del régimen. Para Benguela solo se utilizaron los datos de Sudáfrica, debido a que las series temporales de Namibia son muy cortas para permitir comparaciones estadísticas.

Se analizaron los datos de captura de la sardina monterrey en la Corriente de California (1930-2013) (Lluch-Cota, 2013) desde Canadá hasta la costa occidental de Baja California, incluyendo el Golfo de California con el fin de discutir la sincronía

en esta región. Para la *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurita* y *Engraulis encrasicolus* los datos de captura se organizaron por poblaciones regionales o por zonas de pesca. Los datos de *S. pilchardus* en el Atlántico se organizaron considerando la población norte (Reino Unido, Países Bajos y Francia) y sur (Portugal y España) (Silva *et al.*, 2015).

En el caso del Atlántico centro oriental (sardina y anchoveta) y el Atlántico nordeste (anchoveta), los datos se organizaron considerando la zona de producción de la FAO ya que no fue posible separar por poblaciones. Los datos del Mediterráneo se organizaron en tres categorías: Nordeste (España y Francia), Noroeste (Italia y Grecia) y Mediterráneo occidental (Argelia, Marruecos y Túnez). Finalmente, para el Mar Negro solo se consideraron los datos de Rumania. En este análisis no se incluyeron los datos de Turquía debido a que no fue posible diferenciar si las capturas provenían del Mediterráneo o del Mar Negro.

Finalmente, la base de datos quedó constituida por 29 series de tiempo (Tabla I): 10 sardinias (dos especies), 11 anchovetas (cinco especies) y 8 sardinellas (cinco especies).

6.2 Análisis de Biomasa

El estudio de la variabilidad de baja frecuencia en pelágicos menores durante los últimos cien años se ha basado principalmente en la información obtenida en datos de captura, porque fue, y en la mayoría de los casos sigue siendo, la única fuente de series cronológicas relativamente consistentes y comparables. No obstante, el uso de estos datos como un indicador de abundancia relativa ha sido ampliamente discutido, debido a que se considera una medida engañosa de la abundancia real, ya que los datos de captura obtenida por las actividades de pesca comercial resultan generalmente de un patrón de muestreo altamente aleatorio y no representativo en tiempo y espacio de las características de los peces muestreados. También se ha observado una desproporcionalidad en esta medida, lo que implica que mientras las capturas permanecen altas la abundancia disminuye, lo cual puede conducir a una

sobrestimación de biomasa y una subestimación de mortalidad por pesca (Hilborn y Walters, 1992; Harley *et al.*, 2001; Pauly *et al.*, 2013).

Sin embargo, el uso de datos de captura se ha considerado adecuado al estudiar la variabilidad de baja frecuencia, porque las variaciones interdecadales en pelágicos menores son de uno o más ordenes de magnitud y no se pueden atribuir fácilmente a factores de manejo o económicos (Fréon *et al.*, 2003). Para respaldar este supuesto, en este trabajo se reunieron 12 series cronológicas de biomasa para diferentes poblaciones (Tabla II) y se realizó una correlación de Spearman ($p < 0.05$ y $p < 0.01$) con el fin de determinar el grado de relación entre la serie de datos de biomasa y los datos de las capturas de la FAO.

Tabla I. Clupeidos y engráulidos incluidos en los análisis de la revisión de la hipótesis el problema del Régimen.

Especie	Nombre común	Región FAO	Países
<i>Sardinops sagax</i>	Sardina monterrey	Pacífico nordeste y centro-oriental	Estados Unidos, México
	Sardina Sudamericana	Pacífico sudoriental	Perú, Chile
	Sardina de Sudáfrica	Atlántico sudoriental	Sudáfrica
	Sardina japonesa	Pacífico noroeste	Japón, República de Corea
<i>Sardina pilchardus</i>	Sardina europea	Atlántico nordeste (Norte)	Reino Unido, Francia
		Atlántico nordeste (Sur)	Portugal, España
		Atlántico centro-oriental	España, Marruecos
		Mediterráneo noroeste	España, Francia
		Mediterráneo nordeste	Grecia, Italia
Mediterráneo occidental	Argelia, Túnez, Marruecos		
<i>Sardinella aurita</i>	Alacha	Atlántico centro-oriental	Costa de marfil, Senegal
		Mediterráneo oriental	Israel
<i>Sardinella longiceps</i>	Sardinela aceitera	Índico (oriental y occidental)	India, Pakistán
<i>Sardinella lemuru</i>	Sardinela de Bali	Pacífico centro occidental e Índico oriental	Indonesia
<i>Sardinella gibbosa</i>	Sardinela dorada	Pacífico centro occidental e Índico oriental	Indonesia
<i>Sardinella brasiliensis</i>	Sardinela de Brasil	Atlántico sudoccidental	Brasil, Argentina

Continuación **Tabla I.**

Especie	Nombre común	Región FAO	Países
<i>Engraulis mordax</i> <i>Engraulis ringens</i>	Anchoqueta de California	Pacífico nordeste y centro-oriental	Estados Unidos, México
	Anchoqueta peruana	Pacífico sudoriental	Perú, Chile
<i>Engraulis japonicus</i>	Anchoqueta japonesa	Pacífico noroeste	Japón, República de Corea
<i>Engraulis anchoíta</i> <i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchoíta	Atlántico sudoccidental	Brasil, Argentina
	Anchoqueta de Sudáfrica	Atlántico sudeste	Sudáfrica
	Anchoqueta europea	Atlántico nordeste	Francia, Portugal, España
		Atlántico centro-oriental	Marruecos
		Mediterráneo occidental	Argelia, Marruecos

Tabla II. Series de biomasa para sardinas, anchovetas y sardinelas procedentes de diferentes regiones, en cada caso se especifica la población analizada, así como el método utilizado para realizar las estimaciones de biomasa.

Especie	Población	Método de estimación	Referencia
Sardina monterrey	Subpoblación norte	Varios recursos o modelos	MacCall (1979); Hill <i>et al.</i> (2016)
Anchoveta de California	Subpoblación central	Modelo de producción estructurado por edad	Jacobson <i>et al.</i> (1995)
Sardina japonesa	Población del pacífico	Análisis de la población virtual	Yukami <i>et al.</i> (2017)
Anchoveta japonesa			Kamimura <i>et al.</i> (2017)
Sardina sudamericana	Perú norte-centro	Estimación acústica	Gutiérrez (2000)
Anchoveta peruana			Yonashiro y Balbín (2016)
Sardina de Sudáfrica	Sur de Benguela	Estimación acústica	Coetzee <i>et al.</i> (2008)
Anchoveta de Sudáfrica			
Sardina europea	Población norte	Estimación acústica y producción	ICES, 2017
Sardina europea	Población sur	diaria de huevos	ICES, 2017
Anchoveta europea	Golfo de Vizcaya	Estimación acústica	ICES, 2017
Sardinela de Brasil	Costa sudeste	Análisis de la población virtual	Cergole <i>et al.</i> (2002)

6.3 Análisis de Factores

Se realizó el análisis de factores en STATISTICA (versión 7, 2004) para las series de capturas de las especies seleccionadas correspondientes al periodo 1950-2015. Se seleccionó el número de factores con eigenvalores > 1 , considerando el criterio de la raíz latente, la racionalidad que se usa para este criterio es que cualquier factor individual debería justificar la varianza de por lo menos una única variable. Por lo tanto, solo se consideran los factores que tienen raíces o autovalores mayores que 1, los factores con raíces menores a 1 no son significativos y por lo tanto, no se consideran en la interpretación (Hair *et al.*, 1999).

Se realizó la rotación ortogonal de los factores obtenidos utilizando el método Varimax. Posteriormente para identificar la influencia de cada especie en los factores, se utilizó el criterio de valoración de la significancia estadística. Para la identificación de las cargas factoriales significativas se tuvo en cuenta las directrices basadas en el tamaño muestral (en este trabajo 66) por lo tanto solo se consideraron cargas mayores a 0.68, esta significancia se basa en un nivel de 0.05 (α) y un nivel de potencia estadística del 80 por ciento y los errores estándar supuestamente dos veces mayores que los coeficientes convencionales de correlación (Hair *et al.*, 1999).

6.4 Estimación Divisoria Jerárquica

Con el fin de evaluar la alternancia entre las especies de sardinas y anchovetas, se aplicó el método de Estimación Divisoria Jerárquica (Matteson y James, 2014), este método no paramétrico permite la estimación de múltiples puntos de cambio, así como la posición en los que estos ocurren, basado en un procedimiento iterativo para ubicar cada punto de cambio, sin supuestos de distribución más allá que la existencia del momento absoluto. La significancia estadística de un punto de cambio estimado se determina mediante una prueba de permutación, dado que la distribución del estadístico de prueba depende de la distribución de las observaciones, la cual es desconocida en general. Este método se implementó en R (R Development Core Team, 2016) utilizando el paquete ECP (James y Matteson,

2013). Para evitar definir arbitrariamente las longitudes de corte, el método se aplicó a todas las longitudes posibles para cada serie de tiempo (dependiendo de su longitud). Luego se acumuló la frecuencia de cada año de cambio detectado y sólo se consideraron aquellos cambios sobre el cuartil estimado del 75% para cada frecuencia máxima posible (un año que muestra un cambio significativo en todas las longitudes de corte posible). Posteriormente, se acumuló el número de casos que mostraron cambios significativos. Las series temporales resultantes de la cantidad de casos que cambiaron en cada año se escalaron a la proporción (%) del total de casos considerados (10 sardinas, 10 anchovetas, en total 23 casos incluidas las sardinelas).

6.5 Certificación de las pesquerías de pelágicos menores

Los datos correspondientes a las pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas en el proceso de certificación del Marine Stewardship Council se obtuvieron a través de la página del MSC (2019) (consultada en septiembre del 2019). Se consideró la información correspondiente a: nombre la pesquería, especie, método de pesca, ubicación geográfica, el estatus registrado en la página del MSC (certificadas, certificadas con componentes en evaluación, en evaluación, retiradas y suspendidas) y los años de certificación. En el caso que la pesquería se encontrara suspendida y/o retirada se documentó la razón.

Durante el proceso de certificación el MSC evalúa a las pesquerías a través de tres principios los cuales están conformados por nueve componentes y 31 indicadores de desempeño: siete en el principio 1, 15 para el principio 2 y nueve en el principio 3. Para cumplir con el estándar las pesquerías deben obtener un puntaje mayor a 60 en cada uno de los indicadores y deben obtener un puntaje mayor o igual a 80 en cada uno de los principios, el indicador de desempeño que obtenga un puntaje menor a 80, se le asigna una condición. El cumplimiento de la condición se evalúa en las auditorías de vigilancia que realiza el MSC anualmente, el cumplimiento en la condición elevará la puntuación del indicador, pero el fallo causa la suspensión o

el retiro de la certificación. Para cada una de las pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas en el proceso de certificación del MSC, se analizaron los informes de certificación o recertificación y se registraron los puntajes obtenidos en los tres principios evaluados, así como en los 31 indicadores de desempeño, considerando las especies o poblaciones objetivo en las unidades de certificación.

6.6 Comité de co-manejo en la pesquería de pelágicos menores

Con el fin de documentar el papel de un organismo de asesoramiento técnico multisectorial (Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores, CTEPM) en el desarrollo sustentable de la pesquería de pelágicos en el Golfo de California, se revisaron las memorias correspondiente a los talleres anuales realizados por el CTEPM entre 1992 a 2018, se realizó una descripción de este comité, se registraron las temáticas anuales, así como la participación de las diferentes instituciones y sectores involucrados en la pesquería de pelágicos en el noroeste mexicano durante 26 años.

7.- RESULTADOS

7.1 Análisis de los datos de capturas

En la Tabla III se observan las correlaciones entre la serie de datos de biomasa y captura, se encontró que ocho de las 12 series presentaron correlaciones significativas, la sardina europea (población sur) presentó la correlación más alta (0.93), seguida por la anchoveta y la sardina japonesa (0.86 y 0.84). Se observó que los datos con un traslape menor a 20 años (sardina sudamericana, sardina europea y sardinela de Brasil) entre series no se correlacionaron significativamente.

Tabla III. Correlación de Serman ($p < 0.05$ y $p < 0.01$) para las series de capturas y biomasa, se indican los años de traslape entre las series, las correlaciones significativas se encuentran marcadas (*) y con negrita.

Especie	Distribución	Traslape	R
Anchoveta japonesa	Japón-Taiwán	38	0.86*
Sardina japonesa	Japón-China	40	0.84*
Anchoveta de California	Canadá-México	32	0.56*
Sardina monterrey		66	0.55*
Anchoveta peruana	Perú-Chile	31	0.45
Sardina sudamericana	Ecuador-Chile	17	0.45
Anchoveta de Sudáfrica	Namibia -Sudáfrica	24	0.55*
Sardina de Sudáfrica		24	0.66*
Anchoveta europea	España-Portugal	29	0.55*
Sardina europea	Estrecho de Gibraltar en el Golfo de Cádiz	38	0.93*
Sardina europea	Canal de la Mancha-Golfo de Vizcaya	14	0.28
Sardinela de Brasil	Brasil	20	0.17

7.2 Sincronía

En la figura 2 se observan las series temporales actualizadas de las capturas estandarizadas para los cuatro sistemas originalmente incluidos en la discusión sobre el Problema del Régimen: California, Japón, Humboldt y Benguela. Usualmente Lluch-Belda *et al.* (1989) agrupaba las sardinas de California, Japón y Humboldt con la anchoveta de Benguela y viceversa (Anchovetas de California, Japón y Humboldt con la sardina de Benguela). En este trabajo se comparó la sardina de California y Benguela con la anchoveta de Japón y Humboldt y viceversa (Anchovetas de California y Benguela con las sardinas de Japón y Humboldt), en el gráfico se incluyen marcas de tiempo en 1983 y 2003 correspondiente a algunos de los principales artículos sobre el Problema del Régimen (Kawasaki, 1983; Chavez *et al.*, 2003). En la figura 3 se observa la serie de tiempo de captura de 1930-2012 para la Corriente de California y el Golfo de California, se observó que la

contribución del Golfo de California a la señal del sistema completo representa casi el 100% desde finales de 1970 hasta principios de 1990 y alrededor del 50% después de 1990.

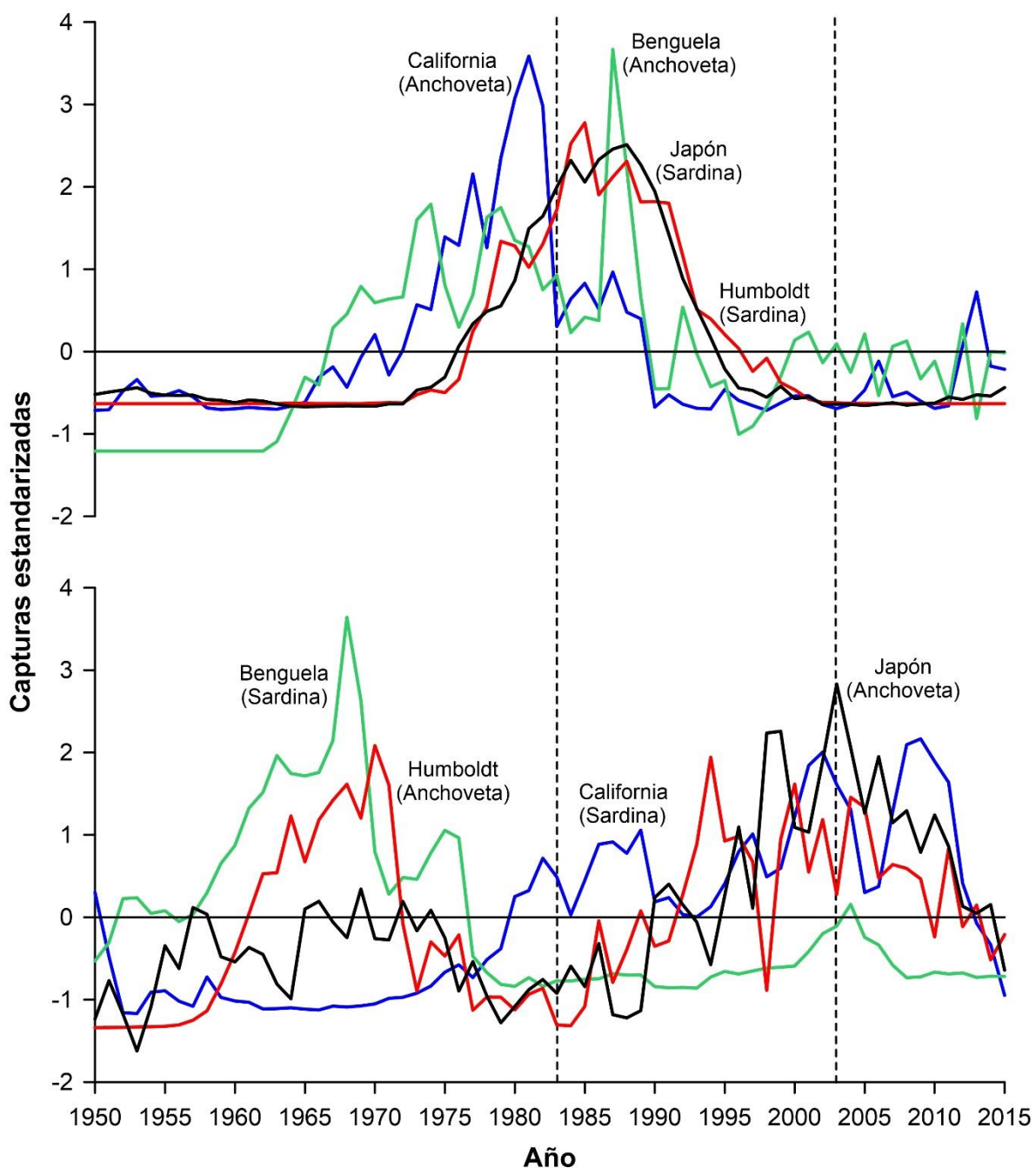


Figura 2 Series de capturas estandarizadas de sardina y anchoveta para los cuatro sistemas originalmente incluidos en la discusión el Problema del Régimen: California, Japón, Humboldt y Benguela 1950-2015 (FAO). Las marcas de tiempo en 1983 y 2003 corresponde a algunos de los principales artículos sobre el Problema del Régimen (Kawasaki, 1983; Chavez *et al.*, 2003).

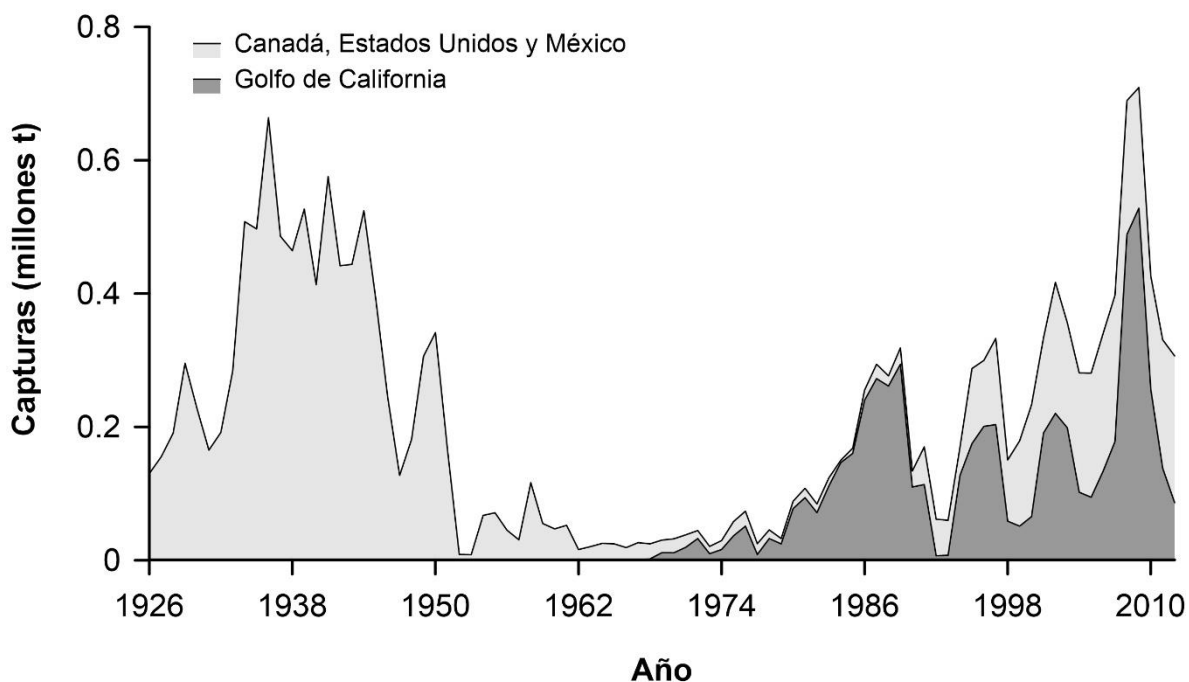


Figura 3. Series de las capturas de sardina monterrey (1926-2012) en la Corriente de California (Canadá, Estados Unidos y México) la parte sombreada corresponde a las capturas aportadas por el Golfo de California.

En el análisis de factores correspondiente a 29 series de tiempo (12 especies) se obtuvieron 4 factores con autovalor > 1 . Los primeros factores representaron el 33.8, 24.8, 9.8 y 7.2% de la varianza observada (total: 75.6%). De las especies de pelágicos menores analizadas se encontró, que 20 presentaron correlación significativa con su respectivo factor ($r > 0.68$, $df=66$, $p < 0.05$) (Tabla IV). En el primer factor se agruparon 11 series tiempo, ocho se correlacionaron positivamente y tres negativamente, la mayoría de las especies en este factor se distribuyen principalmente en el Atlántico centro oriental y el Océano Índico. Al analizar la puntuación factorial del primer factor, se encontró que éste muestra dos periodos antes y después de 1970, además una tendencia positiva constante desde la década de 1960 (Fig. 4a). El segundo factor estuvo conformado por dos series de tiempo que se correlacionaron una positiva y otra negativamente, en este factor se encontró a uno de los pelágicos menores más abundantes la Anchoqueta sudamericana (Humboldt) y la Anchoqueta europea con distribución en el

Mediterráneo occidental. Al analizar el patrón de la puntuación factorial correspondiente al segundo factor, se observó una fuerte variabilidad multidecadal, con periodos positivos a mediados de 1960 y principios de 1990 y 2000 (Fig. 4b). En el tercer factor se correlacionaron positivamente las anchovetas de Sudáfrica y Mediterráneo con la sardinela de Brasil, en la serie de tiempo se observó una tendencia positiva entre mediados de 1960 y 1980 seguida por un periodo negativo a finales de 1990 (Fig. 4c). En el último factor se correlacionaron positivamente cuatro series de tiempo: la sardina sudamericana, la japonesa y la sardina europea con distribución en el mediterráneo nordeste y noroeste. La serie temporal del cuarto factor mostró una tendencia creciente desde el inicio de la serie hasta mediados de 1980 para posteriormente cambiar a negativa (Fig. 4d). Nueve series no se correlacionaron significativamente con ningún factor: anchoveta japonesa (Pacífico noroeste), anchoveta de California (Pacífico nordeste y centro-oriental) anchoíta (Atlántico sudoccidental), anchoveta europea (Mediterráneo nordeste), anchoveta europea (Mar negro), sardina europea (Atlántico nordeste, norte), sardinela aceitera (Océano Índico), alacha (Mediterráneo oriental y Atlántico centro-oriental).

Tabla IV. Especies de pelágicos menores analizadas que mostraron una correlación significativa con su respectivo factor, considerando las cargas factoriales ($r > 0.68$, $df = 66$, $p < 0.05$).

Series de tiempo	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Sardinela dorada	0.952			
Atlántico centro-oriental Sardina europea	0.902			
Sardina monterrey	0.899			
Atlántico centro-oriental Alacha	0.896			
Mediterráneo occidental Sardina europea	0.864			
Sardinela de Bali	0.842			
Sardinela aceitera	0.772			
Atlántico centro-oriental Anchoqueta europea	0.752			
Atlántico nordeste (sur) Sardina europea	-0.681			
Sardina de Sudáfrica	-0.753			
Atlántico nordeste Anchoqueta europea	-0.757			
Anchoqueta sudamericana		0.813		
Mediterráneo occidental Anchoqueta europea		-0.764		
Sardinela de Brasil			0.841	
Mediterráneo nordeste Anchoqueta europea			0.764	
Anchoqueta de Sudáfrica			0.691	
Mediterráneo noroeste Sardina europea				0.843
Sardina sudamericana				0.820
Sardina japonesa				0.804
Mediterráneo nordeste Sardina europea				0.749

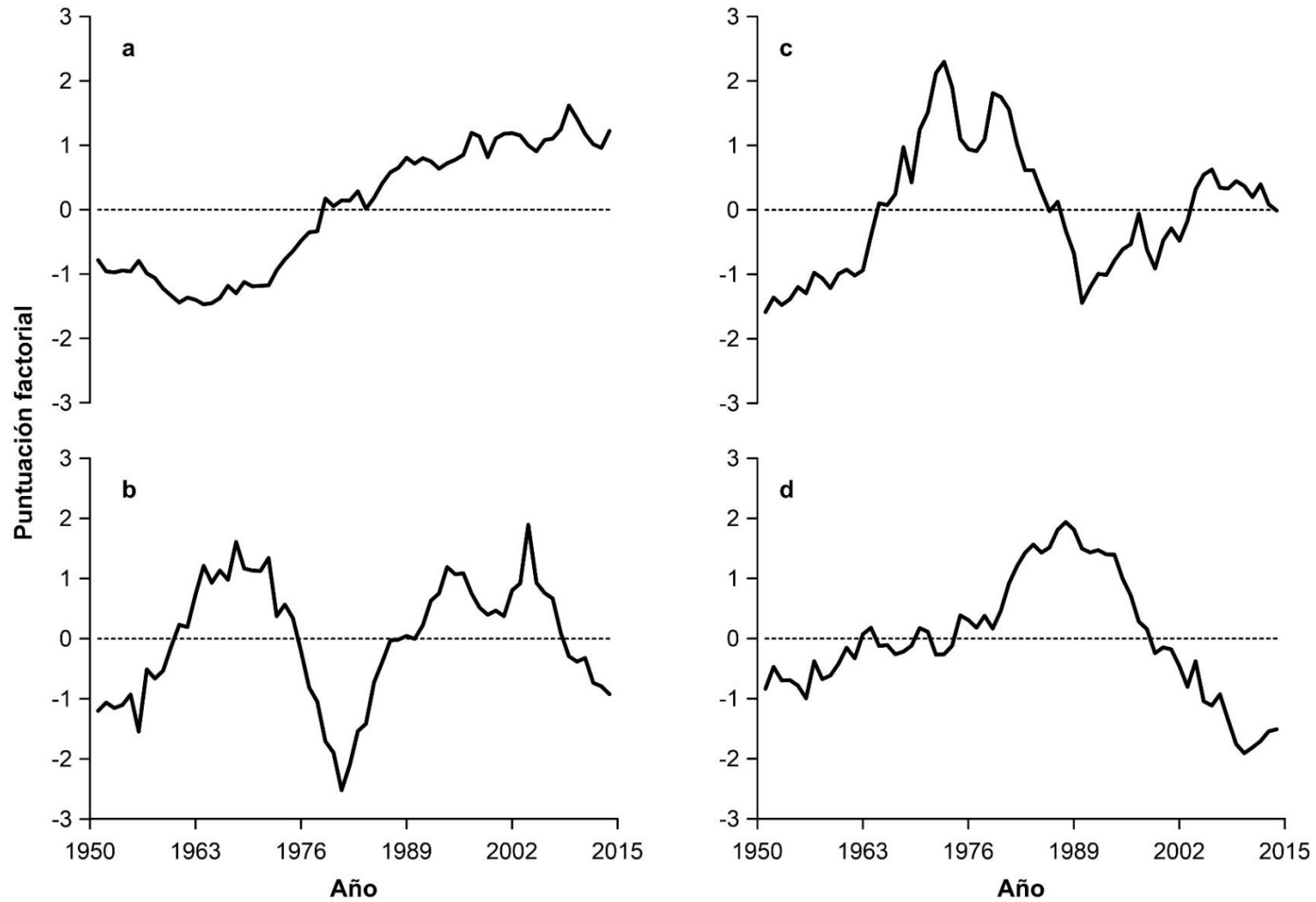


Figura 4. Series de la puntuación factorial correspondiente a los 4 factores obtenidos a partir de las 29 series de pelágicos menores 1950-2015.

7.3 Alternancia

En la figura 5 se observan los resultados del análisis de Estimación Divisoria Jerárquica, se analizó la proporción de series que presentaron cambios significativos (es decir, detectados al menos al 75% en las diferentes longitudes de corte). En las series de sardinas se observó que el 40% de los casos se presentaron cambios en 1969 y nuevamente en 1998 y 1999. Otro periodo interesante correspondió a la década de 1970 en donde se presentó una proporción de cambio entre el 20 y 30% de las series, para el resto de los años la proporción de cambio fue variable. En el caso de las anchovetas, el 40% de las series cambió en 1974 y nuevamente en 1986, también se detectaron cambio en las series correspondiente a 1988-99 y 1994-95 con una proporción de 30%. Al acumular todos los casos de sardinas, sardinelas y anchovetas, se observó que 1974 fue el único año con una proporción de cambio correspondiente al 30%, para el resto de los años no se observó un patrón común de cambios.

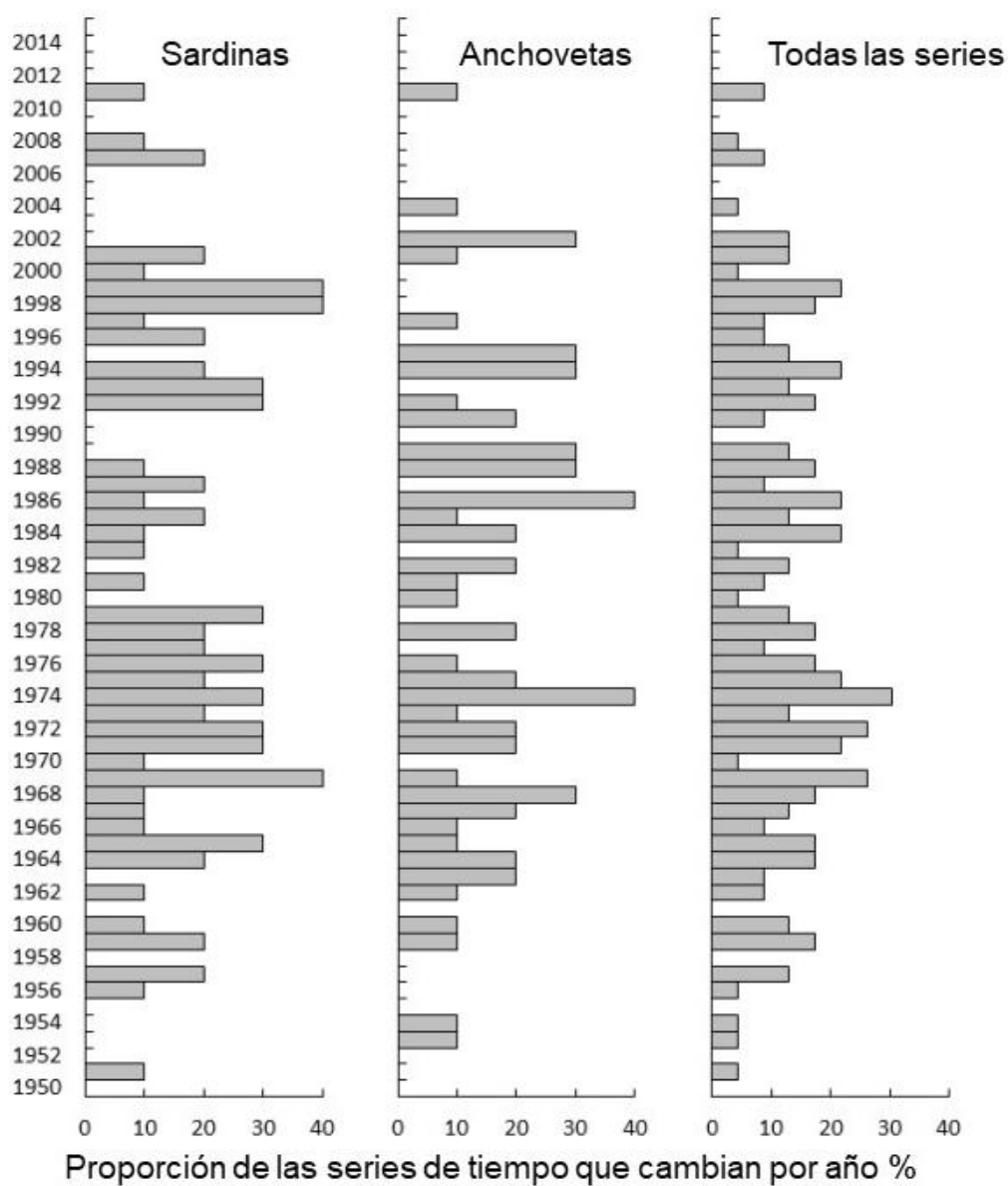


Figura 5. Proporción de las series de tiempo que presentaron cambios significativos al utilizar el método de Estimación Divisoria Jerárquica (cambios detectados al menos al 75% en las diferentes longitudes de corte).

7.4 Certificación pesquerías de pelágicos menores

A nivel mundial han estado involucradas con el sistema de certificación alrededor de 63 pesquerías de pelágicos menores de las cuales 23 están certificadas, 36 se encuentran suspendidas/retiradas y cuatro en evaluación. Se observó que casi el 80% de pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas con el proceso de certificación se encuentran ubicadas en el Atlántico nororiental y solo el 10% de estas pesquerías se encuentran ubicadas en países en desarrollo (Pacífico centro-oriental, sudoriental y el Atlántico sudoccidental) (Fig. 6). Al analizar las razones de suspensión o retiro de las pesquerías de pelágicos se encontró que el 50% de las pesquerías que han sido suspendidas y/o retiradas se relacionan al no cumplimiento del principio 1, otras razones están relacionadas con factores administrativos o económicos (Fig. 7).

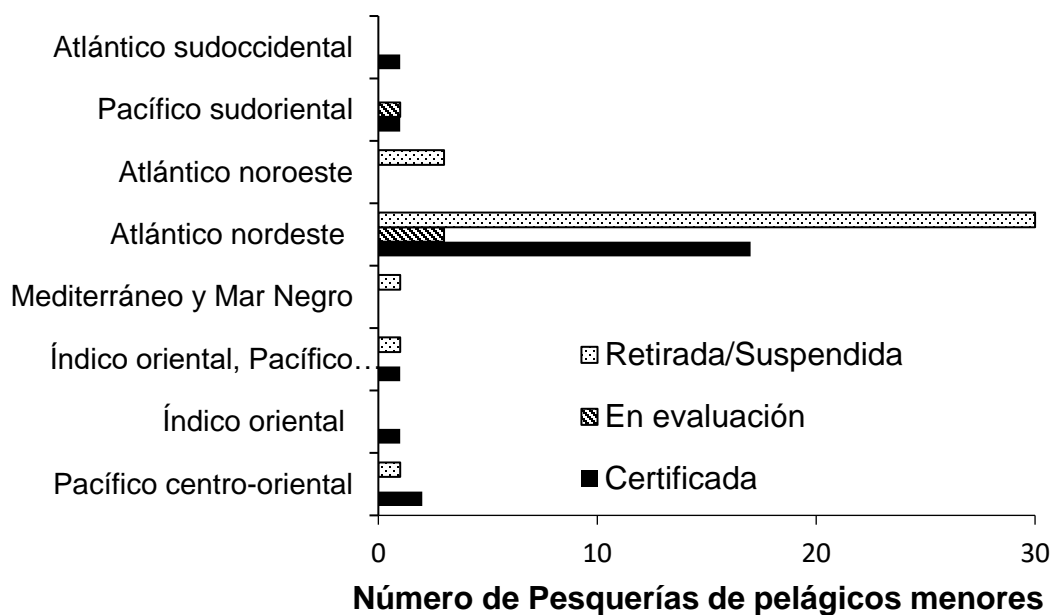


Figura 6. Pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas en el proceso de certificación del MSC en diferentes zonas de pesca.

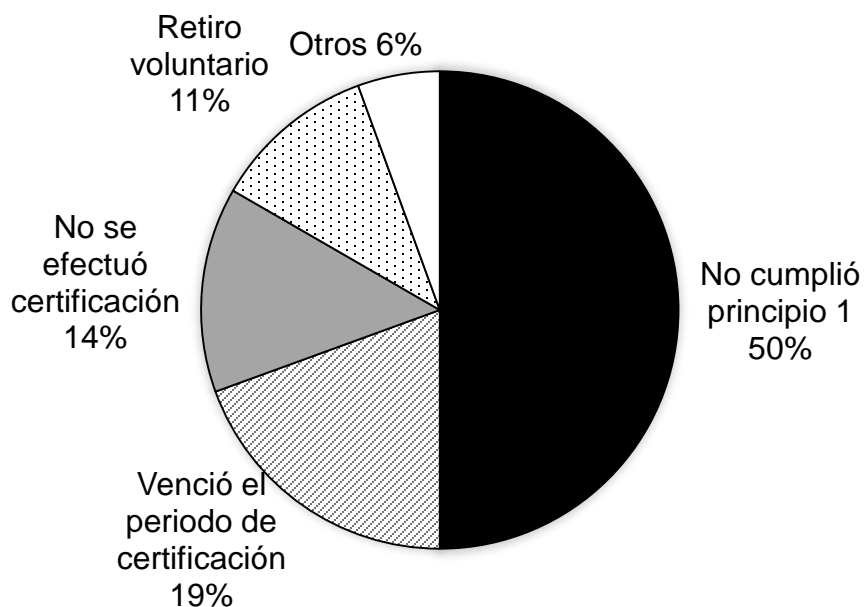


Figura 7. Principales razones de suspensión o retiro en las pesquerías de pelágicos menores que han estado involucradas en el proceso de certificación del MSC.

De las 23 pesquerías certificadas como ambientalmente sustentables y bien gestionadas, sólo cuatro se encuentran en países en desarrollo (Argentina, México y Chile). En la figura 8 se observan las pesquerías de pelágicos menores con mayor tiempo en el programa de certificación, así como el volumen de captura registrado para cada una de acuerdo con los datos del MSC. Se destaca la presencia de dos pesquerías ubicadas en países en desarrollo: la anchoíta en Argentina con ocho años de certificación y la de pelágicos menores en Sonora, México, que lleva seis años certificada y además es una de las pesquerías con mayor volumen de captura registrado, alcanzando un poco más de 120 mil toneladas.

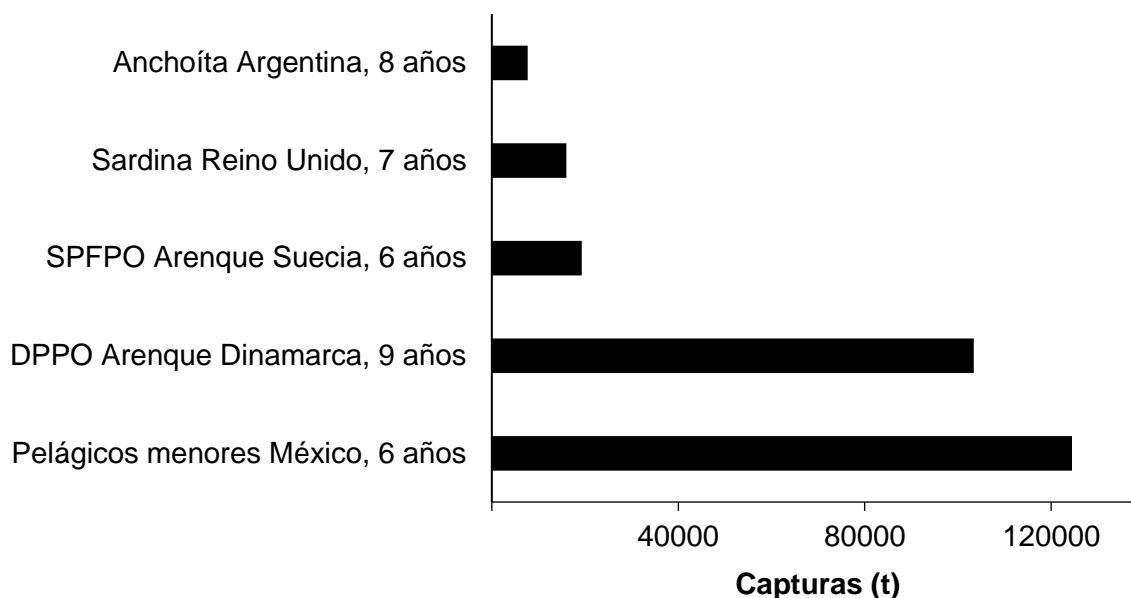


Figura 8. Pesquería de pelágicos menores con mayor antigüedad en el proceso de certificación del MSC.

En la figura 9 se observa el puntaje promedio obtenido en cada indicador de desempeño para las 23 pesquerías de pelágicos menores certificadas, en general la mayoría de estas pesquerías presentan dificultades con el indicador 1.2.2 (principio 1) relacionado con las reglas y herramientas de control de la especie objetivo y el indicador 2.3.3 (principio 2) el cual se relaciona con la información de las especies amenazadas o protegidas.

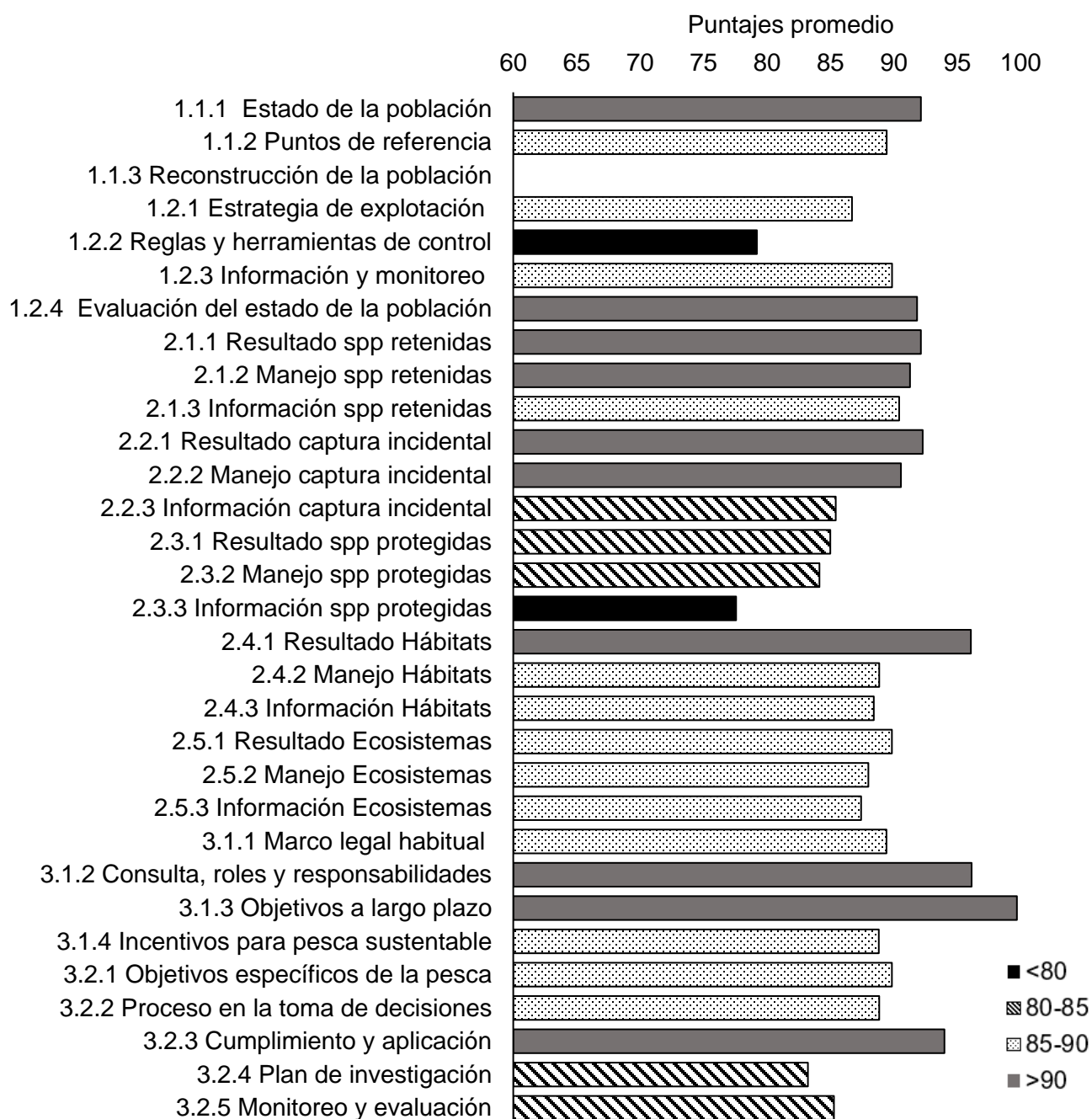


Figura 9. Puntuación promedio en cada indicador de desempeño para las 23 pesquerías de pelágicos menores certificadas por el MSC.

En la tabla V se comparan los puntajes asignados en cada uno de los principios, así como el número de condiciones asignadas a las pesquerías de pelágicos menores en los países en desarrollo. Al analizar los puntajes en la evaluación de la

certificación se encontró que la pesquería de sardina crinuda y la pesquería de pelágicos menores en México, obtuvieron los puntajes más bajos en los principios 1 y 2, éstas son las pesquerías con el mayor número de condiciones (20 y 16) establecidas.

Tabla V. Puntajes finales en los principios 1, 2 y 3 y número de condiciones establecidas por el MSC en la certificación de las pesquerías de pelágicos menores de países en desarrollo.

	Anchoíta Argentina	Jurel Chile	Crinuda México	Pelágicos menores México
Principio 1- Especie Objetivo	83	84	80	82.5
Principio 2- Ecosistema	84	85	81	80
Principio 3 - Manejo	92	87	80	85.3
Número de condiciones	1	7	20	16

En la tabla VI se observan los puntajes asignados en cada uno de los 31 indicadores de desempeño para las pesquerías en países de desarrollo. Se encontró que la pesquería de sardina crinuda no alcanzó un puntaje mayor a 80 en 14 indicadores. Se analizaron de forma particular los puntajes de la pesquería de pelágicos menores en México, dada su mayor antigüedad y el alto volumen de captura registrada, y se encontraron puntuaciones menores a 80 para 13 indicadores: en el principio 1 relacionado al componente de resultados (1.1.2) y manejo (1.2.1 y 1.2.2), en el principio 2 a los componentes de especies retenidas (2.1.2), captura incidental de especies (2.3.2 y 2.3.3) y ecosistema (2.5.2), finalmente en el principio 3 con el componente de sistema de gestión específica para la pesca (3.2.2, 3.2.3 y 3.2.5).

Tabla VI. Puntajes asignados en cada indicador de desempeño para las pesquerías de pelágicos menores en países en desarrollo. En México se observan los puntajes obtenidos para la sardina monterrey y la sardina crinuda que se evalúan de forma independiente sólo para los primeros indicadores.

Indicadores de desempeño	Pesquerías				
	Anchoíta Argentina	Jurel Chile	Crinuda México	Pelágicos menores México	
1.1.1 Estado de la población	80	90	90	100	90
1.1.2 Puntos de referencia	*	*	90	75	90
1.1.3 Reconstrucción de la población	*	N/A	N/A	*	*
1.2.1 Estrategia de explotación	90	75	70	70	70
1.2.2 Reglas y herramientas de control	85	75	70	75	75
1.2.3 Información y monitoreo	80	80	75	80	75
1.2.4 Evaluación del estado de la población	85	95	65	85	75
2.1.1 Resultado	100	100	80	80	
2.1.2 Manejo	85	80	75	75	
2.1.3 Información	95	95	75	80	
2.2.1 Resultado	80	95	80	80	
2.2.2 Manejo	80	75	75	80	
2.2.3 Información	85	80	75	80	
2.3.1 Resultado	75	85	100	85	
2.3.2 Manejo	80	70	85	70	
2.3.3 Información	80	80	75	65	
2.4.1 Resultado	93	100	100	100	
2.4.2 Manejo	80	85	80	95	
2.4.3 Información	80	80	80	80	
2.5.1 Resultado	80	80	80	80	
2.5.2 Manejo	80	80	70	75	
2.5.3 Información	80	90	80	80	
3.1.1 Marco legal habitual	100	95	90	95	
3.1.2 Consulta, roles y responsabilidades	100	95	85	95	
3.1.3 Objetivos a largo plazo	100	100	100	100	
3.1.4 Incentivos para pesca Sustentable	*	*	80	80	
3.2.1 Objetivos específicos de la pesca	80	100	80	80	
3.2.2 Proceso en la toma de decisiones	95	65	70	75	
3.2.3 Cumplimiento y aplicación	80	75	60	75	
3.2.4 Plan de investigación	*	*	75	90	
3.2.5 Monitoreo y evaluación	80	70	75	70	

7.5 Descripción del Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores

El Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores CTEPM empezó a operar de manera continua desde 1992, manteniéndose vigente hasta la fecha (2019). Es el único comité técnico en México asociado a una pesquería y reconocido oficialmente por los instrumentos de manejo pesquero: 1) Norma Oficial Mexicana NOM-003-PESC-SAG/PESC-2018 y 2) Plan de Manejo Pesquero. Este comité fue creado como consecuencia de la disminución dramática en las capturas de sardina monterrey en el Golfo de California, y fue conformado por instituciones académicas, representantes del sector industrial y del gobierno con el propósito inicial de entender la problemática asociada al recurso, ofrecer alternativas de solución, e implementar medidas de manejo que permitieran un aprovechamiento racional y sostenido del recurso.

Desde 1992 el comité organiza talleres anuales, en los que se abordan las diferentes problemáticas de la pesquería, ofreciendo soluciones a partir del conocimiento científico. El objetivo de este taller ha sido difundir los avances de investigación y desarrollo tecnológico sobre la pesquería de pelágicos menores, así como brindar un foro de discusión para el intercambio de ideas e información entre investigadores, representantes del sector productivo y de manejo, lo que resulta en recomendaciones para el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) que son el agente técnico gubernamental encargado del manejo pesquero en México.

Al revisar las memorias del taller de pelágicos menores, se encontró que varias de las medidas de regulación (regionalización de las zonas de pesca, periodos de veda, control del esfuerzo pesquero, reglamentación en el uso de redes, entre otras) propuestas en el comité, hoy en día están establecidas en los instrumentos de manejo NOM-003-PESC-SAG/PESC-2018 y Plan de Manejo Pesquero. El resultado de los talleres anuales ha generado un sentido de corresponsabilidad entre todos los grupos involucrados en esta pesquería, quienes saben que las medidas de manejo más adecuadas son aquellas que se apoyan en el conocimiento científico,

pero que la eficiencia de estas radica principalmente en el cumplimiento por parte de los usuarios.

En la figura 10 se observan los principales temas tratados por el CTEPM durante 26 años de talleres (1992-2018), durante este periodo se presentaron un total de 593 trabajos, el promedio anual trabajos presentados fue de 23, las principales temáticas han estado relacionada con biología pesquera (59%), biomasa y modelación (15%), ecosistema (11%), en una menor proporción se encontraron los trabajos relacionados con clima y paleoecología (9%), tecnología e industria (5%) y normatividad (2%).

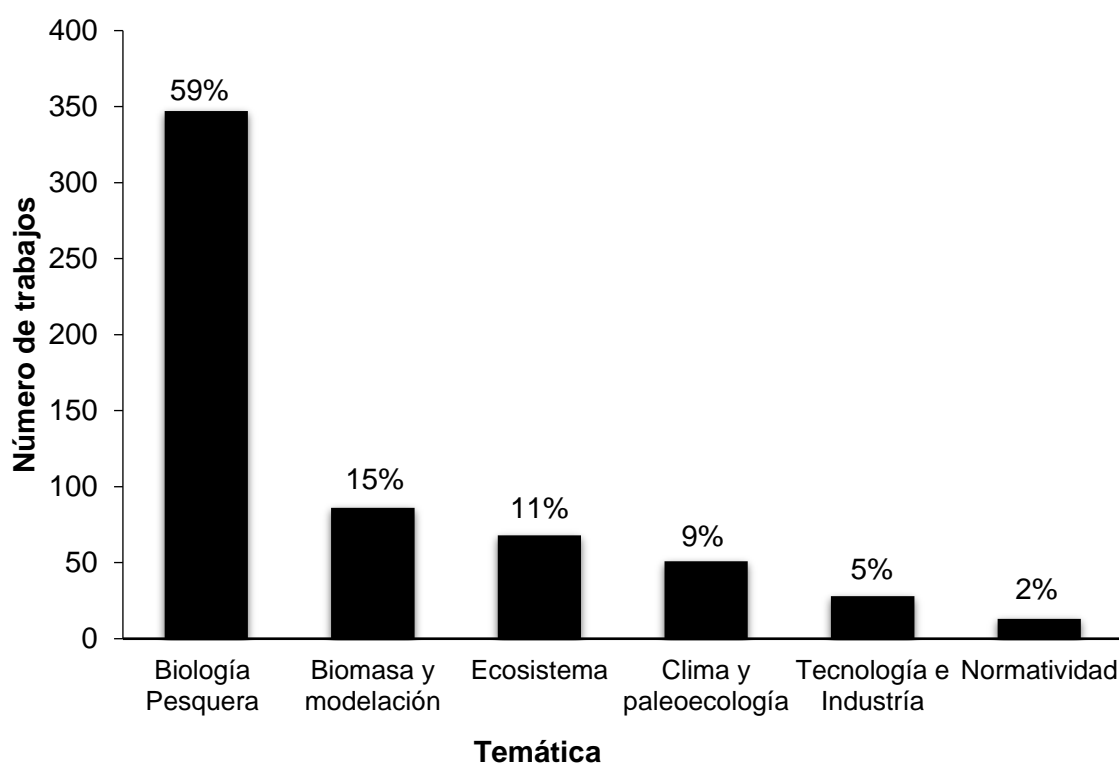


Figura 10. Temas tratados por el Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores durante 26 años de talleres (1992-2018).

En la tabla VII se encuentran la lista de las 26 instituciones que anualmente (1992-2018) han participado en los talleres por medio de ponencias, se observó que las instituciones con mayor frecuencia de participación fueron el Centro

Interdisciplinario de Ciencias Marinas (100%), el Centro de Investigación Pesquera con sedes en Ensenada y Guaymas (100%), el Centro de Investigación Pesquera con sede en Mazatlán (92%) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (80%), dentro de las instituciones con menor frecuencia (4%) de participación se encontraron algunas entidades de la asociación civil.

Tabla VII. Lista de instituciones participantes y frecuencia de participación en los talleres anuales organizados por el Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores desde 1992 hasta 2018.

Instituciones	Frecuencia %
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas CICIMAR-IPN	100
Centro Regional de Investigación Pesquera CRIP-Ensenada	100
Centro Regional de Investigación Pesquera CRIP-Guaymas	100
Centro Regional de Investigación Pesquera CRIP-Mazatlán	92
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. CIBNOR	80
Centro de Investigación Científico y de Educación Superior CICESE	72
Universidad Autónoma de Baja California UABC-Ensenada	72
Centro Regional de Investigación Pesquera CRIP-La Paz	24
Instituto Tecnológico de Guaymas	24
Universidad Nacional Autónoma de México UNAM	24
Centro de Investigación y Desarrollo Costero	20
Administración Nacional y Atmosférica NOAA	20
Universidad Autónoma Sinaloa	16
Cámara Nacional de la Industria Pesquera CANAINPES	12
Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca CONAPESCA	12
Universidad Autónoma de Baja California Sur UABCS-La Paz	12
Universidad Veracruzana	12
Universidad de Sonora	8
N/A	8
Comunidad y Biodiversidad A. C COBI	4
Centro Regional de Investigación Pesquera CRIP-Nayarit	4
Fondo para la Protección de recursos Marinos (FONMAR)	4
Global Group Mazatlán	4
Instituto Nacional de Pesca INAPESCA CDMX	4
Marine Stewardship Council	4
Universidad de California EE. UU	4

8.- DISCUSIÓN

8.1 Uso de los datos de captura

Hilborn y Walters (1992) han sugerido que los índices de abundancia deberían basarse en una recopilación de datos independientes de la pesca; sin embargo, estos datos suelen ser costosos o difíciles de recolectar. Por ello, las evaluaciones de muchas poblaciones se basan únicamente en datos dependientes de la pesca (captura por unidad de esfuerzo o tasa de captura), al ser la fuente más fácil de compilar (Maunder y Punt, 2004). Por su parte, Hilborn (2013) ha argumentado que asumir la captura como un indicador de abundancia solo genera confusión y contribuye a incrementar la percepción entre las organizaciones de conservación de que el manejo pesquero está fallando. Por ello, sugiere que la evaluación de las poblaciones debe basarse en datos científicos con información más detallada que permita revelar qué estrategias de manejo son realmente efectivas.

Si bien obtener datos independientes de la pesca para realizar evaluaciones de las poblaciones de peces es el método más recomendado, también se ha encontrado que la implementación de este generalmente suele ser más difícil debido a sus altos costos. Costello *et al.* (2012) encontró que para la mayoría de las poblaciones de peces a nivel mundial se carece de datos biológicos adecuados para calcular la abundancia y productividad, generalmente en los países desarrollados las poblaciones de peces evaluadas oscilan entre el 10 y 50%, mientras que en los países en desarrollo la proporción es menor (5 y 20 %).

En este trabajo se reconocen las limitaciones en el uso de los datos de capturas como indicador de abundancia relativa; sin embargo, se basa en el supuesto de que, para los estudios de la variabilidad de baja frecuencia, los datos de captura generalmente dan una señal aceptable de la abundancia relativa (Freón, 2003). Por otro lado, Froese *et al.* (2012) al analizar los datos de las capturas de FAO y compararlos con datos de biomasa de poblaciones que han sido completamente evaluadas, encontraron que las tendencias en los datos de capturas eran

consistentes con los datos de biomasa, por lo cual sugirieron que el uso de datos de capturas es adecuado para detectar e interpretar tendencias.

Para este trabajo sólo se lograron recopilar 12 series de biomasa a nivel mundial, la recopilación resultó compleja debido a que estas series son de difícil acceso, en la mayoría de los casos no estaban disponibles para todas las regiones en donde se pescan pelágicos menores, y algunas no cuentan con la longitud suficiente para detectar señales de baja frecuencia. De acuerdo con los resultados de este trabajo, las cuatro series que no presentaron correlaciones significativas presentaron un periodo menor a 20 años. Si bien el análisis de correlación (Tabla III) estuvo restringido sólo a un pequeño grupo de especies, ocho de 12 series presentaron correlaciones significativas

Finalmente, se utilizaron los datos de capturas de la FAO (29 series) ya que es la única base de datos que se encuentra disponible, con una amplia cobertura a nivel temporal y espacial lo que permite realizar comparaciones, si bien es cierto que la abundancia de peces se puede ver afectada por diversos factores, que pueden influir en la captura anual (Pauly *et al.*, 2013). Cuando sólo se encuentran disponibles estos datos, pueden ser utilizados para realizar aproximaciones sobre el estado de la pesquería, tal como se ha observado en los estudios de baja frecuencia para pelágicos menores, en donde el análisis de la tendencia en las capturas ha resultado ser un elemento clave para documentar los colapsos, las recuperaciones parciales y lentas en varias regiones del mundo.

8.2 Actualización de las series originales de la hipótesis El Problema del Régimen

El primer objetivo de este trabajo fue evaluar si los patrones aparentes observados de fluctuaciones sincrónicas en pelágicos menores capturados en sistemas distantes (California, Japón, Humboldt y Benguela), y la alternancia entre sardinias y anchovetas discutida en las publicaciones El Problema del Régimen, continúan siendo aparentes a la luz de los datos posteriores.

La primera observación de sincronía en las capturas de pelágicos menores fue documentada por Kawasaki (1983), basado en las similitudes en las sardinas de California y Japón que mostraban un aumento desde 1920 hasta alcanzar el máximo a mediados de 1930, seguido de una caída abrupta a finales de 1950 y una aparente recuperación a finales de 1970. Este patrón coincidió con lo observado en la pesquería de sardina en Humboldt, que inició en 1951 y presentó un aumento rápido a finales de 1970. En ese momento, incluso cuando se basaba en sólo dos casos y un ciclo, la coherencia temporal de la señal era sorprendente y se inició una serie de talleres y publicaciones que exploraban los fenómenos. En 1999, el Comité Científico de Investigación Oceánica (SCOR WG98) publicó, en su último informe, una revisión exhaustiva de casos e hipótesis basada en datos actualizados hasta 1997. Para entonces, Humboldt y Benguela mostraban un ciclo de variabilidad multidecadal completo, reforzando la idea de sincronía. Otras pesquerías como Brasil y Australia se discutieron, pero debido a limitaciones en los datos disponibles no se incluyeron en los análisis.

Al actualizar la serie de datos hasta 2015 se observó que se mantiene la sincronía entre los sistemas de Japón y Humboldt (Fig. 2) para las sardinas y las anchovetas. Alheit y Bakun (2010) destacaron esta estrecha variabilidad, y especularon que la sincronía en los sistemas de Japón y Humboldt se debe a cambios acoplados en la circulación océano-atmósfera en las cuencas del Pacífico norte y sur. Yatsu y Kawabata (2017) analizaron datos biológicos y ambientales en estos dos sistemas y encontraron elementos comunes a nivel regional en la temperatura superficial del mar, que afectan el reclutamiento durante períodos de rápido crecimiento o colapso en las poblaciones de sardinas.

La segunda observación importante después de actualizar la serie hace referencia al caso de la sardina de California, la cual dejó de mostrar la sincronía con la que había sido descrita. Schwartzlose *et al.* (1999) calculó una Función Empírica Ortogonal (FEO) extraída por medio de un Análisis de Componentes Principales para ocho series de tiempo (sardinas y anchovetas de California, Japón, Humboldt

y Benguela), que capturó más del 60% de la variabilidad común. Este FEO mostró correlaciones positivas con las sardinas de Humboldt, Japón y California y con la anchoveta de Benguela, y correlaciones negativas con las anchovetas de Humboldt, Japón y la sardina de Benguela. Aunque la anchoveta de California presentó una correlación positiva, este resultado no fue discutido. Posteriormente Lluch-Cota (2013) actualizó la serie de Schwartzlose *et al.* (1999) utilizando los datos de captura de la FAO para los cuatro sistemas hasta 2011. Se reconoció un periodo a mediados de 1970 en donde dominaron las sardinas (California, Japón y Humboldt) y la anchoveta en Benguela, seguido por un periodo a finales de 1990 (no incluido en Schwartzlose *et al.* (1999) dominado por las anchovetas sólo en Japón y Humboldt; por el contrario, en California se observaron altas capturas en las sardinas, sin embargo, este resultado tampoco fue discutido.

Al analizar las series actualizadas (Fig. 2), independiente de las especies y las regiones, se observó que el período máximo de la anchoveta de California se presentó entre los máximos de las sardinas de Humboldt y Japón. En la Figura 2, la anchoveta de California está graficada junto con la anchoveta de Benguela y las sardinas de Humboldt y Japón, lo que sugiere una aparente sincronía con la anchoveta de Benguela.

Por otro lado, se ha sugerido que el máximo en las capturas de la sardina de California observado en 1980 se encuentra en fase con las sardinas de Japón y Humboldt; sin embargo, en la Figura 3 se observó que casi el 100% de esa señal procedió de las capturas del Golfo de California. Ha existido un debate constante sobre si las capturas de sardinas del Golfo de California deberían incluirse o no como parte del sistema de sardinas de California. Existen evidencias que la sardina se mueve del Golfo a la Corriente de California en las escalas de tiempo multidecadales (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2002) y que la frecuencia de variabilidad dentro del Golfo se acerca más a la interanual (ciclos de alrededor de 6 años), aparentemente modulada por la dinámica a escala local (Lluch-Cota *et al.*, 1999, 2007). Si los datos del Golfo de California se excluyen del resto, como lo hizo

originalmente Schwartzlose *et al.* (1999), solo se observa una señal de recuperación muy modesta después de la finalización de los ciclos de sardina en Japón y Humboldt.

Otro aspecto importante en la actualización de las series fue el caso de Benguela, en la Figura 2 se observó que incluso cuando las sardinas y anchovetas de Benguela mostraron alternancia a finales del siglo pasado, durante las dos últimas décadas ambas especies permanecen en niveles relativamente bajos, lo cual coincide con lo documentado por Cury y Shannon (2004) para finales de 1990 y principios del 2000.

8.3 Variabilidad de baja frecuencia y alternancia en nuevas series de pelágicos menores

Otro de los objetivos abordados en este trabajo fue documentar si la variabilidad de baja frecuencia, la sincronía entre regiones y la alternancia entre especies dentro de un sistema pueden detectarse y caracterizarse luego de incorporar nuevas series de pelágicos menores, además de los ocho grupos tradicionalmente considerados (sardinas y anchovetas de California, Japón, Humboldt y Benguela) en las discusiones sobre El Problema del Régimen. Para esto se incorporaron 21 series de tiempo de diferentes regiones del mundo, las cuales incluían ocho sardinelas, seis sardinas y siete anchovetas. Realizamos un análisis factorial debido a que es una técnica muy utilizada para extraer la varianza común de un grupo de variables, la hipótesis detrás de este análisis fue que un solo factor capturaría la mayor parte de la variabilidad similar. A partir de lo observado en las serie de Indicadores de Régimen construido por Lluch-Cota *et al.* (1997) y actualizado en Chavez *et al.* (2003), se esperaba que las sardinas y las anchovetas de cada región se correlacionarían con signos opuestos a ese factor. En otras palabras, todos los pelágicos menores, independiente de la región y la especie, estarían sincronizados en la escala multidecadal y además presentaría alternancia entre especies dentro de cada sistema.

Los resultados obtenidos probaron que la hipótesis era incorrecta. Primero, se necesitaron cuatro factores para extraer el 75.6% de la varianza de 29 series; el primero factor representó solo el 33.8% de la varianza observada, y se correlacionó con menos de la mitad de las especies consideradas, alrededor de nueve casos no se correlacionaron significativa con ninguno de los factores, incluidas dos de las especies originalmente consideradas en la hipótesis el problema del régimen: la anchoveta japonesa y de California. No se encontró un sólo modo de variación que represente a todos los pelágicos menores y tampoco se observó un solo caso de correlación con signos opuestos entre los factores para diferentes especies dentro de un sistema.

Se encontró que las especies de un mismo sistema se correlacionaron con diferentes factores (Tabla IV), como la sardina de Sudáfrica (negativa con el factor 1) y la anchoveta (positiva con el factor 3), también se observó que las especies dentro de un mismo sistema estaban correlacionadas al mismo factor con el mismo signo (sardina, alacha y anchoveta del Atlántico centro oriental, todos positivos con factor 1), incluso se hallaron especies que no presentaron correlaciones significativas con ninguno de los factores extraídos (sardina de California con factor 1, pero la anchoveta no se correlacionó con ningún factor significativamente). Esta observación se ve respaldada por el resultado obtenido en el análisis de Estimación Divisoria Jerárquica, el cual fue utilizado con el fin de detectar cambios de régimen en las series de captura, en este análisis se acumularon los años en los cuales se presentaban importantes cambios para las sardinas y las anchovetas de todos los sistemas. El principal hallazgo con este método fue que en todos los años hay un pequeño número (<40%) de series de tiempo que cambian, es decir, no se encontraron años únicos de grandes cambios globales en los regímenes de sardinas y anchovetas.

Los resultados observados no son sorprendentes después de revisar en la literatura cada uno de los casos. Por ejemplo, en las 11 series correlacionadas con el factor 1, se observó una tendencia creciente desde la década de 1960 (Fig. 4a), se ha

reportado que las capturas del Indo Pacífico han aumentado constantemente desde la década de 1950 (Devaraj *et al.*, 1997), las fluctuaciones en la sardinela de Bali se han asociado principalmente a la variabilidad interanual vinculada al ENSO y al dipolo del Océano Índico (Sartimbul *et al.*, 2016), la alacha del Atlántico centro-oriental ha mostrado un aumento aparentemente asociado con la expansión del hábitat térmico (Zeeberg *et al.*, 2008). Las capturas de la anchoveta europea en el Golfo de Vizcaya Atlántico nordeste han presentado un descenso importante desde mediados de la década de 1960 para finalmente colapsar a principios del 2000 (Alheit *et al.*, 2014).

La comprensión de los procesos involucrados en las fluctuaciones en las diferentes poblaciones de pelágicos menores continúa siendo una tarea clave en términos de cambio climático y manejo. Hoy en día se reconoce que la evaluación y manejo de este recurso son complicados debido a las características de la población. El objetivo es que a largo plazo estas pesquerías puedan operar de manera sustentable, por lo que además de informar a los sistemas oficiales de manejo para el diseño de estrategias adecuadas, los resultados obtenidos pueden también ser de utilidad para otras estrategias complementarias (p.e. certificación) que permitan la participación de diferentes actores de los sistemas de pesca y entrar en una dinámica de mejora de las prácticas pesqueras encaminadas a su sustentabilidad.

8.4 Certificación pesquerías de pelágicos menores

Hoy en día se reconocen los efectos del cambio climático sobre la abundancia y distribución de los organismos marinos, el cual tiene impactos directos e indirectos en las capturas y las comunidades pesqueras, complicando aún más los efectos de la presión por pesca para algunas poblaciones (Cisneros-Mata *et al.*, 2019), por lo que se hace necesario que las naciones dependientes de la pesca adopten medidas de manejo que permitan compensar las consecuencias negativas del cambio climático (Gaines *et al.*, 2018). Particularmente para las pesquerías de pelágicos

menores, dada su importancia en términos ecológicos y económicos, se espera que a futuro puedan operar de manera sustentable.

Bajo este contexto, se desarrolló el último objetivo el cual consistió en analizar los principales desafíos que experimentan estas pesquerías para demostrar su sustentabilidad a través del proceso de certificación del MSC. Si bien, la certificación está al alcance de todas las pesquerías extractivas, sin importar su envergadura, escala, sistema ecológico, localización geográfica o tecnología empleada. Es necesario identificar las principales debilidades asociadas a la certificación en las pesquerías de pelágicos menores dadas las características y los patrones de variabilidad asociadas a este recurso.

Resulta preocupante el hecho de que la participación en el proceso de certificación de MSC para las pesquerías de pelágicos menores proveniente de estos países es bastante baja (10%), si se compara con la producción pesquera mundial, donde de los 33.2 millones de toneladas correspondiente a las veinticinco principales especies marinas en 2016, los pelágicos menores contribuyeron con más de un tercio (11.3 millones de toneladas) y 76% de esta provenía de países en desarrollo (FAO, 2018). Es necesario promover el desarrollo sustentable en estas pesquerías a través de la participación en los procesos de certificación, sin embargo, primero se deben identificar las principales debilidades asociadas al proceso.

Si bien el MSC es pionero en certificación con 361 pesquerías certificadas en 41 países (MSC, 2018b), ha sido duramente criticado por la aplicabilidad de su enfoque para las pesquerías de los países en desarrollo, el cual ha sido descrito como dudoso y sesgado hacia las pesquerías de los países desarrollados (Stratoudakis *et al.*, 2016). En los resultados de esta investigación, esto también fue evidente ya que casi el 80% de las pesquerías de pelágicos que han estado involucradas en el proceso de certificación se encuentran ubicadas en el Atlántico nororiental. Ante las críticas el MSC ha diseñado estrategias con el fin de incrementar la participación de las pesquerías de países en desarrollo. El programa de certificación del MSC

proporciona herramientas y asesoramiento complementario a las pesquerías de pequeña escala y con datos limitados, para ayudarles a demostrar que cumplen con el estándar del MSC. El objetivo del MSC es que el programa sea accesible en igualdad de condiciones para todas las pesquerías.

Actualmente en términos de pelágicos menores solo se encuentran certificadas por el MSC cuatro pesquerías en países en desarrollo (Argentina, México y Chile); sin embargo, se espera que para los próximos años más pesquerías de pelágicos menores busquen la certificación del MSC. De acuerdo con el World Wildlife Fund (WWF), la pesquería de anchoveta de Perú busca ingresar al proceso de certificación para el año 2020, para esto se están desarrollando proyectos de mejoramiento pesquero que impulsen las buenas prácticas (WWF, 2016). Si esta pesquería obtiene la certificación del MSC, la biomasa total certificada como sustentable aumentará radicalmente.

8.5 Identificando debilidades en la certificación del MSC para las pesquerías de pelágicos menores

Los resultados de este trabajo en términos de las debilidades generales en los procesos de certificación del MSC asociada a las pesquerías de pelágicos menores, podrían ser de valor para las pesquerías que busquen mantener y renovar su certificación, o bien que quieran ingresar al proceso en el futuro. Se observó que en general las pesquerías de pelágicos menores presentaron dificultad con dos indicadores de desempeño: 1.2.2 “Reglas y herramientas de control” principio 1 y 2.3.3 “Información de las especies amenazadas o protegidas” principio 2. Bellchambers *et al.* (2015), al analizar diferentes pesquerías certificadas por el MSC, encontraron fallas con el indicador (1.2.2) y argumentaron que esto se debe a que, aunque existen enfoques internacionalmente aceptados sobre el manejo sustentable de la pesca, no existen reglas explícitas internacionales sobre la tasa de aprovechamiento, las reglas de explotación o los puntos de referencia precautorios. Ello convierte a la certificación del MSC en un desafío para aquellas pesquerías de pequeña escala y con datos limitados que deseen implementar

estrategias de explotación según lo definido por el MSC, debido a los costos asociados a las evaluaciones formales de la población.

El desafío no sólo será para las pesquerías con datos limitados, también para las pesquerías de pelágicos menores, tal como se observó en las pesquerías de sardina francesa y española en el Golfo de Vizcaya que fueron suspendidas en 2019, ya que, aunque la población se hallaba saludable, se temía que los niveles de esfuerzo estuvieran por encima de alcanzar el máximo rendimiento sostenible, por lo que se tomó un enfoque precautorio, reduciendo el esfuerzo (MSC, 2018b).

Por otra parte, se identificaron fallas en el indicador 2.3.3 “Información de las especies amenazadas o protegidas”, principio 2. De acuerdo con Martin *et al.* (2012), las debilidades en este indicadores se pueden abordar incrementando el conocimiento o la evidencia documentada con el fin de argumentar que la pesquería no está causando impactos negativos. Por su parte, Bellchambers *et al.* (2015) sugieren que los datos sobre especies protegidas o en peligro se pueden obtener como parte de los programas de investigación o monitoreo, incluso es importante identificar vacíos de información con el fin de recopilar datos que puedan ser útiles para aumentar la certeza sobre los impactos de la pesca.

8.6 El caso de la pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California

Se examinó el caso de la pesquería de pelágicos menores en Sonora, Golfo de California por ser una de las cinco pesquerías de pelágicos menores a nivel mundial con mayor antigüedad en los procesos de certificación del MSC, presentar altos volúmenes de captura y porque fue la primera pesquería certificada donde las capturas se utilizan mayormente para fines industriales. Actualmente esta pesquería se encuentra recertificada para el periodo 2018-2023. Dentro de la unidad de certificación se encuentra la sardina monterrey (*S. sagax*) y la sardina crinuda (*Opisthonema* spp.).

Identificamos que las principales debilidades para esta pesquería se encuentran relacionadas con: el manejo de especies retenidas, captura incidental y manejo del

ecosistema (principio 2). Así como, con algunos componentes en el sistema de manejo relacionado con: toma de decisiones, cumplimiento, aplicación, monitoreo y evaluación (principio 3). Además de las debilidades anteriormente discutidas en el principio 1.

En general las poblaciones de pelágicos menores se han caracterizado por presentar altos volúmenes de producción, acompañados por fluctuaciones en la abundancia, generalmente asociados a variaciones ambientales. Por ello, resulta interesante conocer cómo pesquerías tan variables han logrado cumplir con los estándares del MSC consiguiendo el reconocimiento de sustentabilidad y buen manejo. El MSC evalúa la sostenibilidad de las poblaciones, lo que se traduce en mantener suficientes peces en el mar, con el fin de permitir la continuidad de la actividad de manera indefinida. El cumplimiento de este principio ha representado un gran reto para las pesquerías de pelágicos menores debido a su naturaleza variable.

Particularmente la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California enfrentó la primera disminución abrupta en las capturas como pesquería certificada en 2014 y 2015, con aproximadamente 4000 toneladas, después un máximo histórico aproximado de 500,000 toneladas en 2009 (una disminución comparable a lo observado en el colapso de 1992-1993, Fig. 1). Durante este último periodo, la pesquería suspendió temporalmente las actividades de pesca hasta reunir evidencia, con datos independientes de la pesca, que permitiera esclarecer que la población de sardina monterrey estaba por encima del punto de referencia biológico. En su momento, se concluyó que la variabilidad observada en las capturas se debió a condiciones ambientales desfavorables, relacionadas con el fuerte evento de El Niño 2015 (MSC, 2018a), como ya se había observado para otros eventos de El Niño en el pasado (Nevárez-Martínez *et al.*, 2006, 2014; Lluch-Cota *et al.*, 2010). Durante 2017 y 2018 se observó una rápida recuperación en las capturas, similar a lo observado a mediados de los noventa.

Afortunadamente para las pesquerías de pelágicos menores, actualmente la guía de certificación en la versión 2.01 (MSC, 2018c) considera la variabilidad ambiental. En el apartado SA2.2.7 se reconoce que la “productividad del ecosistema puede cambiar de vez en cuando a medida que los ambientes marinos cambian naturalmente, por ejemplo bajo condiciones de régimen, el equipo deberá verificar que los puntos de referencia sean consistentes con la productividad del ecosistema” y se especifica que para buscar esta consistencia el equipo de evaluación deberá contar con evidencia de que los cambios en la productividad se deben a fluctuaciones ambientales naturales. En caso contrario, si la productividad de la pesca se ve afectada por impactos inducidos por el hombre (ya sea directa o indirectamente a través de fuentes como la contaminación o la degradación del hábitat), no se justifica realizar cambios en los puntos de referencia.

Sin embargo, ahora la gran incertidumbre estará en saber qué evidencias se podrán considerar convincentes para documentar que la productividad en el ecosistema está cambiando de forma natural. Si bien es claro que la abundancia de pelágicos ha cambiado de manera drástica en el pasado, incluso en ausencia de pesca (Baumgartner *et al.*, 1992; McClatchie *et al.*, 2017), también se reconoce que la presión por pesca influye amplificando dichas fluctuaciones (Essington *et al.*, 2015). Más aún, es cada vez más evidente que en la actualidad la actividad humana está influyendo en el funcionamiento de muchos ecosistemas. El gran reto para los científicos será detectar, clasificar y calificar las diferentes fuentes de variabilidad, considerando la influencia de la pesca y del cambio climático antropogénico.

En términos generales, el principio 2 considera que las actividades pesqueras deben realizarse de manera cuidadosa, procurando que otras especies y hábitats dentro del ecosistema permanezcan sanos. En el caso del Golfo de California, la dinámica del ecosistema se ha asociado particularmente a las poblaciones de sardina monterrey que, por encontrarse en un nivel trófico bajo y ser masivas, se intuye que las variaciones en su abundancia tienen el potencial de afectar a todo el ecosistema cuando los cambios se propagan a través de la red trófica. Estas características han

impulsado la estimación de la cantidad de biomasa de sardina que debería permanecer en el mar después de la pesca, con el fin de mantener la función y organización del ecosistema. Arreguín-Sánchez *et al.*, (2017) ubican este valor en 36% de la biomasa pescable.

Si bien la sardina monterrey se ha considerado uno de los principales elementos en la dieta de varios mamíferos y aves marinas en el Golfo de California, es probable que su papel trófico cambie con el tiempo. En un análisis de la composición de la dieta de los depredadores se encontró que otras especies de pelágicos menores, diferentes a la sardina monterrey, podrían desempeñar un papel importante en la transferencia de energía. De acuerdo con el informe de recertificación (MSC, 2018a) el papel trófico de la sardina monterrey se definió con un enfoque precautorio como una especie clave de nivel trófico bajo; sin embargo, en este informe se especificó que la descripción más apropiada para el papel trófico de la sardina monterrey, considerando el enfoque del MSC y los datos disponibles, es que la especie puede ser clave de nivel trófico bajo en circunstancias particulares, pero que esta condición puede cambiar en el tiempo.

Kaplan *et al.* (2019) exploraron el papel trófico de la sardina en la Corriente de California y la dependencia de los depredadores a través de un ejercicio de modelado múltiple, y encontraron que varias especies de forraje son importantes en el flujo de energía desde los niveles tróficos más bajos hasta los depredadores. Hilborn *et al.* (2017) exploraron la relación empírica entre la abundancia de peces de forraje y la abundancia de depredadores y no encontraron evidencia sólida sobre la relación entre la tasa de cambio y la abundancia de éstos. En términos generales, hace falta comprender con mayor profundidad el papel ecológico de estas especies dentro del ecosistema y a lo largo del tiempo. En otras palabras, ¿cuál es la dependencia trófica de los principales depredadores sobre poblaciones particulares de pelágicos menores? y ¿en qué medida esta dependencia cambia ante escenarios ambientales cambiantes?

Finalmente, las debilidades identificadas en el principio 3 estuvieron relacionadas con el componente sistema de manejo específico. Al analizar las condiciones asignadas a la pesquería, éstas se relacionaron con las especies amenazadas, protegidas o en peligro de extinción, particularmente en referencia a los pelícanos pardos y los periqueros patiazul, y se encontró que dentro del plan de acción para responder a las condicionantes, se considera la participación del Comité Técnico para el Estudio de Pelágicos Menores, quienes a través de reuniones abordan las principales problemáticas, plantean soluciones y realizan el seguimiento de estas con el fin de fortalecer el sistema de manejo.

El trabajo de este comité es altamente relevante, ya que anualmente proponen alternativas para fortalecer el programa de investigación, evaluación y manejo, con el objetivo de mantener la sustentabilidad de la pesquería. Sin embargo, al analizar las principales temáticas discutidas en el seno del taller se encontró que los temas relacionados con ecosistemas (11%) y clima (9%) han sido escasamente abordados. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, se sugiere al CTEPM profundizar más en estos temas, además tratar de manera puntual las siguientes problemáticas con el fin de mantener el reconocimiento de sustentabilidad: 1) identificar, detectar y clasificar las diferentes fuentes de variabilidad, 2) discriminar si la variabilidad es influencia de la pesca o del cambio climático antropogénico, 3) ¿cuál es la dependencia trófica de los principales depredadores sobre la población de pelágicos menores en el Golfo de California? y 4) ¿cómo se puede monitorear y definir la dinámica en tiempo casi real del papel de los pelágicos menores en el ecosistema?. Para abordar estas problemáticas se recomienda que el Comité incentive aún más un enfoque multidisciplinario, que amplíe la convocatoria anual de participación a los talleres hacia otras disciplinas científicas, con el fin de abordar las diferentes problemáticas desde diferentes perspectivas y llenar más eficientemente los vacíos de información.

9.- CONCLUSIONES

1. La sincronía multidecadal entre sistemas y la alternancia entre especies se observó de forma clara únicamente entre los sistemas de Japón y Humboldt.
2. La sardina y la anchoveta de California presentaron una gran variabilidad multidecadal; sin embargo, ésta no se encuentra en fase con los otros sistemas.
3. En Benguela no es clara la alternancia entre las especies (sardina y anchoveta) durante las últimas dos décadas, debido a que ambas especies se han mantenido en niveles bajos de productividad.
4. Independientemente de la región, las pesquerías de pelágicos menores tienden a exhibir grandes fluctuaciones interanuales a multidecadales, pero no existe un modo único de variabilidad mundial que las teleconecte, lo que sugiere la dominancia de procesos ambientales a escala regional o local sobre los globales o de cuenca.
5. La principal debilidad asociada a los procesos de certificación del MSC en las pesquerías de pelágicos menores se relacionó con fallas para demostrar la sostenibilidad de las poblaciones. Las pesquerías de pelágicos menores certificadas, y aquellas que busquen la certificación, deben enfocarse en comprender la naturaleza y las causas de los cambios en la productividad del ecosistema, incluyendo el cambio climático. En el caso particular de la pesquería de sardina del Golfo de California, un reto adicional es comprender y documentar el papel dinámico que tiene la sardina en la estructura trófica.

10.- LITERATURA CITADA

Alheit, J., A. Bakun. 2010. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical–biological linkage mechanisms. *J. Mar. Syst.* 79:267-285.

Alheit, J., C. Roy, S. Kifani. 2009. Decadal-scale variability in populations. En: Checkley, D., J. Alheit, O. Yoshioki, C. Roy (eds.). *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp 64-87.

Alheit, J., M. Peck. 2019. Drivers of dynamics of small pelagic fish resources: biology, management and human factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 617–618:1–6.

Alheit, J., P. Licandro, S. Coombs, A. Garcia, A. Giráldez, M.T.G. Santamaría, A. Slotte, A.C. Tsikliras. 2014. Reprint of “Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) modulates dynamics of small pelagic fishes and ecosystem regime shifts in the eastern North and Central Atlantic.” *J. Mar. Syst.* 133:88-102.

Arreguín-Sánchez, F., P. del Monte-Luna, M.J. Zetina-Rejón, M.O. Albáñez-Lucero. 2017. The Gulf of California Large Marine Ecosystem: Fisheries and other natural resources. *Environ. Dev.* 22:71-77.

Bakun, A. 1998. Ocean triads and radical interdecadal variation: bane and boon to scientific fisheries management. En: Pitcher, T.J., D. Pauly, P.J.B. Hart (eds.) *Reinventing fisheries management*. Kluwer Academic Publishers, London. pp 331-358.

Baumgartner, T.R., A. Soutar, V. Ferreira-Bartrina. 1992. Reconstruction of the history of pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin, California. *CalCOFI Rep.* 33:24-40.

Bellchambers, L.M., E.A. Fisher, A. V. Harry, K.L. Travaille. 2015. Identifying and mitigating potential risks for Marine Stewardship Council assessment and certification. *Fish. Res.* 182:7-17.

Cergole, M.C., S.A. Saccardo, C.L.D.B. Rossi-Wongtschowski. 2002. Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977-1997. *Rev. Bras. Oceanogr.* 50:13-26.

Chavez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota, M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299:217-221.

Cisneros-Mata, M., M.O. Nevarez-Martinez, G. Hammann. 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Rep.* 36: 136-146.

- Cisneros-Mata, M.A. 1996. Artificial neural networks to forecast biomass of pacific sardine and its environment. *Cienc. Mar.* 22(4):427-442.
- Cisneros-Mata, M.A., T. Mangin, J. Bone, L. Rodríguez, S.L. Smith, S.D. Gaines. 2019. Fisheries governance in the face of climate change: Assessment of policy reform implications for Mexican fisheries. *PLOS One.* 14:1-19.
- Clark, F.N., J.C. Marr. 1955. Population dynamics of the pacific sardine. *CalCOFI Rep.* 4:11-48.
- Coetzee, J.C., D. Merkle, C.L. De Moor, N.M. Twatwa, M. Barange, D.S. Butterworth. 2008. Refined estimates of South African pelagic fish biomass from hydro-acoustic surveys: Quantifying the effects of target strength, signal attenuation and receiver saturation. *Afr. J. Mar. Sci.* 30:205-217.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2017. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Mazatlán, México. 293 p.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2019. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SAG-/PESCA-2018. CONAPESCA, México. https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgop/2019/normas/NOM_003_SA_G_PESC_2018.pdf (abril 2019).
- Costello, C., D. Ovando, R. Hilborn, S.D. Gaines, O. Deschenes, S.E. Lester. 2012. Status and Solutions for the World's Unassessed Fisheries. *Science.* 338: 517-520.
- Cury, P. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. *ICES J. Mar. Sci.* 57:603-618.
- Cury, P., L. Shannon. 2004. Regime shifts in upwelling ecosystems: Observed changes and possible mechanisms in the northern and southern Benguela. *Progress in Oceanography.* 60:223–243.
- Devaraj, M., K.N. Kurup, N.G.K. Pillai, K. Balan, E. Vivekanandan, R. Sathiadhas. Status, prospects and management of small pelagic. 1997. En: Devaraj, M., P. Martosubroto (eds.). *Small Pelagic resources and their fisheries in the Asia-Pacific region.* Bangkok, Thailand. RAP publication. pp 91-198.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. Plan de Manejo Pesquero para la Pesquería de Pelágicos Menores (sardinas, anchovetas, macarela y afines) del Noroeste de México. Ciudad de México, México. 8 de noviembre de 2012.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2018. Carta Nacional Pesquera 2017. Ciudad de México, México. 11 de junio de 2018.
- Essington, T.E., P.E. Moriarty, H.E. Froehlich, E.E. Hodgson, L.E. Koehn, K.L. Oken, M.C. Siple, C.C. Stawitz. 2015. Fishing amplifies forage fish population collapses. *PNAS.* 112: 6648-6652.

- FAO. 1995. Código de conducta para la pesca responsable. Roma. 45p.
- FAO. 2014. The state of world fisheries and aquaculture. Opportunities and challenges. Rome. 223p.
- FAO. 2017. Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture production 1950-2015. FishStatJ - software for fishery statistical time series. Fisheries and Aquaculture Department.
- FAO. 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 220p.
- Fréon, P., C. Mullon, B. Voisin. 2003. Investigating remote synchronous patterns in fisheries. *Fish. Oceanogr.* 12:443-457.
- Fréon, P., J. Arístegui, A. Bertrand, R.J.M. Crawford, J.C. Field, M.J. Gibbons, J. Tam, L. Hutchings, H. Masski, C. Mullon, M. Ramdani, B. Seret, M. Simier. 2009. Functional group biodiversity in Eastern Boundary Upwelling Ecosystems questions the wasp-waist trophic structure. *Prog. Oceanogr.* 83:97-106.
- Froese, R., D. Zeller, K. Kleisner, D. Pauly. 2012. What catch data can tell us about the status of global fisheries. *Mar. Biol.* 159:1283-1292.
- Gaines, S.D., C. Costello, B. Owash, T. Mangin, J. Bone, J.G. Molinos, M. Burden, H. Dennis, B.S. Halpern, C. V. Kappel, K.M. Kleisner, D. Ovando. 2018. Improved fisheries management could offset many negative effects of climate change. *Sci. Adv.* 4:1-9.
- Gutiérrez T, M. 2000. Estimados de biomasa hidroacústica de los cuatro principales recursos pelágicos en el mar peruano durante 1983-2000. *Bol. Inst. Mar Perú.* 19:139-156.
- Hair, J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham, W.C. Black. 1999. Análisis Multivariante. Prentice Hall Iberia, Madrid.
- Harley, S.J., R.A. Myers, A. Dunn. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:1760-1772.
- Hilborn, R., C.J. Walters. 1992. Managing Fisheries. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman & Hall, London. 568p.
- Hilborn, R., R.O. Amoroso, E. Bogazzi, O.P. Jensen, A.M. Parma, C. Szuwalski, C.J. Walters. 2017. When does fishing forage species affect their predators? *Fish. Res.* 191:211-221.
- Hill, K.T., P.R. Crone, E. Dorval, B.J. Macewicz. 2016. Assessment of the Pacific sardine resource in 2016 for U.S.A. management in 2016-17. NOAA-National Marine Fisheries Service. 171p.

Jacobson, L.D., N.C.H. Lo, H. Herrick, T. Bishop. 1995. Spawning stock biomass of the northern anchovy in 1995 and status of the coastal pelagic fishery during 1994, Administrative Report. 49p.

James, N.A., D.S. Matteson. 2013. ecp: An R Package for Nonparametric Multiple Change Point Analysis of Multivariate Data. *J. Stat. Softw.* 62:1-25.

Kamimura, Y., R. Yukami, C. Watanabe, S. Furuichi, S. Watari, T. Kishida. 2017. Stock assessment and evaluation for the Pacific stock of Japanese anchovy. En: Marine fisheries stock assessment and evaluation for Japanese waters (fiscal year 2016/2017).

Kaplan, I., T. Francis, A. Punt, L. Koehn, E. Curchitser, F. Hurtado-Ferro, K. Johnson, S. Lluch-Cota, W. Sydeman, T. Essington, N. Taylor, K. Holsman, A. MacCall. 2019. A multi-model approach to understanding the role of Pacific sardine in the California Current food web. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 617-618:307-321.

Kawasaki, T. 1983. Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology. En: Sharp, G.D., Csirke J. (eds.) Reports of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. Italia, Roma. pp 429–506.

Lindegren, M., D.M. Checkley, T. Rouyer, A.D. MacCall, N.C. Stenseth. 2013. Climate, fishing, and fluctuations of sardine and anchovy in the California Current. *PNAS.* 110:13672-13677.

Lluch-Belda, D., R.A. Schwartzlose, R. Serra, R. Parrish, T. Kawasaki, D. Hedgecock, J.M. Crawford. 1992. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report. *Fish. Oceanogr.* 1:339-347.

Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose, P.E. Smith. 1989. World-Wide Fluctuations of Sardine and Anchovy Stocks: The Regime Problem. *Afr. J. Mar. Sci.* 8:195-205.

Lluch-Cota, D.B., S. Hernández-Vázquez, S.E. Lluch-Cota. 1997. Empirical Investigation on the Relationship Between Climate and Small Pelagic Global Regimes and el Niño-Southern Oscillation (ENSO). *FAO Fisheries Circular No.* 934.

Lluch-Cota, S.E. 2013. Modeling sardine and anchovy low-frequency variability. *PNAS.* 110:13240–1.

Lluch-Cota, S.E., A. Parés-Sierra, V.O. Magaña-Rueda, F. Arreguín-Sánchez, G. Bazzino, H. Herrera-Cervantes, D. Lluch-Belda. 2010. Changing climate in the Gulf of California. *Prog. Oceanogr.* 87:114-126.

Lluch-Cota, S.E., D.B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda, M.O. Nevárez-Martínez, A. Pares-Sierra, S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 40:184-190.

MacCall, A.D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *CalCOFI Rep.* 20:72-82.

MacCall, A.D. 2009. Mechanisms of low-frequency fluctuations in sardine and anchovy populations. En: Checkley, D., J. Alheit, O. Yoshioki, C. Roy (eds.). *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp 285–299.

Marine Stewardship Council (MSC) 2018b. Annual Report 2018-19 Working together for thriving oceans. London, United Kingdom. <https://www.msc.org/docs/default-source/default-document-library/about-the-msc/msc-annual-report-2018-2019.pdf> (octubre 2019).

Marine Stewardship Council (MSC). 2018a. SCS Global Services Report Marine Small Pelagics Fishery in Sonora, Gulf of California MSC Fishery Assessment Report Public Certification Report 2018. MSC. London, United Kingdom. <https://fisheries.msc.org/en/fisheries/small-pelagics-fishery-in-sonora-gulf-of-california/@@assessments> (abril 2019).

Marine Stewardship Council (MSC). 2018c. Fisheries Certification Process Version 2.1. London, United Kingdom. https://www.msc.org/docs/default-source/default-document-library/for-business/program-documents/fisheries-program-documents/msc-fisheries-certification-process-v2.1.pdf?sfvrsn=5c8c80bc_24 (octubre 2019).

Marine Stewardship Council (MSC). 2019. Track a Fishery. MSC. London, United Kingdom. <https://fisheries.msc.org/en/fisheries/> (septiembre 2019).

Martin, S.M., T.A. Cambridge, C. Grieve, F.M. Nimmo, D.J. Agnew. 2012. An Evaluation of Environmental Changes Within Fisheries Involved in the Marine Stewardship Council Certification Scheme. *Rev. Fish. Sci.* 20:61-69.

Martínez-Zavala, M.D.L.Á., M.O. Nevárez-Martínez, M.L. Anguiano-Carrasco, J.P. Santos Molina, Á.R. Godínez-Cota. 2010. Captura de peces pelágicos menores en el golfo de California, temporada de pesca 2007-2008. *Cienc. Pesq.* 18:5-18.

Matteson, D.S., N.A. James. 2014. A nonparametric approach for multiple change point analysis of multivariate data. *J. Am. Stat. Assoc.* 109:334-345.

Maunder, M.N., A.E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches. *Fish. Res.* 70:141-159.

McClatchie, S., I.L. Hendy, A.R. Thompson. Watson. 2017. Collapse and recovery of forage fish populations prior to commercial exploitation. *Geophys. Res. Lett.* 44:1877-1885.

Micheli, F., G. De Leo, G.G. Shester, R.G. Martone, S.E. Lluch-Cota, C. Butner, L.B. Crowder, R. Fujita, S. Gelcich, M. Jain, S.E. Lester, B. McCay, R. Pelc, A. Sáenz-Arroyo. 2014. A system-wide approach to supporting improvements in seafood production practices and outcomes. *Front. Ecol. Environ.* 12:297-305.

Nevárez-Martínez, M.O., M. Á. Martínez-Zavala, E.C. Coteró-Altamirano, M.L. Jacob-Cervantes, Y. Green-Ruiz, G. Gluyas-Millán, A. Cota-Villavicencio, P.J. Santos-Molina. 2006. La pesquería de peces Pelágicos Menores. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo*. Instituto Nacional de Pesca.

Nevárez-Martínez, M.O., M. Á. Martínez-Zavala, M.L. Jacob-Cervantes, E.C. Coteró-Altamirano, P.J. Santos-Molina, A. Valdez-Pelayo. 2014. Peces Pelágicos Menores. En: Beléndez, L. F.J., E. Espino, C. Galindo, M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos, E. Morales-Bojórquez (eds.). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México Evaluación y Manejo*. México, D.F. 463p.

Pauly, D., R. Hilborn, T.A. Branch. 2013. Does catch reflect abundance. *Nature*. 494:3-6.

R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.15.1.

Rodríguez-Sánchez, R., D. Lluch-Belda, H. Villalobos, S. Ortega-García. 2002. Dynamic geography of small pelagic fish populations in the California Current System on the regime time scale (1931-1997). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59:1980-1988.

Rykaczewski, R.R., D.M. Checkley. 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. *PNAS*. 105:1965-1970.

Sartimbul, A., R. Erfan, D. Yona, E. Yuli, A. Sambah, J. Arleston. 2016. Change in species composition and its implication on climate variation in Bali Strait: case study in 2006 and 2010. *Third International Conference on Fisheries and Aquaculture*. Negombo, Sri Lanka.

Schwartzlose, R., J. Alheit, A. Bakun, T.R. Baumgartner, R. Cloete, R.J.M. Crawford, W.J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, A.D. MacCall, Y. Matsuura, M.O. Nevárez-Martínez, R.H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K. V. Shust, M. N Ward, J. Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *Afr. J. Mar. Sci.* 21:289-347.

Silva, A., A. Moreno, I. Riveiro, B. Santos, C. Pita, J.G. Rodrigues, S. Villasante, L. Pavlowski, E. Duhamel. 2015. Sardine fisheries: resource assessment and social and economic situation. European Parliament, IP/B/PECH/IC/2015_133. 62p.

Stratoudakis, Y., P. Mcconney, J. Duncan, A. Ghofar, N. Gitonga, K.S. Mohamed, M. Samoilys, K. Symington, L. Bourillon. 2016. Fisheries certification in the developing world: Locks and keys or square pegs in round holes? *Fish. Res.* 182:39-49.

Takasuka, A., Y. Oozeki, H. Kubota, S.E. Lluch-Cota. 2008. Contrasting spawning temperature optima: Why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? *Prog. Oceanogr.* 77:225–232.

Takasuka, A., Y. Oozeki, I. Aoki. 2007. Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64:768-776.

van der Lingen, C.D., L. Hutchings, J.G. Field. 2006. Comparative trophodynamics of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela: are species alternations between small pelagic fish trophodynamically mediated? *Afr. J. Mar. Sci.* 28:465-477.

World Wildlife Fund for Nature (WWF). 2019. Peruvian Anchoveta Fishery Improvement Project. WWF, Morges, Switzerland. <https://www.wwf.org.au/what-we-do/food/wild-seafood/peruvian-anchoveta-fishery-improvement-project#gs.bppz8z> (octubre 2019).

Yatsu, A., A. Kawabata. 2017. Reconsidering Trans-Pacific “Synchrony” in Population Fluctuations of Sardines. *Bull. J. S. Fish. Oceanogr.* 81:271-283.

Yonashiro, C.A., N.A. Balbín. 2016. Documento de trabajo N 001-2016-DECHI - Las cuotas individuales transferibles en la pesquería Stock Norte -Centro de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*). Ministerio de la producción de Perú, despacho viceministerial de pesca y acuicultura. 37p.

Yukami, R., C. Watanabe, Y. Kamimura, S. Furuichi, T. Akamine, T. Kishida. 2017. Stock assessment and evaluation for the Pacific stock of Japanese sardine (fiscal year 2016). En: Marine fisheries stock assessment and evaluation for Japanese waters (fiscal year 2016/2017).

Zeeberg, J., A. Corten, P. Tjoe-Awie, J. Coca, B. Hamady. 2008. Climate modulates the effects of *Sardinella aurita* fisheries off Northwest Africa. *Fish. Res.* 89:65-75.

Zepeda, D. J. A., M. A. V. Rodarte, A. Gómez, M. J. R. Espinosa, A. T. Espinoza, D. A. L. López. 2019. Beneficios de las ecoetiquetas en pesquerías en vías de desarrollo, capítulo México. En: Ponce, D. G., F. L. Gonzáles. Gobernanza pesquera

México y España. Editorial Instituto Politécnico Nacional. Primera Edición. México, ciudad de México. pp 163-180.