

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Maestría en Ciencias  
en Ecología Marina**

---

**Modelación de la dinámica poblacional del stock norteño de la  
sardina Monterrey *Sardinops sagax caeruleus* para la  
evaluación de estrategias de manejo**

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Marianne Moreno Willerer**

Ensenada, Baja California, México  
2017

Tesis defendida por  
**Marianne Moreno Willerer**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dr. David Alberto Rivas Camargo**  
Codirector de tesis

---

**Dr. Michel Jules Dreyfus León**  
Codirector de tesis

---

**Dr. Jorge Adrián Rosales Casián**  
Sinodal

---

**Dr. Rodrigo Méndez Alonzo**  
Sinodal



---

**Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes**  
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Marianne Moreno Willerer** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

**Modelación de la dinámica poblacional del stock norteño de la sardina Monterrey *Sardinops sagax caeruleus* para la evaluación de estrategias de manejo**

Resumen aprobado por:

---

Dr. David Alberto Rivas Camargo  
Codirector de tesis

---

Dr. Michel Jules Dreyfus León  
Codirector de tesis

La sardina Monterrey es un recurso pesquero transfronterizo que comparten Canadá, EEUU y México y que actualmente se encuentra regulado bajo diferentes estrategias de manejo. La pesca del stock norteño de la sardina asociado a la corriente de California ha sufrido grandes cambios siguiendo los patrones ambientales y afectando a la pesquería de estos países. Sin embargo, mediante modelos que incluyan factores ambientales se puede inferir el comportamiento de la población de la sardina Monterrey para así poder adaptar las medidas de manejo a la variabilidad ambiental. Se utilizó como base la síntesis del stock obtenida de datos históricos de capturas y estimaciones poblacionales. El horizonte de modelación fue de 50 años y se realizaron 100 simulaciones para cada año. Se consideraron 3 escenarios ambientales “El Niño”, “La Niña” y “Reciente”, dos escenarios de pesca “Bajo” y “Alto”, y finalmente se simularon estos escenarios bajo las estrategias de manejo propuestas “Cuota” y “Talla Mínima”. Los resultados obtenidos indicaron que no existe una relación lineal Stock-Reclutamiento ( $r=0.045$ ,  $p=0.84$ ), pero sí existe una relación entre el índice SOI y los reclutas al siguiente semestre ( $r=0.61$ ,  $p=0.003$ ). Los resultados de las simulaciones de la población bajo las diferentes estrategias de manejo mostraron como resultado una mayor biomasa poblacional durante años tipo El Niño y un nivel de captura mayor cuando se utiliza la estrategia de Talla Mínima.

**Palabras clave:** Sardina Monterrey, stock norteño, estrategia de manejo, biomasa poblacional, variabilidad ambiental

Abstract of the thesis presented by **Marianne Moreno Willerer** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

**Modelling the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) population dynamics for evaluation of management strategies**

Abstract approved by:

---

Dr. David Alberto Rivas Camargo  
Thesis Co-director

---

Dr. Michel Jules Dreyfus León  
Thesis Co-director

Pacific Sardine is a transnational fishing resource shared by Canada, USA and Mexico, and it is currently being regulated under different management strategies. The northern sardine stock fishery associated to the California Current has suffered great changes following the environmental patterns, affecting these countries. However, using models that include environmental factors it can be inferred the population's behaviour of the Pacific Sardine to be able to adapt the management strategies to the environmental variability. This work is based on the historic landings and population estimation data from the stock synthesis. The modeling horizon is 50 years with 100 simulations per year and we considered 3 environmental scenarios called here "El Niño", "La Niña" and "Reciente", also 2 fishing scenarios were considered "Bajo" (Low) and "Alto" (High). Finally, we modelled these scenarios under the 2 management strategies "Cuota" (Allowable Catch) and "Talla Mínima" (Minimum length). The results show no lineal Stock-Recruitment relationship ( $r=0.045$ ,  $p=0.84$ ) and a strong linear relationship between the SOI index and Recruitment from the following semester ( $r=0.61$ ,  $p=0.003$ ). The simulation results of the sardine population under the 2 management strategies pointed out a higher population biomass during El Niño type of years and the highest Harvest levels with the Minimum length strategy.

**Keywords:** Pacific Sardine, northern stock, management strategy, population biomass, environmental variability

## Dedicatoria

*Dedico esta Tesis a mi familia,  
especialmente a mis padres a quienes les debo tanto.*

## Agradecimientos

Al **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)**, por otorgarme la oportunidad de crecer académicamente en esta institución.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por el apoyo económico otorgado a través del programa de becas de maestría a través del No. Becario 339305

A mis codirectores **Dr. David Alberto Rivas Camargo** y **Dr. Michel Joules Dreyfus León** por su tiempo, apoyo, dedicación, ánimo, por guiarme a lo largo del estudio, por sus consejos y por su sincera amistad.

A los miembros del comité el **Dr. Jorge Adrián Rosales Casián** y el **Dr. Rodrigo Méndez Alonzo**, por su tiempo, comentarios y consejos que contribuyeron tanto a mi formación profesional como al desarrollo del trabajo.

Al **Dr. Kevin Hill** por proporcionar los datos para este trabajo.

A los **profesores** de maestría por compartirme sus conocimientos.

Al **personal del CICESE** principalmente a **Ely Farías** por su ayuda con los trámites, por tener siempre una solución para cualquier asunto y por sus consejos.

A mis **compañeros de maestría** por sus ánimos y consejos: **Aby, Anahí, Cecy, Daisy, Eli, Ivonne, Jocelyn, Karina, Laura, Manet, Zuri, Lubi y Pepe.**

A los compañeros del CICESE por su apoyo, consejos y clases personalizadas, **Panchito, Anahí, Zuri, Carlos, Abel y Aby**

A mis amigos por sus buenas vibras: **Laura, Gonzalo, Amparo, Fulli, Jorge, Tati, Munky, Richar, Nanis, Negro, Mary Carmen, Ricardo, Leila, Emilio** y a todos con los que he compartido esta experiencia.

A mis **compañeros y profesores de la universidad** por darme las bases para llegar a donde estoy y por muchas historias que solo se viven una vez.

A mis **padres y hermano** por su apoyo incondicional.

A mis abuelos **Tita, Alfred y Mimi** por su apoyo y por echarme porras.

A mis **primos, primas, tíos y tías** por sus consejos y apoyo.

A mi **familia de Tijuana, a mi suegra, a las tías, Israel y Lorena** por su apoyo y consejos.

A mi **esposo Aarón** por apoyarme siempre, por ser un ejemplo a seguir y por compartir conmigo esa pasión por el océano.

## Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	x
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	
1.1. Antecedentes .....	3
1.1.1 Modelo poblacional .....	3
1.1.2 Estructura poblacional .....	4
1.1.3 Relación Stock-reclutamiento .....	4
1.1.4 Relación variabilidad ambiental- reclutamiento .....	5
1.1.5 Estrategias de manejo .....	6
1.2. Justificación .....	7
1.3. Hipótesis .....	8
1.4. Objetivos .....	8
<b>Capítulo 2. Metodología</b>	
2.1 Base de datos .....	9
2.2 Modelos .....	10
2.2.1 Modelo Poblacional. ....	10
2.2.2 Regresiones Lineales. ....	14
2.3 Variables ambientales. ....	15
2.4 Estrategias y escenarios de manejo .....	22
<b>Capítulo 3. Resultados</b>	
3.1 Relación Stock-reclutamiento.....	26

3.2	Relación variabilidad ambiental -reclutamiento.....	28
3.3	Escenarios de manejo.....	32
3.3.1	Escenario Nivel de pesca BAJO.....	32
3.3.2	Escenario: Nivel de pesca ALTO.....	37
<b>Capítulo 4. Discusión</b>		
4.1	Relación Stock-Reclutamiento.....	42
4.2	Relación variabilidad ambiental-reclutamiento.....	42
4.3	Estrategias de manejo.....	44
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b>		
<b>Literatura citada.....</b>		49
<b>Glosario. ....</b>		53
<b>Anexos. ....</b>		54

## Lista de figuras

Figura		Página
1	Distribución de la sardina Monterrey en el Pacífico (línea punteada). Zonas principales de reproducción (líneas negras), zonas de crianza (área gris) y localidades principales de la pesquería anteriores a 1950 (área negra).....	2
2	Biomasa poblacional (t) por edades al comienzo de cada semestre (S1=jul-dic, S2=ene-jun) (1993-2015) obtenida de la base de datos otorgados por Hill, 2015 (NOAA). .....	9
3	Frecuencia relativa de biomasa de reclutas obtenida de la base de datos otorgados por Hill, 2015 (NOAA). .....	13
4	Frecuencia relativa de la biomasa de capturas de 1993 a 2014 (N=21) obtenida de los datos proporcionados por Hill (2015). .....	13
5	Promedios semestrales (enero-junio) del índice MEI ( <i>Multivariate ENSO Index</i> ) para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris).....	16
6	Promedios semestrales de anomalías (enero-junio) del índice NPGO- <i>North Pacific Gyre Oscillation</i> para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris)....	17
7	Promedios semestrales de anomalías (enero-junio) del índice de El Niño Océanico (ONI) y promedios anuales (línea gris). .....	18
8	Promedios semestrales (enero-junio) del índice PDO- <i>Pacific Decadal Oscillation</i> para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). .....	19
9	Promedios semestrales (enero-junio) del índice SOI- <i>Southern Oscillation index</i> para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). .....	20
10	Promedios semestrales (enero-junio) del Índice de surgencias para el período de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). .....	21
11	Estrategias de manejo. ....	22
12	Escenarios ambientales. ....	22
13	Escenarios de pesca. ....	24
14	Biomasa de adultos (edad 1-15) contra biomasa de reclutas (edad 0). .....	27
15	Promedios semestrales (enero-julio) del índice SOI (1994-2014), anomalías de El Niño (línea puntada roja) y La Niña (línea punteada azul), y biomasa de reclutas (línea negra).....	30
16	Anomalías anuales del SOI para el período 1866-2011, promedios decadales (línea punteada), periodo para años Niño (zona roja) y periodo para años Niña (zona azul). Las áreas de color azul representan los episodios escogidos para representar a los años La Niña (1957-1979) y las áreas de color rojo representan los episodios El Niño (1980-2002). .....	31
17	Predicciones de valores del SOI bajo los criterios de años Reciente, La Niña y El Niño.....	31

18	Dispersión de datos del escenario ambiental I-NIVEL DE PESCA BAJO. ....	33
19	Dispersión de datos del escenario ambiental II-NIVEL DE PESCA BAJO. ....	34
20	Dispersión de datos del escenario ambiental III-NIVEL DE PESCA BAJO. ....	34
21	Comparación de la biomasa poblacional y capturas con NIVEL DE PESCA BAJO. ....	36
22	Dispersión de datos del escenario ambiental I-NIVEL DE PESCA ALTO. ....	38
23	Dispersión de datos del escenario ambiental II-NIVEL DE PESCA ALTO. ....	38
24	Dispersión de datos del escenario ambiental III-NIVEL DE PESCA ALTO. ....	39
25	Comparación de la biomasa poblacional y capturas con NIVEL DE PESCA ALTO.....	41

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Relación Stock-Reclutamiento (S-R) utilizado en diversos trabajos. ....	5
2	Valores de mortalidad natural descrita por diversos autores para la especie de <i>S.sagax</i> en el Pacífico y Golfo de California. ....	12
3	Tabla de vida para el stock norteño de la sardina Monterrey <i>S. sagax</i> . ....	12
4	Valoración de los escenarios para la estrategia de manejo CUOTA. ....	25
5	Resultados de correlaciones de edades y biomasa de reclutas. ....	27
6	Resultados de la regresión multivariada para los índices ambientales (N=21) (r=0.74, r <sup>2</sup> =0.55, valor p=0.05). ....	28
7	Resultados de la regresión simple de los índices ambientales SOI, MEI y PDO. ....	28
8	Regresión simple del índice SOI y la biomasa de reclutas.	28
9	Promedios de biomasa poblacional y capturas para el escenario de NIVEL DE PESCA BAJO. ....	35
10	Promedios de biomasa poblacional y capturas para el escenario de NIVEL DE PESCA ALTO. ....	40

## Capítulo 1. Introducción

---

La sardina Monterrey (*Sardinops sagax caeruleus*), conocida también como sardina del Pacífico, forma parte de la pesquería de pelágicos menores. Es un recurso pesquero transfronterizo de pelágicos menores que comparten México, Canadá y los Estados Unidos de América en la zona del Pacífico Central-Oriental (FAO, 2016) y está asociado al sistema de la Corriente de California (Vidal Talamantes, 1985; Bergen et al., 2001; CEP, 2015). En los años 30s la pesquería de la sardina fue la más grande en el Pacífico Oriental, pero colapsó dos décadas después en los años 50s (Radovich, 1982). De 1974 a 1986 se implementó una moratoria en EEUU a la pesca debido a los bajos niveles de biomasa y para la década de los noventa tanto las capturas como la población incrementaron (Wolf, 1992; Smith y Moser, 2003; Zwolinski, 2011).

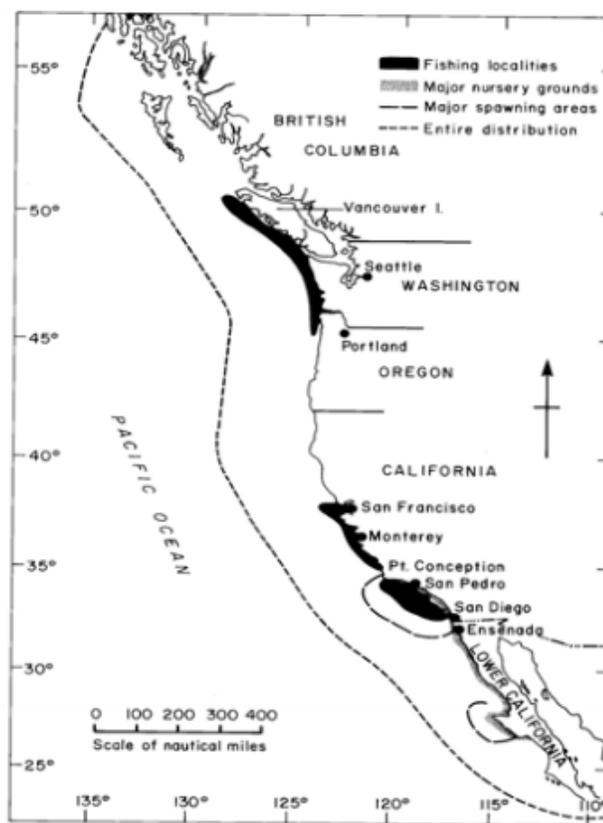
El mercado en México exporta sardina fresca preparada y congelada a la Unión Europea, Asia y EUA e importa sardina fresca congelada o como harina. En la actualidad 2/3 partes se comercializan como conserva o fresco congelado para la producción de Baja California como forraje de ranchos atuneros (INAPESCA, 2006; CEP, 2015). Durante el período 2005-2010 la producción de pelágicos menores estuvo dominado por la sardina Monterrey con volúmenes medios de captura de 55,115 toneladas anuales y representando el 93% de la captura total de la flota de pelágicos menores de B.C. (CEP, 2015), y en el caso de Ensenada la sardina Monterrey aportó el 75% de las capturas (DOF, 2012).

La sardina capturada por EUA es exportada principalmente a Japón para consumo humano y para carnada de pesquerías palangreras y a Australia para forrajeo de Ranchos de Atún aleta azul. En el período de 2000 a 2013 se tuvo un promedio de capturas anuales de 42,283 toneladas por las flotas comerciales de California en EUA (<https://www.wildlife.ca.gov/Conservation/Marine/CPS-HMS/Pacific-Sardine/Pacific-Sardine-Landing>, visitado septiembre 2016).

Las normas de manejo de este recurso varían en cada país. En México se encuentra regulado por la NOM-003-PESC-93 (DOF, 1993) que establece una talla mínima de longitud patrón (LP) de 150 mm, mientras que en EUA está regulada por el Consejo de Administración de Pesquerías del Pacífico (PFMC, Pacific Fishery Management Council) que establece pautas de capturas basadas en evaluaciones anuales de la sardina, las cuales se describen en el memorándum técnico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) (Hill *et al.*, 2015).

La sardina Monterrey se distribuye en el Pacífico oriental desde el Golfo de California hasta Columbia Británica, Canadá (**Figura 1**). Se puede encontrar hasta 300 millas náuticas fuera de costa y a

profundidades de hasta 50 metros. El stock norteño identificado por Félix-Uraga et al. (2004) se distribuye desde el norte de México hasta Canadá, con una distribución más hacia el norte en verano y hacia el sur en otoño; la duración y extensión son complejos y se ven afectados por factores oceanográficos. Se considera subpoblación o stock norteño ya que presenta un patrón de distribución de acuerdo a la temperatura que es diferente al stock del sur o al stock del Golfo de California, además de tener diferentes temporadas reproductivas en diferentes lugares. De acuerdo con Félix-Uraga et al. (2004), existen dos requerimientos para la explotación de varias subpoblaciones (stocks), que son: determinar la estructura de la población y que la pesquería debe ser regulada individualmente. De acuerdo con la definición de Marr (1957), un stock es la porción de una población que actualmente está siendo explotada. Ya que un stock de peces, denominado así en las pesquerías, puede comprender más de una subpoblación, se requiere identificar las subpoblaciones existentes para el manejo de un stock específico (Félix-Uraga, 2005).



**Figura 1.** Distribución de la sardina Monterrey en el Pacífico (línea punteada). Zonas principales de reproducción (líneas negras), zonas de crianza (área gris) y localidades principales de la pesquería anteriores a 1950 (área negra).

(Imagen: Stock Status Report 2004/037, Fisheries and Oceans, Canadá. [http://www.dfo.mpo.gc.ca/csas/Csas/status/2004/SSR2004\\_037\\_e.pdf](http://www.dfo.mpo.gc.ca/csas/Csas/status/2004/SSR2004_037_e.pdf), Visitado septiembre 2016 )

Los dos grandes factores que inciden en la sardina son el impacto de la pesca y el del ambiente. El primero se puede controlar por medio de normas de manejo, sin embargo el ambiente no es controlable aunque sí predecible. En teoría las predicciones pueden detallar si un evento El Niño será fuerte o débil, su duración y cuándo se espera que suceda; sin embargo nunca serán exactas ya que es un sistema océano-atmósfera bastante complejo. De acuerdo con Wyrтки et al. (1976), la ocurrencia de un evento tipo El Niño se relaciona con la oscilación del sur manifestada en la diferencia de la presión atmosférica al nivel del mar entre la Isla de Pascua y Darwin, Australia. Esta fluctuación en la presión se utiliza como un índice para representar la oscilación del sur y como Quinn (1974) lo describe, El Niño precede a estas fluctuaciones en aproximadamente 1 año.

Debido a la situación de un recurso compartido con diferentes normas de manejo y que se ve afectado a su vez por la variabilidad ambiental, resulta especialmente importante conocer la estructura y dinámica del stock, con objeto de manejar adecuadamente la pesquería. En esta tesis se pretende conocer acerca del comportamiento dinámico de la biomasa de la sardina Monterrey. Esta información puede complementarse con las normas de manejo futuras para una óptima explotación del recurso.

## **1.1 Antecedentes**

### **1.1.1 Modelo poblacional**

Para complementar el conocimiento y proveer una base para el manejo de las pesquerías, Keyl y Wolff (2008) clasificaron un conjunto de modelos poblacionales utilizados mundialmente sujetos a diferentes escenarios de explotación. Para el caso de la sardina se han utilizado modelos de producción excedente por Fréon y Yáñez (1995) y Yáñez et al. (2001), modelos generales aditivos por Jacobson y MacCall (1995), Daskalov (1999) y Daskalov et al. (2003); modelos estructurados por Cisneros-Mata et al. (1996); y Suda y Kishida (2003). Cada modelo tiene sus limitaciones, por lo que se han desarrollado modelos combinados que consideran factores endógenos y exógenos e incluso factores socioeconómicos dentro de un mismo modelo. Un ejemplo es el modelo logístico discreto con capturas discretas utilizado por Haddon (2001), en el cual la población fue manejada con base en un punto de referencia ecológico ( $B_{min}$ ) y otro socioeconómico ( $Y_{min}$ ). El punto de referencia  $Y_{min}$  es la captura mínima necesaria para que la pesquería pueda seguir funcionando y  $B_{min}$  está asociado a la mínima biomasa necesaria para que la población pueda sobrevivir en condiciones naturales.

### **1.1.2 Estructura poblacional**

Keyl y Wolff (2008) mencionan que uno de los resultados más comunes debido a la explotación de recursos marinos es el cambio en la estructura de edades de los stocks. De igual forma, Emmett et al. (2005) encontraron que la captura por la flota de EUA de la sardina Monterrey tuvo una distribución de edades de 1 a 12 años, con la mayoría de individuos entre los 3 y los 5 años. En el periodo de 1999-2002 la captura fue principalmente de individuos entre 2 y 5 años de edad y para el año 2003, la captura se centró en individuos más viejos (5-6 años). En el mismo trabajo se menciona que la sardina capturada durante 1998 presentó tallas mayores hacia el norte de su rango de distribución.

En el Plan de Manejo Pesquero para la Pesquería de Pelágicos Menores (DOF, 2012) se reconocen tres zonas principales de pesca de la sardina Monterrey, las cuales son Ensenada, Golfo de California y Bahía Magdalena. En estas 3 zonas las características biológicas de la sardina varían en cuanto a longitud patrón promedio, temporada reproductiva y fecundidad promedio, sin embargo para las tres zonas se reportó una edad máxima de 7 años (DOF, 2012). En un estudio previo, Félix-Uraga et al. (2007) mencionan que la estructura de edad de la sardina en las zonas de pesca mencionadas estuvieron integradas principalmente por individuos de edad 2 para la década de los 80's y para la década de los 90's predominaron los individuos de edad 1. Además encontraron que la sardina en Bahía Magdalena presentó una tasa de crecimiento mayor que la sardina del stock de Ensenada.

### **1.1.3 Relación Stock-Reclutamiento**

La relación entre la biomasa reproductora y el número de reclutas ha sido dudosa para especies de peces y poblaciones de invertebrados (Koslow, 1992; Iles y Beverton, 1998; Keyl y Wolff, 2008), sin embargo se ha incluido en diversos modelos para la sardina Monterrey. Se han utilizado modelos de Stock-Reclutamiento como el modelo de Ricker, Beverton-Holt o modelos lineales (Chen y Paloheimo, 1995).

Morales-Bojórquez (1996) comprobó a través de un modelo lineal múltiple que el stock no tuvo influencia estadística en el reclutamiento de la sardina Monterrey en Bahía Magdalena e Isla Cedros (B.C.S). Por otra parte, Hill et al. (2015) utilizan el modelo de Ricker para estimar la relación stock-reclutamiento para la sardina Monterrey en EUA ya que anteriormente utilizaban el modelo de Beverton-Holt.

**Tabla I.** Relación Stock-Reclutamiento (S-R) utilizado en diversos trabajos.

Relación Stock-Reclutas	Autores
No hay relación S-R	Clark y Marr, 1955; Murphy, 1966; MacCall, 1979
Ricker	Hill <i>et al.</i> , 2010
Beverton-Holt	Hill <i>et al.</i> , 2015
No hay relación S-R (Bahía Magdalena)	Morales Bojórquez, 1996

#### 1.1.4 Relación ambiental y reclutamiento

Variaciones climáticas de gran escala del océano y atmósfera como los eventos El Niño y La Niña, son caracterizados por cambios significativos en la temperatura superficial del mar, el nivel del mar y otras condiciones ambientales en el Pacífico sur-este en períodos mensuales (Paeth *et al.*, 2003; Keyl y Wolff, 2008). Se ha descrito que especies de peces no sólo responden de diferentes maneras a cambios ambientales sino que también las poblaciones de la misma especie responden de diferente forma en diferentes localidades (Skud, 1982; Alheit y Bernal, 1993; Francis *et al.*, 1998; Hare y Mantua, 2000; Alheit y Ñiquen, 2004; Keyl y Wolff, 2008) así como las diferentes clases de edades de una población (Coulson *et al.*, 2001; Ottersen *et al.*, 2006; Keyl y Wolff, 2008).

En cuanto al stock norteño de la sardina Monterrey *S. sagax*, Emmett *et al.* (2005) encontraron que para los años 2003 y 2004 la temperatura superficial del mar aumentó (>12°C) y con ella el reclutamiento, lo que años anteriores no se había observado ya que se habían capturado pocos organismos de edad 0 (reclutas). En el trabajo mencionado se encontró que durante el año El Niño de 1998 las densidades de la sardina resultaron relativamente altas, y para los años 1999 y 2000 se encontraron las densidades más bajas (captura nula). Hammann *et al.* (1988) sugirieron un mecanismo de variación interanual de reclutamiento relacionado con ENSO para el stock de sardina Monterrey en el Golfo de California, y en estudios más recientes se han utilizado modelos multivariados para determinar cómo afecta el ambiente a esta especie. En el caso de estudio de Deyle *et al.* (2013) se utilizó el método de reconstrucción espacial multivariada (SSR) por sus siglas en inglés, con varios indicadores ambientales como son los índices PDO (Oscilación decadal del Pacífico), NPGO (Oscilación del giro del Pacífico Norte), SCB (Temperatura Satelital Superficial del mar de la Cuenca del Sur de California), NPI (Índice del Pacífico Norte), SST (Temperatura Superficial del mar, muelle Newport) y SOI (Índice de oscilación del Sur). Estos índices se consideran relevantes para la dinámica de la población de la sardina, de los cuales sólo el PDO resultó significativo ( $P < 0.05$ ), y SST, NPI y SOI tuvieron un efecto negativo en la predicción. En un estudio

similar, Lindegren y Checkley (2012) demostraron que la temperatura superficial del mar es un mejor predictor que la temperatura registrada en el muelle del Instituto Oceanográfico Scripps (La Jolla, California) utilizada anteriormente en la norma de manejo de EEUU, y además explica significativamente la variabilidad en el reclutamiento de la sardina Monterrey. Morales-Bojórquez (1996) analizó la dinámica poblacional de la sardina Monterrey de Bahía Magdalena e Isla Cedros y encontró una mayor relación del reclutamiento con el Índice de surgencia durante el verano en esa zona geográfica, así como con la temperatura superficial durante los meses de primavera y verano.

Deyle et al. (2013) en un análisis exploratorio multivariado explican la compleja dinámica de las poblaciones de la sardina y el forzamiento ambiental para predecir la abundancia respecto a la temperatura en un periodo de tiempo y bajo diversos escenarios ambientales. Wyrтки et al. (1976) lograron predecir un evento de El Niño débil a través de un estudio del SOI en las costas del Ecuador. En estudios más recientes se han aplicado modelos océano-atmósfera con observaciones de anomalías de la temperatura superficial del mar; Oberhuber et al. (1998) y colaboradores realizaron experimentos de mediciones en 1997, los cuales lograron predecir la evolución del evento La Niña de 1998, aunque la amplitud del evento estuvo ligeramente subestimada.

### **1.1.5 Estrategias de manejo**

La secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, a través del Plan de Manejo Pesquero para la Pesquería de Pelágicos Menores (sardinias, anchovetas, macarela y afines) del Noroeste de México, evalúa la biomasa y el reclutamiento y busca reducir los impactos de las interacciones ambientales en los recursos pesqueros. La sardina Monterrey se encuentra catalogada bajo la categoría de manejo activo, la cual busca aprovechar los recursos pesqueros de la manera más eficiente y efectiva bajo la NOM-003-PESC-93 (DOF, 1993), la cual establece una talla mínima de longitud patrón (LP) de 150mm. El esfuerzo pesquero sólo está permitido en las aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico comprendidas al norte de la latitud 20°N, incluido el Golfo de California, y por embarcaciones autorizadas, con sistemas adecuados de refrigeración y que se encuentren activas (CEP, 2015). Se presentan además bajo esta norma restricciones espaciales y vedas, las cuales indican que las embarcaciones que no dispongan sistemas de refrigeración sólo podrán operar en un radio de 40 millas náuticas desde el puerto de operaciones; y cuando se detecte que la mayor proporción de los organismos muestreados por INAPESCA se encuentren en proceso de desove, se podrán ordenar vedas temporales de sardina y anchoveta.

La sardina Monterrey se encuentra regulada en EUA por el Consejo de Administración de Pesquerías del Pacífico (PFMC, Pacific Fishery Management Council), el cual realiza estimaciones anuales de abundancia, reclutamiento, clases de edades y composición de tallas, basadas en un modelo de evaluación del recurso (*SS, Stock Synthesis*) donde se integran datos de capturas comerciales y de inspecciones científicas (Hill, 2010). La evaluación se realiza en otoño y presenta una biomasa predeterminada pre-temporada de edad 1+, la cual representa la biomasa disponible para el próximo mes de julio. La regla de control de captura total anual (CTA) está conformada por la regla de control de captura (RCC) que consiste en el producto de tres términos: 1) LÍMITE, 2) DISTRIBUCIÓN y 3) FRACCIÓN. El término LÍMITE (L) es un estimado de la biomasa de edad 1 a 15 menos una biomasa límite de 150,000 t. El término DISTRIBUCIÓN (D) representa a la proporción de la biomasa de la sardina que se encuentra en promedio en la zona marítima de EEUU y está basado en observaciones históricas, cuya intención es variar junto con las mediciones de la temperatura superficial del muelle de Scripps. El término FRACCIÓN (FR) representa la proporción de la biomasa capturable del stock y que en años recientes ha sido de 15%, pero puede variar entre 5% y 20%.

En EUA, la captura total anual (CTA) se calcula como:

$$CTA = (BIOMASA-L) * D * FR \quad (1)$$

## 1.2 Justificación

Con la creciente demanda de productos marinos se ha buscado entender más a fondo los procesos que gobiernan la dinámica de los stocks de peces y así poder predecir niveles sustentables de explotación para tener adecuado manejo del producto. Se han desarrollado modelos para predecir las capturas tomando en cuenta factores biológicos, económicos, sociales y ambientales, sin embargo han sido pobres las predicciones de las fluctuaciones naturales de los stocks, teniendo como resultado falsas estimaciones de la disponibilidad del producto y contribuyendo al deterioro de varios stocks marinos. Por otra parte, los recursos explotados por más de un país y por más de una norma de manejo son más susceptibles a estar sobre o subestimados, por lo que para recursos transfronterizos como el caso del stock norteño de la sardina Monterrey es necesario explorar todas las opciones de manejo tomando en cuenta la variabilidad ambiental con el fin de diseñar medidas dinámicas para regular su explotación.

### 1.3 Hipótesis

- I. Existe una relación entre la biomasa de reclutas (edad 0) y la biomasa de adultos (edad 1+).
- II. Existe una relación de la biomasa de reclutas con una o más variables ambientales.
- III. La estrategia de manejo CUOTA basada en la Captura Total Anual (CTA) favorece la preservación de biomasa del stock.

### 1.4 Objetivos

#### General

Comparar diversas estrategias de manejo para la pesquería de la sardina Monterrey *Sardinops sagax caeruleus* a través de un modelo poblacional estructurado por edades considerando el efecto de la variabilidad ambiental.

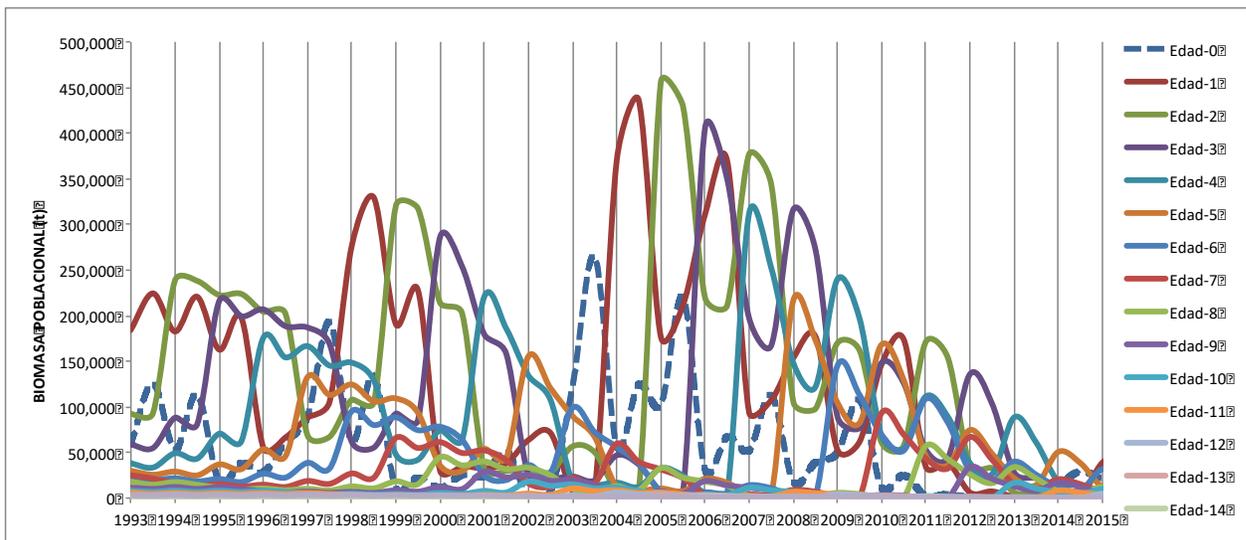
#### Particulares

- Determinar la composición de tallas y edades de la sardina Monterrey.
- Determinar la relación de la biomasa de reclutas de sardinas de edad 0 con el stock adulto.
- Determinar la relación de la biomasa de reclutas de sardina con variables ambientales.
- Establecer una ecuación ajustada para la población de sardina que incorpore la variabilidad ambiental y la relación Stock-Reclutamiento.
- Comparar la dinámica poblacional de la sardina bajo las estrategias de manejo propuestas y bajo diversos escenarios ambientales.

## Capítulo 2. Metodología

### 2.1 Base de datos

En el presente trabajo se utilizó la base de datos proporcionada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) en la cual se estima la población por edad en número de individuos y en biomasa (toneladas) del periodo 1993-2014, así como la biomasa de capturas (**Figura 2**) para el mismo período. Los datos se encuentran divididos en dos semestres en donde se define un año a partir del mes de julio a junio del año siguiente. El primer semestre (S1) parte del mes de julio al mes de diciembre y el segundo semestre (S2) parte de enero a junio del año posterior al S1 p.ej. el año modelo 1998 parte de julio 1998 a julio 1999. Para la primera temporada (S1) se supone como la fecha de nacimientos es el 1ro de julio.



**Figura 2.** Biomasa poblacional (t) por edades al comienzo de cada semestre (S1=jul-dic, S2=ene-jun) (1993-2015) obtenida de la base de datos otorgados por Hill, 2015 (NOAA).

Con la misma base de datos se obtuvo la frecuencia relativa de la biomasa de reclutas (**Figura 3**) y la frecuencia relativa de las capturas (toneladas) (**Figura 4**). Además se obtuvieron las curvas de crecimiento von Bertalanffy (**Anexo 1**) y la curva longitud-peso (**Anexo 2**) para conocer la edad y peso cuando la sardina tiene una longitud patrón de 150mm.

## 2.2 Modelos

### 2.2.1 Modelo Poblacional

El objetivo de un modelo de dinámica poblacional es describir los cambios del tamaño de una población a través del tiempo. El presente trabajo propone estudiar la evolución de la biomasa total del stock mediante un modelo dinámico poblacional estructurado por edades, considerando al stock norteño de *S. sagax* como una población cerrada sin inmigración ni migración. Como ganancia de biomasa se consideran al crecimiento y al reclutamiento de nuevos organismos, y por otra parte se tiene la pérdida de biomasa por la muerte natural y por la pesca.

Se parte de una ecuación general de crecimiento poblacional discreto basada en el principio del modelo de Leslie (Bueno y Arjona, 2005), con la diferencia de que se consideran tanto machos como hembras y no se trabaja con la fecundidad pero sí con el reclutamiento. Siguiendo este principio se contempla la evolución de las clases de edades y se parte de la ecuación de crecimiento poblacional.

Ecuación de crecimiento poblacional:

$$N_{\Sigma x,t} = N_{0,t} + N_{1,t} + \dots + N_{i,t} \quad (2)$$

donde:

x=edad,

t=año,

$N_{0,t}$  = Reclutas (toneladas),

$\Sigma N_{i,t}$  = Adultos;  $i = 1, \dots, 15$  (toneladas).

Los reclutas ( $N_{0,t}$ ) se consideran en este trabajo como la biomasa de organismos de edad 0 y que ya se encuentran dentro de la biomasa pescable del stock.

Para el caso particular de los escenarios que no toman en cuenta la variabilidad ambiental se calculó la biomasa de reclutas para cada año con el método de Monte Carlo (Gómez-Cadenas, J.J. 2005), obtenida de 100 números al azar con la probabilidad de la biomasa de reclutas obtenida de la distribución de frecuencias de reclutamiento (**Figura 3**).

Ecuación de reclutas sin variabilidad ambiental:

$$N_{0,t} = N_{0,0} * C_x * e^{(-M_x - F_0)}, \quad (3)$$

donde:

$N_{0,0}$  = Reclutas nuevos, calculado con método Monte Carlo y frecuencia relativa de reclutamiento observado en el período (1993-2014).

Para las estrategias que si toman en cuenta la variabilidad ambiental se estimaron los reclutas con la ecuación de reclutas con variabilidad ambiental:

$$N_{0,t} = Y * C_x * e^{-M_x - F_x}, \quad (3.1)$$

donde:

**Y** = obtenido de la regresión simple de reclutamiento-ambiente (**Ec. 8**).

**C<sub>x</sub>** Tasa de crecimiento (**Tabla III**)

$$C_{xi} = N_{xi+1} / N_{xi}$$

**M<sub>x</sub>** Mortalidad natural (**Tabla II**) (Hill *et al.*, 2015; Zwolinski y Demer, 2013), seleccionado debido a que es la estimación más reciente y porque corresponde específicamente al stock norteño.

$$M_x = 0.52, \text{ para todas las edades.}$$

**F<sub>x</sub>** Mortalidad por pesca (t)

$$F_{xi} = \text{PESCA}_{\text{CUOTA}} * (N_{xi} / N_{\Sigma x})$$

$$F_{xi} = \text{PESCA}_{\text{TALLA}} * (N_{xi} / N_{\Sigma x})$$

donde:

**PESCA**=biomasa capturable de acuerdo a la estrategia establecida (CUOTA o TALLA)

**N<sub>xi</sub>/N<sub>Σx</sub>** =proporción de cada edad

La biomasa de adultos ( $\Sigma N_{i,t}$ ) se estima como la sumatoria de las edades 1 a 15, donde la biomasa de cada edad se estimó mediante la ecuación (**Ec. 4**) y la biomasa para la edad 15 se estimó mediante la ecuación (**Ec. 4.1**) ya que es la última edad y no presenta crecimiento.

$$N_{xi,t} = N_{x-1,t-1} * C_x * e^{-M_x - F_{x-1}}, \quad (4)$$

$$N_{15,t} = N_{x-1,t} * e^{-M_x - F_{x-1}}, \quad (4.1)$$

donde:

**N<sub>xi,t</sub>** Sobrevivientes de la clase anterior (xi-1) y año anterior (t-1)

**C<sub>x</sub>** Tasa de crecimiento (**Tabla III**)

**M<sub>x</sub>** Mortalidad natural (**Tabla II**) (Hill *et al.*, 2015; Zwolinski y Demer, 2013)

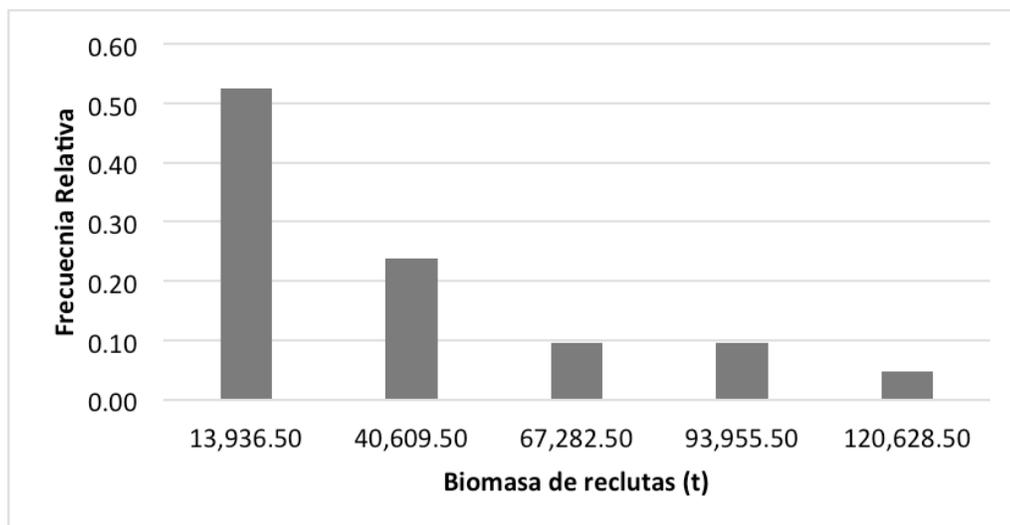
**F<sub>x</sub>** Mortalidad por pesca (t)

**Tabla II.** Valores de mortalidad natural descrita por diversos autores para la especie de *S. sagax* en el Pacífico y Golfo de California.

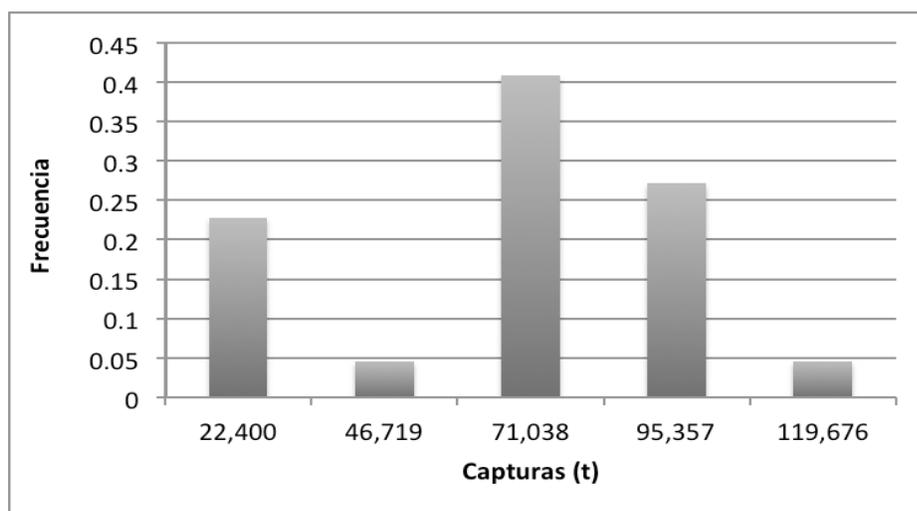
<b>Mortalidad natural (Mx)</b>	<b>Autores</b>
$M_x=0.51 \text{ año}^{-1}$	Clark y Marr, 1955.
$M_x=0.80 \text{ año}^{-1}$	Murphy, 1966.
$M_x=0.4 \text{ año}^{-1}$	Murphy, 1966; MacCall, 1979.
$M_x=0.49 \text{ año}^{-1}$	Estrada-García et al., 1986.
$M_x=1.10 \text{ año}^{-1}$	Cisneros-Mata et al., 1989.
$M_x=0.77 \text{ año}^{-1}$	Cisneros-Mata et al., 1991.
$M_x=0.4 \text{ año}^{-1}$	Smith et al., 1992.
$M_x=0.58 \text{ año}^{-1}$	Nevárez-Martínez et al., 1993.
$M_x=0.63 \text{ año}^{-1}$	Cisneros-Mata et al., 1997.
$M_x=0.6 \text{ año}^{-1}$	Morales-Bojórquez et al., 2003.
$M_x=0.52 \text{ año}^{-1}$	Zwolinski y Demer, 2013; Hill et al. 2015.

**Tabla III.** Tabla de vida para el stock norteño de la sardina Monterrey *S. sagax*.

<b>Edad</b>	<b>Mortalidad natural Mx</b>	<b>Peso al comienzo de temporada (Kg)</b>	<b>Tasa de crecimiento Cx</b>
0	0.52	0.01	4.70
1	0.52	0.04	1.99
2	0.52	0.07	1.47
3	0.52	0.11	1.26
4	0.52	0.14	1.15
5	0.52	0.16	1.09
6	0.52	0.17	1.06
7	0.52	0.18	1.04
8	0.52	0.19	1.02
9	0.52	0.19	1.02
10	0.52	0.20	1.01
11	0.52	0.20	1.01
12	0.52	0.20	1.00
13	0.52	0.20	1.00
14	0.52	0.20	1.00
15	0.52	0.20	



**Figura 3.** Frecuencia relativa de biomasa de reclutas para el período 1994-2014 de la sardina distribuida en EUA, obtenida de la base de datos otorgados por Hill, 2015 (NOAA).



**Figura 4.** Frecuencia relativa de la biomasa de capturas del período 1993-2014 (N=21) de la flota de EUA, obtenida de los datos proporcionados por Hill (2015).

### 2.2.2 Regresiones lineales

El análisis de regresión lineal permite estudiar la relación entre una variable predictora ( $X_i$ ) y una variable dependiente ( $Y_i$ ) (regresión simple) o entre dos o más variables predictoras ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ ) (regresión múltiple o multivariada). El análisis de regresión lineal se utiliza para cuantificar la relación entre variables, así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos. Una medida de la relación lineal que hay entre las variables  $X$  y  $Y$  es el coeficiente de correlación ( $r$ ), ya que si  $r$  es significativo (distinto de 0) se tiene una relación positiva ( $>0$ ) o negativa ( $<0$ ). Teniendo una relación aproximada a la lineal, se puede explicar en qué medida afecta la variable  $X$  a la variable  $Y$ , para esto se utiliza el coeficiente de determinación  $r^2$ , el cual se suele expresar en porcentaje. El coeficiente de determinación  $r^2$  mide la proporción de variabilidad total de la variable dependiente  $Y$  respecto a su media que es explicada por el modelo de regresión. Este coeficiente debe ser menor o igual que 1, aunque si es 1 (100%), el modelo explicaría completamente la variable dependiente sin ningún error, lo cual es bastante improbable en la realidad (<http://www.expansion.com/diccionario-economico/coeficiente-de-determinacion.html>, visitado septiembre 2016).

En regresión múltiple los coeficientes de regresión ( $\beta$ ) indican la cantidad de cambio que producirá la variable independiente en la dependiente (manteniendo constantes el resto de variables independientes) y tienen más peso cuanto mayor (valor absoluto) sea su coeficiente de regresión Beta ([http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\\_departamento/materiales/analisis\\_datos/Multivariable/18reglin\\_SPSS.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datos/Multivariable/18reglin_SPSS.pdf), visitado septiembre 2016).

Para el caso particular de la relación de las variables ambientales con los reclutas de la sardina Monterrey, se realizó un análisis regresión multivariado para después hacer una regresión simple con la variable mejor correlacionada. Para el caso de la relación Stock-Reclutamiento se utilizó una regresión lineal.

La regresión simple y la regresión múltiple se define por las siguientes ecuaciones lineales:

$$Y = B_0 + B_i * X_i, \quad (5)$$

$$Y = B_0 + B_1 * X_1 + B_2 * X_2 + \dots + B_i * X_i, \quad (6)$$

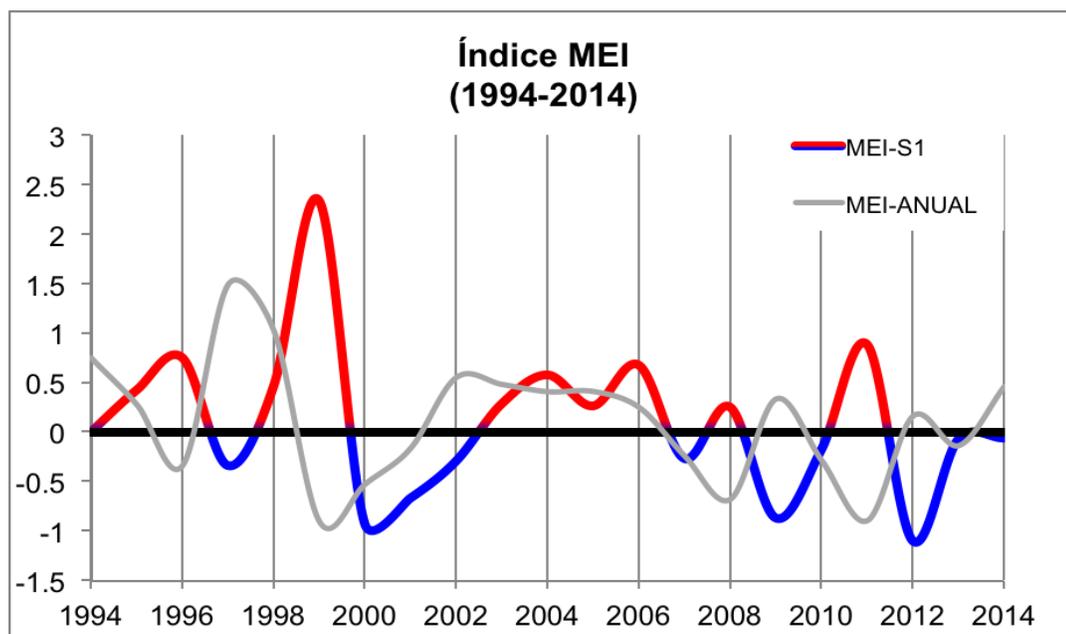
donde  $Y$  es la variable dependiente,  $B_0$  es el intercepto y  $B_1 \dots B_i$  representan la pendiente de la curva y se multiplican por la variable predictora  $X_i$ .

## 2.3 Variables ambientales

Existen complejas interacciones físico-biológicas del ecosistema con la sardina Monterrey, lo cual presenta un desafío para el adecuado manejo de este recurso ya que el ambiente puede influenciar los procesos de reclutamiento, crecimiento y mortalidad. Por lo que si se busca un manejo efectivo de los recursos marinos, es necesario adaptar el manejo de estos recursos a los cambios del ambiente (Deyle et al. 2013). En el presente trabajo se exploran las anomalías y promedios de los siguientes índices para el período de 1994 al 2014.

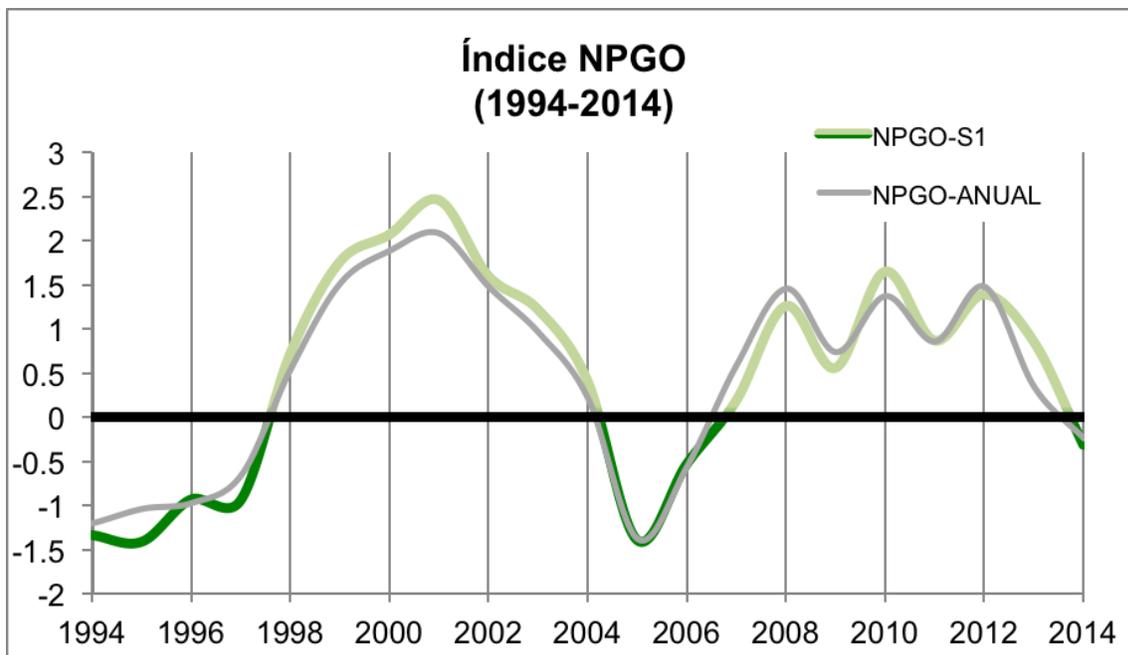
MEI (Multivariate ENSO Index)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/mei.data">http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/mei.data</a>
NPGO (North Pacific Gyre Oscillation)	<a href="http://www.o3d.org/npgo/npgo.php">http://www.o3d.org/npgo/npgo.php</a>
ONI (Oceanic El Niño Index)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/oni.data">http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/oni.data</a>
PDO (Pacific Decadal Oscillation)	<a href="http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest">http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest</a>
SOI (Southern Oscillation Index)	<a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/soi.dat">http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/soi.dat</a>
Índice de surgencias (Upwelling index)	<a href="https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFELData/upwell/monthly/upindex.mon">https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFELData/upwell/monthly/upindex.mon</a>

El Índice MEI consta de 6 componentes, el nivel del mar (P), componente zonal del viento (velocidad horizontal Oeste-Este) (U), componente meridional del viento (velocidad horizontal Sur-Norte) (V), temperatura superficial del mar (S), temperatura del aire (A) y nubosidad (C). Este índice representa un fenómeno océano-atmosférico que causa la variabilidad interanual del clima global en escalas de tiempo interanuales. Los valores negativos representan las fases frías del evento ENSO conocidas como ‘La Niña’ y valores positivos representan las fases cálidas del ENSO, conocidas como ‘El Niño’. Los valores se calculan como promedios bimestrales y consecutivamente se estandarizan con respecto al período de referencia de 1950-1993 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/index.html>, visitado abril 2016).



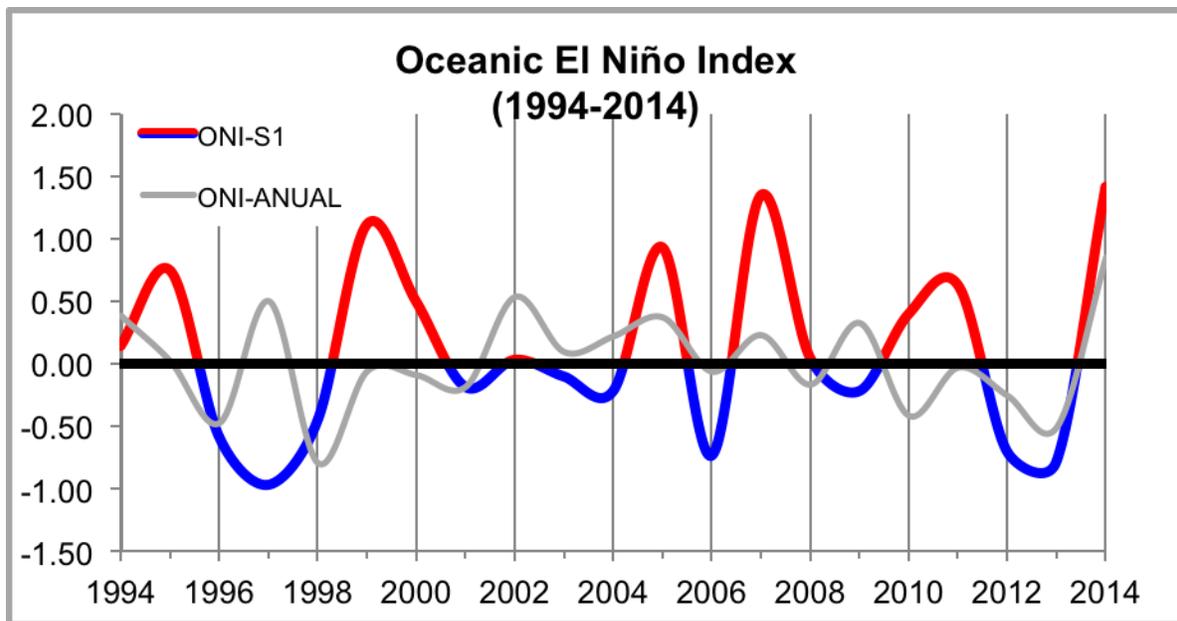
**Figura 5.** Promedios semestrales (enero-junio) del índice MEI (*Multivariate ENSO Index*) para el período de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/mei.data> (visitado abril, 2016)

El índice NPGO está representado por la variación de la altura del nivel del mar. Este índice se correlaciona con fluctuaciones de la salinidad, nutrientes y clorofila-a en la corriente de California (CC) y el Golfo de Alaska. Las fluctuaciones del NPGO son accionadas por variaciones regionales de surgencias ocasionadas por viento y procesos de advección horizontal (<http://www.o3d.org/npgo>, visitado abril 2016).



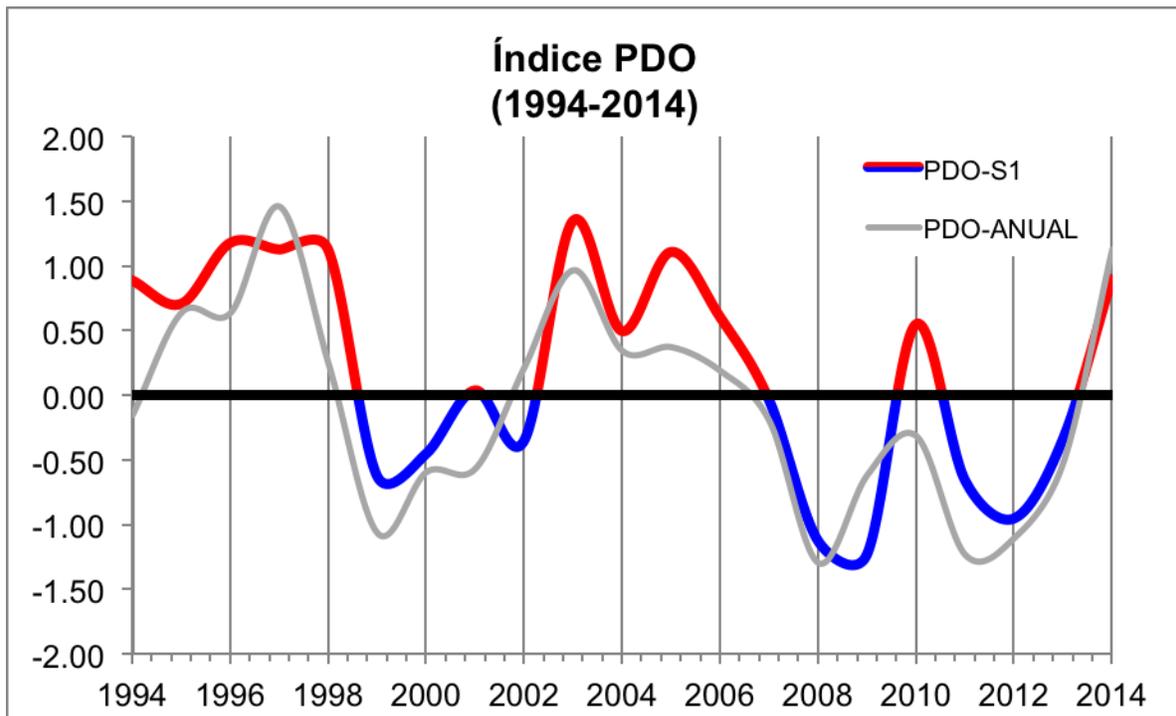
**Figura 6.** Promedios semestrales de anomalías (enero-junio) del índice NPGO-*North Pacific Gyre Oscillation* para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). <http://www.o3d.org/npgo/npgo.php> (visitado abril, 2016).

El índice ONI indica las anomalías en la temperatura superficial del mar en la región El Niño 3.4 (5° N-5° S, 120-170° W) con un período base de 30 años. Los datos de temperatura se calculan para cada mes en esta región y se promedian con el mes anterior y el mes siguiente, que es un promedio trimestral que consecutivamente es comparado con el promedio de 30 años, obteniendo como resultado anomalías promedio trimestrales. Este índice es una medida de la oscilación de El Niño-Sur que junto a otros índices pueden confirmar las características océano-atmosféricas de un fenómeno tipo El Niño. La NOAA considera condiciones El Niño cuando el índice ONI es mayor a +0.5, lo cual indica que el Pacífico tropical centro-oriental es más cálido que lo usual, mientras que valores menores a -0.5 indican que la región es más fría que lo usual (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>, visitado abril 2016).



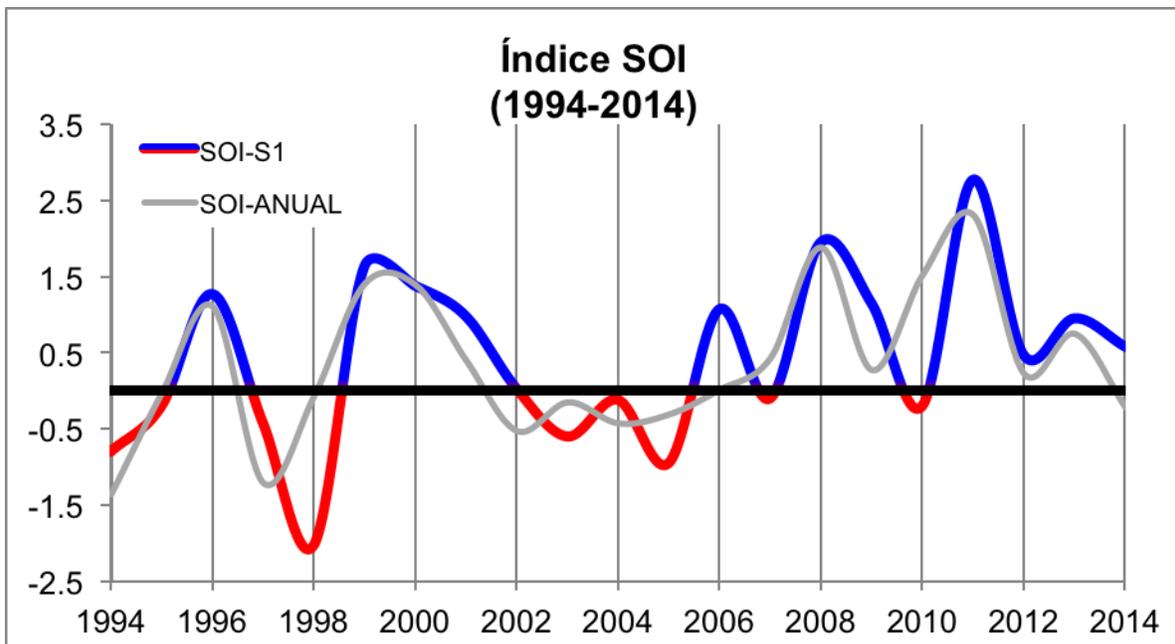
**Figura 7.** Promedios semestrales de anomalías (enero-junio) del índice de El Niño Océánico (ONI) y promedios anuales (línea gris). <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/oni.data> (visitado agosto 2016).

El índice PDO se basa en las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar al Norte de los 20°N en el Océano Pacífico. El patrón climático de este índice ha variado irregularmente en escalas de tiempo interanuales a interdecadales. En escalas interanuales, la oscilación sureña de El Niño (ENSO) juega un papel más importante en el PDO, mientras que en escalas interdecadales, el forzamiento atmosférico, cambios en la circulación del giro oceánico del Pacífico Norte y ENSO contribuyen de igual manera. Los valores positivos del PDO representan una temperatura superficial del mar fría en el interior del Pacífico Norte, y temperatura cálida en la costa. Bajo este mismo escenario, la presión de aire a nivel del mar se encuentra por debajo del promedio. Por el contrario, cuando el índice presenta valores negativos la temperatura superficial del mar es más cálida en el interior del Pacífico Norte y más fría en la costa, así como un nivel de presión más alto que el promedio (<http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>, visitado abril, 2016).



**Figura 8.** Promedios semestrales (enero-junio) del índice PDO-*Pacific Decadal Oscillation* para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest> (visitado abril, 2016)

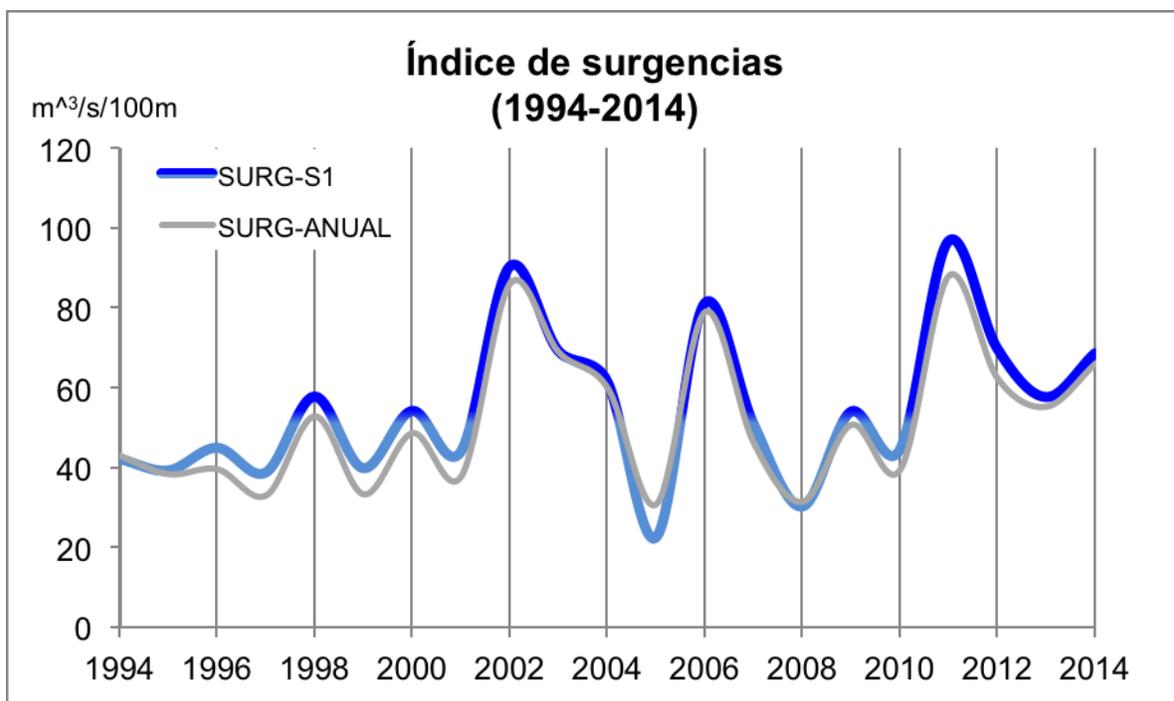
El Índice de Oscilación del Sur (SOI) índice estandarizado está basado en las diferencias de la presión a nivel del mar observada entre Tahití y Darwin, Australia. Es una medida a gran escala de las fluctuaciones en el presión de aire entre el Océano Pacífico tropical oriental y occidental. La fase negativa del SOI representa una presión de aire mayor al nivel normal en la zona cercana a Darwin, y una menor presión en Tahití. Los valores de SOI negativos coinciden con temperaturas cálidas del agua superficial del mar en el Pacífico oriental, típico de eventos 'El Niño'. Por el contrario, valores de SOI positivos coinciden con temperaturas frías del agua de mar, típico de eventos 'La Niña' mientras que la presión a nivel del mar es mayor en Tahití (Polinesia Francesa) que en Darwin (Australia). (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>, visitado abril 2016).



**Figura 9.** Promedios semestrales (enero-junio) del índice SOI- *Southern Oscillation index* para el periodo de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). [http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/Data/soi.dat](http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/soi.dat) (visitado abril, 2016).

El proceso que afecta la productividad primaria durante la primavera y verano en la costa noroeste del Pacífico se conoce como surgencia costera. Ésta es causada por vientos del norte que soplan a lo largo de la costa desde Alaska hasta Baja California, México durante los meses de abril a septiembre. Estos vientos del norte transportan agua superficial hacia el sur, con un componente que la transporta a su vez fuera de costa, a la derecha de la dirección del viento. El transporte hacia el sur y fuera de costa es balanceado por una surgencia de agua fría subsuperficial, de alta salinidad y altas concentraciones de nutrientes. El desplazamiento de agua de fondo a la superficie se conoce como surgencia. El índice de surgencias es calculado por intervalos de 3 grados de los 21°N a los 60°N mensualmente. Para el presente trabajo se promediaron los valores de surgencia del primer semestre (enero-junio) de cada año para el período de 1994 al 2014, entre la latitud 30°N y 51°N.

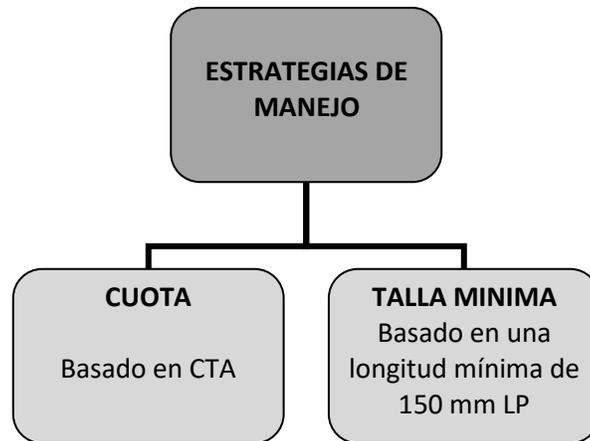
([https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/what\\_is\\_upwell.html](https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/what_is_upwell.html), visitado abril 2016).



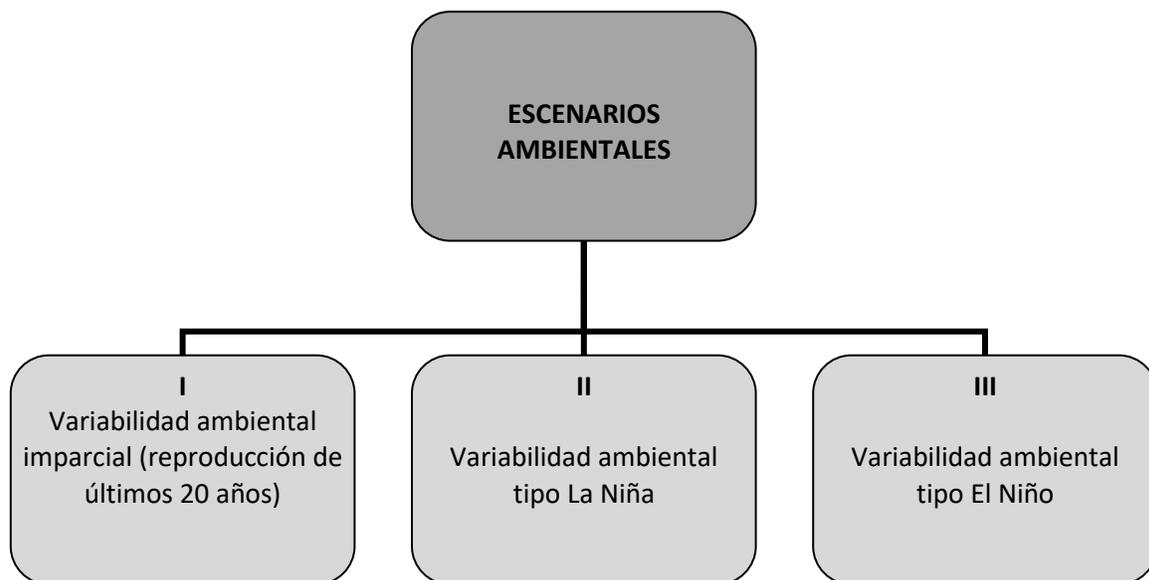
**Figura 10.** Promedios semestrales (enero-junio) del Índice de surgencias para el período de 1994 a 2014 y promedios anuales (línea gris). <https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFELData/upwell/monthly/upindex.mon> (visitado mayo, 2016).

## 2.4 Estrategias y escenarios de manejo

Se compararon dos estrategias de manejo: “CUOTA” basada en la norma de Captura Total Anual (CTA) de EUA y la estrategia de “TALLA MÍNIMA” basada en la NOM-003-PESC-93 (DOF, 1993) (**Figura 11**). Para cada estrategia de manejo se consideraron tres escenarios ambientales: **I.**- escenario que reproduce los últimos 20 años (1994-2014) del índice SOI, **II.**- escenario que considera episodios tipo La Niña principalmente y el cual está basado en el periodo de SOI de 1957 a 1979 y **III.**- escenario que considera episodios tipo El Niño principalmente y el cual está basado en el periodo de SOI de 1980 a 2002 (**Figura 12**). Para el escenario I-CUOTA se tomó la metodología de la Captura Total Anual (**CTA**) original que no considera al SOI aunque sí considera la temperatura del muelle de Scripps (La Jolla, California). Para los escenarios **II** y **III**- CUOTA se calculó la biomasa de reclutas con la ecuación (3.1).



**Figura 11.** Estrategias de manejo



**Figura 12.** Escenarios ambientales

Además se agregó el factor ERROR el cual se utiliza para observar cuánto cambia la población cuando se sobreestima o se subestima, por lo que se modelaron las poblaciones considerando 10% y 20% de error en las estimaciones y se comparan en los resultados finales.

Las medidas de manejo de EUA establecen un máximo de captura basado en la norma de captura total anual CTA (Hill *et al.* 2015):

$$CTA = (BIOMASA(+ERROR)-L) * D * FR, \quad (7)$$

donde:

**BIOMASA**= Biomasa estimada al comienzo de la temporada,

**ERROR**= error de estimación de biomasa ( $\pm 10\%$  y  $\pm 20\%$ ),

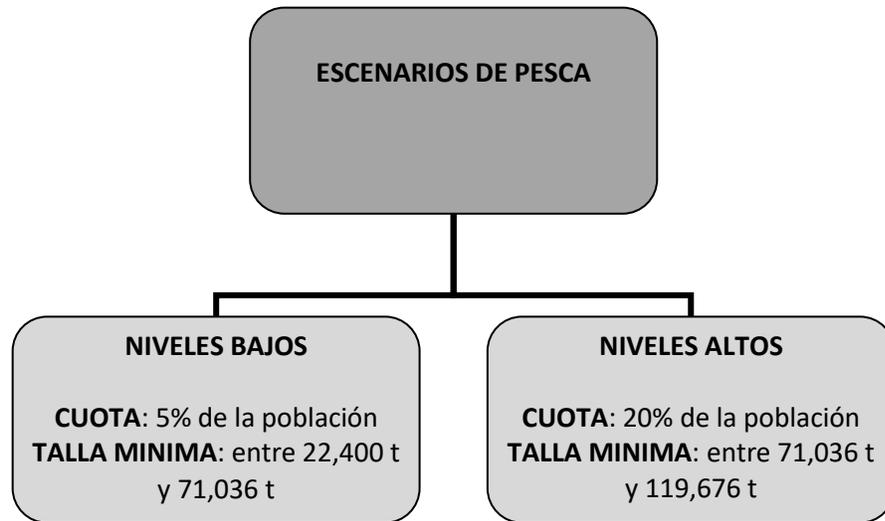
**LIMITE (L)**= biomasa mínima de 150 000 t que debe existir para que se permita la pesca,

**FRACCION (FR)**= 5% a 20%, fracción de la biomasa sobre LIMITE disponible para la pesca,

**DISTRIBUCION (D)**= Porcentaje de la biomasa que se encuentra en EEUU (considerando la misma estrategia de manejo para los dos países, DISTRIBUCION=100%).

Las medidas de manejo de México establecen una talla mínima como regla de control de pesca para los pelágicos menores. Ya que las ecuaciones del modelo se encuentran basada en clases de edades se obtuvo la edad correspondiente a 150 mm de la curva de crecimiento Von Bertalanffy (**Anexo 1**) la cual resultó en una edad 1.33 años. Por lo tanto, las sardinas mayores a 1.33 años se consideraron como la biomasa de captura bajo la estrategia de manejo de TALLA MINIMA y se basa en la frecuencia relativa de capturas de donde se obtuvo la probabilidad más alta de las capturas entre 58,878 t y 83,197 t (ancho de clase: 24,319 t). El valor mínimo de pesca es de 10,240 t, el máximo de 124,308 y un promedio de 68,086 t.

Finalmente se comparan las estrategias de manejo CUOTA y TALLA MINIMA bajo los diversos escenarios ambientales, y se compararon con dos niveles de pesca, BAJO y ALTO. Para la estrategia CUOTA, un nivel de pesca BAJO considera el equivalente al 5% pescable de la biomasa poblacional y un nivel de pesca ALTO considera el 20%. Las capturas correspondientes a la estrategia TALLA MINIMA se fundamentaron en la frecuencia relativa de capturas, considerando biomásas anuales entre 22,400 t y 71,036 t como el nivel de pesca BAJO y para el nivel de pesca ALTO entre 71,036 t y 119,676 t (**Figura 13**).



**Figura 13.** Escenarios de pesca

En la **Tabla IV** se muestran los escenarios de pesca para la estrategia de manejo CUOTA exclusivamente, donde además se consideran diferentes valores para cada factor de la ecuación de CTA. Para el escenario de nivel de pesca BAJO, se considera que se pesca el equivalente al 5% y para el nivel de pesca ALTO se considera que se pesca el equivalente al 20% de la población de la sardina. Recientemente se permitía pescar el equivalente al 15% de la biomasa hasta el 2016, año en el cual se cerró la pesca de sardina en EEUU. Para cada escenario de pesca, se modeló la población considerando diferentes niveles de ERROR y de LIMITE. El factor ERROR considera que la biomasa tiene  $\pm 10\%$  de biomasa en cada estimación, y lo mismo con ERROR  $\pm 20\%$ . Para conocer el efecto que tiene el utilizar un LIMITE de biomasa inferior o superior al recomendado por EEUU de 150,000 t, se consideraron límites superiores e inferiores al recomendado, por lo que se realizó cada estimación además con LIMITE =100,000 t como límite inferior y como límite superior se estimó LIMITE =200,000 t.

**Tabla IV.** Valoración de los escenarios para la estrategia de manejo CUOTA

	<b>ERROR</b>	<b>LIMITE</b>
<b>NIVEL DE PESCA BAJO</b>	<b>A (ERROR=10%)</b>	<b>A1= 100,000</b>
		<b>A2= 150,000</b>
		<b>A3= 200,000</b>
	<b>B (ERROR=20%)</b>	<b>B1= 100,000</b>
		<b>B2= 150,000</b>
		<b>B3= 200,000</b>
<b>NIVEL DE PESCA ALTO</b>	<b>C (ERROR=10%)</b>	<b>C1= 100,000</b>
		<b>C2= 150,000</b>
		<b>C3= 200,000</b>
	<b>D (ERROR=20%)</b>	<b>D1= 100,000</b>
		<b>D2= 150,000</b>
		<b>D3= 200,000</b>

## Capítulo 3. Resultados

---

### 3.1 Relación Stock-Reclutamiento

Se utilizó el paquete computacional *Matlab* versión 7.10.0 (R2010a) para realizar regresiones simples y multivariadas; así como el paquete computacional *Statistica* para obtener el valor p.

La suma de las edades 1 a 15+ representan a los adultos del semestre anterior de la biomasa de reclutas, por lo que a la biomasa de reclutas del semestre (julio-diciembre) de 1994 le corresponde la biomasa de adultos del semestre (enero-junio) de 1994.

No se observó relación significativa entre la biomasa de adultos y la biomasa de reclutas ( $r=0.04$ ,  $p=0.84$ ) (**Figura 14**) por lo que no se cumple con el criterio de correlación ( $|r|>0.55$ ,  $p<0.05$ ) y se rechaza la hipótesis I.

Ya que la biomasa de adultos además está conformada por 15 clases de edades, se realizó una correlación multivariada de cada edad con la biomasa de reclutas para descartar la posibilidad de que algunas clases de edades tengan una mayor relación. La relación más alta de las edades (**Tabla VI**) se observa para la edad 10 ( $r=0.5$ ,  $r^2=0.25$ ); seguida por la edad 11 ( $r=0.49$ ) y en tercer lugar las edades 7 y 12 ( $r=0.34$  y  $r=0.32$ ), sin embargo solo la clase de edad 10 cumple con el criterio pero se descarta la correlación de cualquier edad, ya que la mayoría de los individuos del stock norteño no supera los 7 años (Emmett et al. 2005).

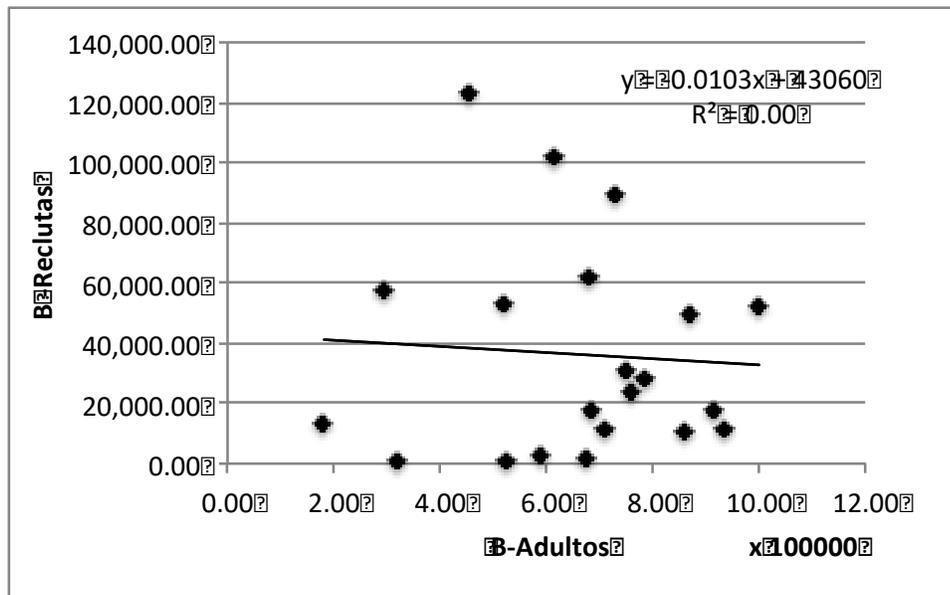


Figura 14. Biomasa de adultos (edad 1-15) contra biomasa de reclutas (edad 0).

Tabla V. Resultados de correlaciones reclutas con total de adultos ( $r=0.04$ ) y con cada clase de edad.

	$r$	$r^2$	$p (<0.05)$	EMC ( $\times 10^4$ )
<b>Total adultos</b>	0.04	0.00	0.84	3.35
<b>E1</b>	0.22	0.05	0.33	3.29
<b>E2</b>	0.24	0.06	0.33	3.28
<b>E3</b>	0.04	0.00	0.96	3.37
<b>E4</b>	0.13	0.02	0.66	3.35
<b>E5</b>	0.07	0.00	0.66	3.37
<b>E6</b>	0.29	0.08	0.23	3.23
<b>E7</b>	0.34	0.12	0.16	3.18
<b>E8</b>	0.19	0.04	0.47	3.31
<b>E9</b>	0.04	0.00	0.72	3.37
<b>E10</b>	0.5	0.25	0.01	2.92
<b>E11</b>	0.49	0.24	0.01	2.94
<b>E12</b>	0.32	0.10	0.06	3.19
<b>E13</b>	0.01	0.00	0.81	3.37
<b>E14</b>	0.03	0.00	0.81	3.37
<b>E15</b>	0	0.00	0.74	3.37

### 3.2 Relación Variabilidad ambiental – Reclutamiento

Para las regresiones multivariadas así como para las regresiones simples, se obtuvieron los promedios semestrales (enero-junio) de 1994 a 2014 de los índices (MEI, NPGO, ONI, PDO, SOI e índice de surgencia). El resultado de la correlación multivariada fue positivo ( $r=0.74$ ) y significativo (valor  $p=0.05$ ) para todos los índices en conjunto (**Tabla VI**), explicando una dependencia de la biomasa de reclutas con las variables ambientales. Del resultado de la regresión multivariada solo el Índice de oscilación del Sur (SOI) fue significativo. Los índices que presentaron BETA (valor absoluto) más alejado de 0 se utilizaron para realizar una regresión simple, los cuales fueron SOI, MEI y PDO. Posteriormente se realizaron regresiones simples con estos índices (**Tabla VII**).

Se descartó al índice MEI debido a que no cumplió con ninguno de los criterios. Los índices SOI y PDO si cumplieron con el criterio de correlación ( $|r|>0.55$ ) y significancia ( $p<0.05$ ), sin embargo se descartó al índice PDO ya que además se relacionarse en si con el SOI, su valor  $p$  no fue significativo en la regresión multivariada, por lo que es dudosa una correlación lineal del PDO con la biomasa de reclutas de sardina Monterrey y solo se consideró al índice SOI como variable predictora.

**Tabla VI.** Resultados de la regresión multivariada para los índices ambientales (N=21) ( $r=0.74$ ,  $r^2=0.55$ ,  $p=0.05$ )

Regresión múltiple	BETA	valor p	EMC
Intercepto		0.01	20566
PDO	0.36	0.22	11713
SOI	-1.13	0.06	17094
NPGO	-0.01	0.95	6576
MEI	-0.85	0.13	24147
ONI	-0.09	0.6	8846
surgencia	-0.08	0.68	358

**Tabla VII.** Resultados de la regresión simple de los índices ambientales SOI, MEI y PDO.

Regresión simple	r	r <sup>2</sup>	P (<0.05)	EMC (x10 <sup>4</sup> )
SOI	0.61	0.37	0.003	2.8
MEI	0.46	0.21	0.03	3.1
PDO	0.6	0.36	0.003	2.8

**Tabla VIII.** Regresión simple del índice SOI y la biomasa de reclutas.

N=21	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(19)	p-level
Intercept			44326.8	6649.379	6.66630	0.000002
SOIS1	-0.611781	0.181474	-19127.4	5673.823	-3.37117	0.003207

Se utilizó el SOI ya que cumplió con los supuestos en todas las pruebas y se aplican los valores de  $B_0$  y  $B$  (**Tabla VIII**) en una ecuación de regresión simple.

$$Y = B_0 + B_{SOI} * X_{SOI} \quad (8)$$

donde:

$Y$  = Reclutas (t)

$B_0$  = 44326.8

$B_{SOI}$  = -19127.4

$X_{SOI}$  = valor de índice SOI, para el que se quiera conocer  $Y$

Una vez conocida la relación de los reclutas con un índice ambiental, se procedió a reproducir los escenarios ambientales. Para los tres escenarios se realizó un análisis armónico (**Ec.9**) para reproducir el índice SOI por 50 años (**Figura 17**). Se utilizaron seis armónicos de períodos de tiempo ( $T_i$ ) de 9 meses a 10 años, ya que en esos períodos se obtuvieron los máximos de energía y se utilizó la base de datos mensuales de SOI de 1866 a 2014 ([http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos\\_wgsp/Timeseries/Data/soi.dat](http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/soi.dat)) para obtener los valores observados de episodios La Niña y El Niño (**Figura 16**). De esta serie se tomaron los dos períodos más recientes de 22 años que coincidieran cada uno con al menos cuatro episodios tipo La Niña y el Niño, como se puede observar en las líneas de color rojo y las áreas de color azul. Los valores del SOI por debajo del límite de -0.5 corresponden a una mayor presión atmosférica en Darwin (Australia) y coinciden con años tipo El Niño mientras que los valores mayores al límite de 0.5 presentan una mayor presión en Tahití y coinciden con años tipo La Niña.

El escenario I (“Reciente”) reproduce los valores de SOI observados en las últimas dos décadas (1994-2014), el escenario II (“La Niña”) sigue el patrón de los años en los que se predominaron episodios La Niña como se observó para el período de 1957 a 1979 y el escenario III (“El Niño”) sigue el patrón de los años en los que predominaron episodios El Niño como se observó para el período de 1980 a 2002. (**Figura 15**). La biomasa de reclutas (línea negra) del semestre correspondiente a julio-diciembre de las últimas dos décadas y los respectivos valores de SOI del semestre anterior a los reclutas (enero-junio) se observan en la **Figura 15**.

Análisis armónico:

$$f = a_0 + \sum_{i=1}^6 [b_i * \text{Cos} (W_i * T) + c_i * \text{sen} (W_i * T)] \quad (9)$$

donde:

$a_0, b_i, c_i$ = coeficientes ajustados por cuadrados mínimos,

$$W_i = 2\pi/T_i,$$

$T_1$ = 9 meses,

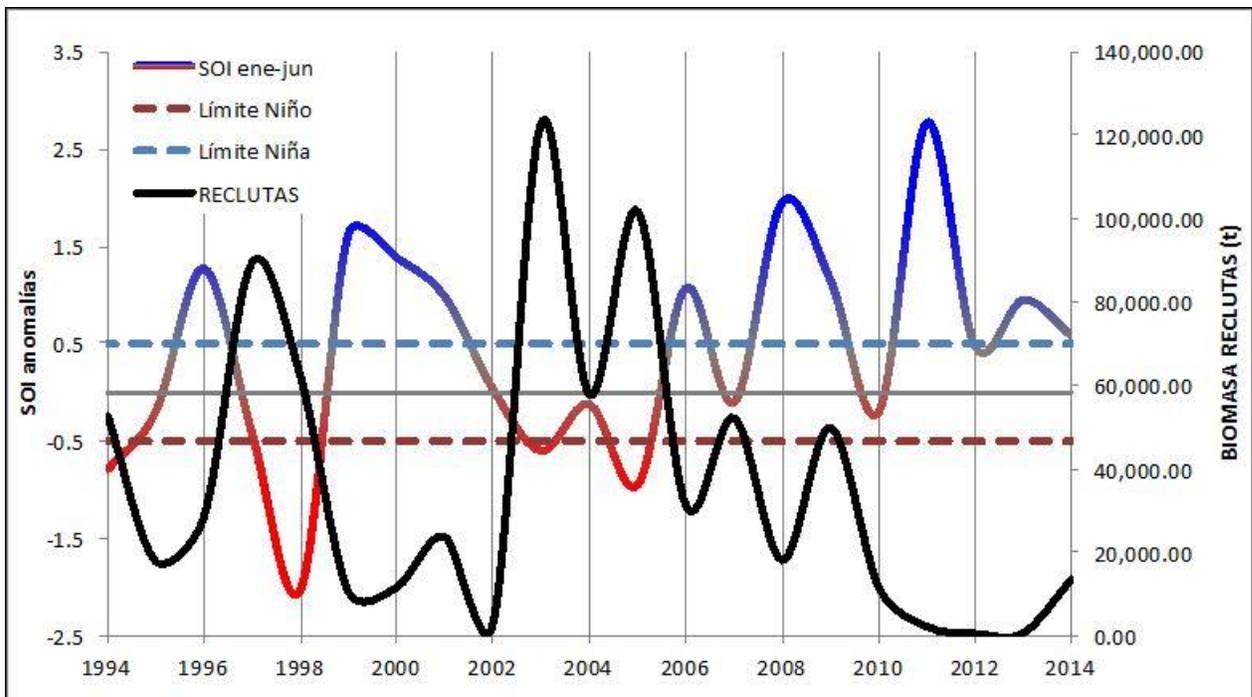
$T_2$ = 2.5 años,

$T_3$ = 4 años,

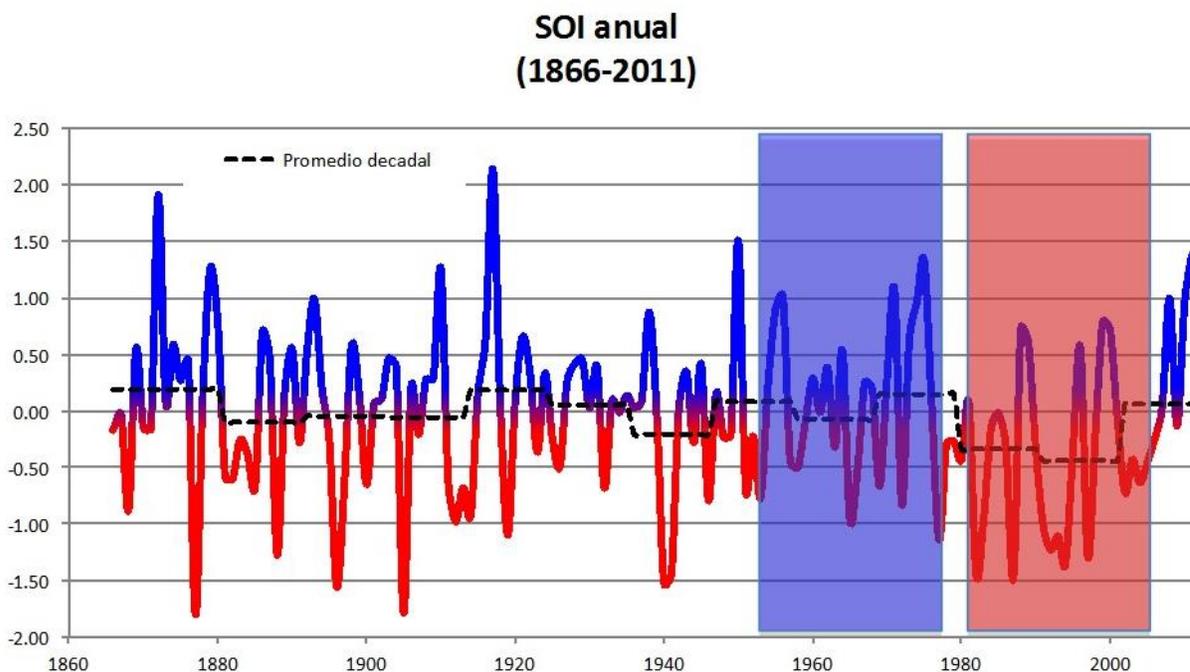
$T_4$ = 5 años,

$T_5$ = 7 años,

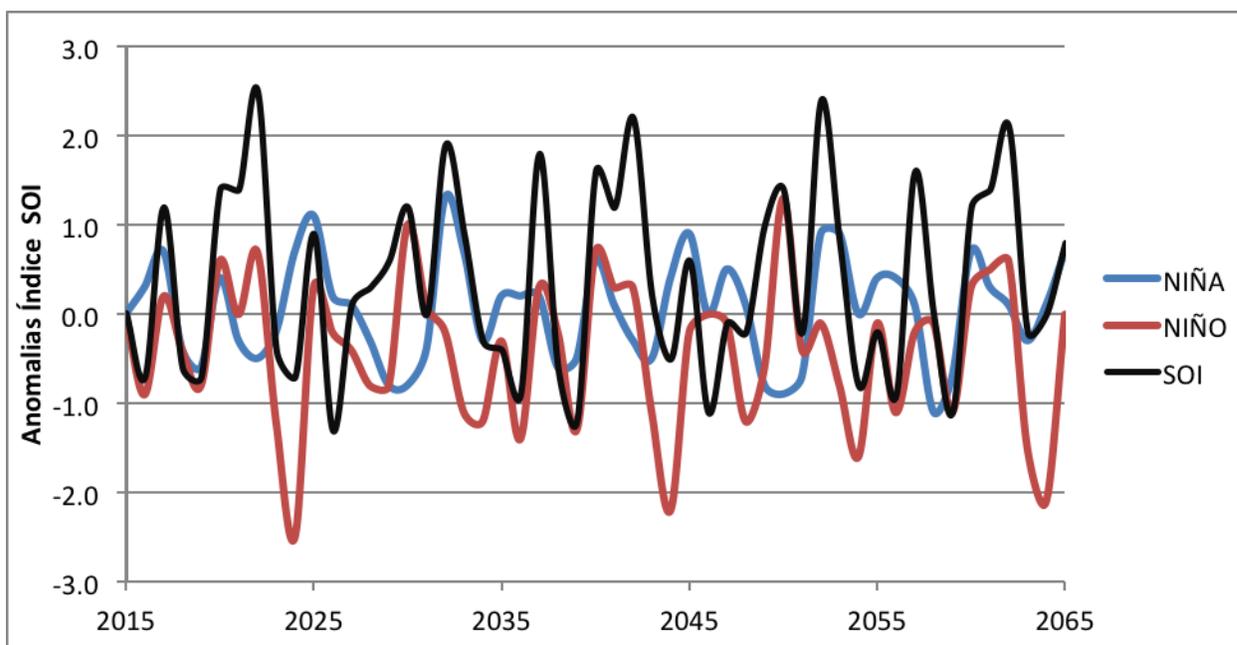
$T_6$ =10 años.



**Figura 15.** Promedios semestrales (enero-julio) del índice SOI (1994-2014), anomalías de El Niño (línea puntada roja) y La Niña (línea punteada azul), y biomasa de reclutas (línea negra).



**Figura 16.** Anomalías anuales del SOI para el período 1866-2011, promedios decadales (línea punteada), periodo para años Niño (zona roja) y periodo para años Niña (zona azul). Las áreas de color azul representan los episodios escogidos para representar a los años La Niña (1957-1979) y las áreas de color rojo representan los episodios El Niño (1980-2002).



**Figura 17.** Predicciones de valores del SOI bajo los criterios de años Reciente, La Niña y El Niño.

### 3.3 Escenarios de manejo

A continuación se presentan los resultados de los escenarios de pesca con NIVELES BAJOS y con NIVELES ALTOS. Se presentan gráficos de cajas que representan la variabilidad de 100 simulaciones de 50 años cada una, equivalentes a 5,000 datos por caja donde cada caja representa los diversos escenarios de la estrategia CUOTA (A,B,C,D) y TALLA MINIMA. En los gráficos de cajas se observa la dinámica de la biomasa poblacional bajo las estrategias de manejo CUOTA y TALLA MINIMA, y además se indica el límite mínimo de biomasa de 150,000 t recomendado por el Consejo de Administración de Pesquerías del Pacífico de EUA. Las cajas indican el intervalo en el que se concentra el 50% de los datos delimitados por el 1er cuartil y el 3er cuartil de la distribución de los datos y la línea roja dentro de los recuadros indica la mediana. En la parte inferior de las figuras se observa la dinámica de las capturas de cada estrategia de manejo bajo los mismos escenarios.

Seguido a estos gráficos se presenta una tabla de resultados con los promedios obtenidos de los 5,000 datos para cada escenario. Finalmente se presenta el comportamiento de la biomasa poblacional y de las capturas a lo largo de los 50 años bajo cada escenario ambiental. En estas figuras se presentan los promedios de las 100 corridas por años de los escenarios que obtuvieron las biomásas poblacionales y las capturas que presentan los niveles poblacionales y capturas más elevados.

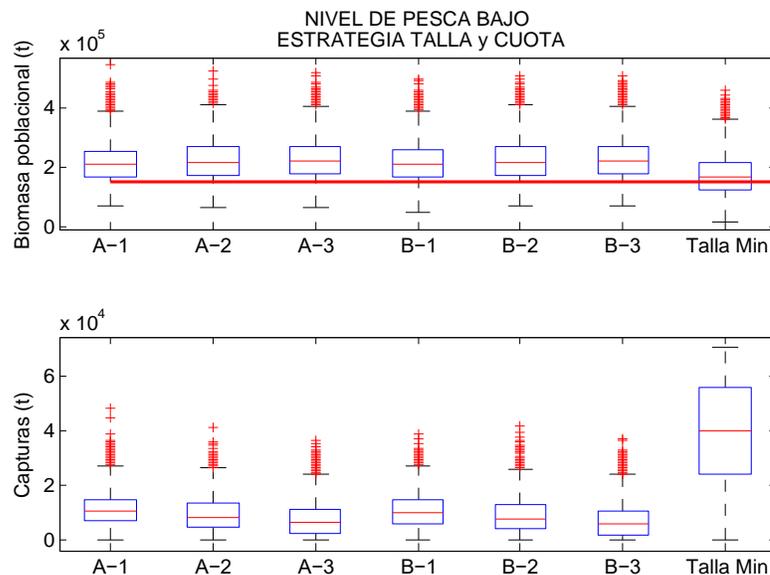
#### 3.3.1 Escenario: NIVEL DE PESCA BAJO

Los escenarios A1, A2, A3, B1, B2 y B3 corresponden a la estrategia de manejo CUOTA, de los cuales consideran diferentes valores para ERROR y LIMITE (**Tabla IV**). El nivel de pesca BAJO considera un nivel de pesca para la estrategia de manejo CUOTA a un equivalente del 5% de la población y para la estrategia Talla Mínima considera una biomasa capturable entre 22,400t y 71,036 t. La línea roja representa la biomasa poblacional mínima (150,000 t) recomendada.

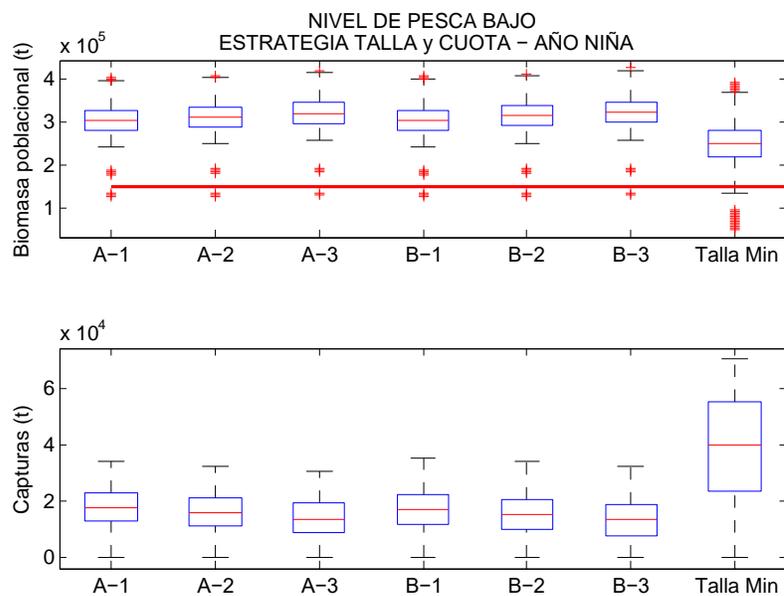
Para el escenario I (“Reciente”) todas las cajas presentan una distribución similar y simétrica; y presentan datos anómalos superiores tanto para la biomasa poblacional como para las capturas. Las medianas para todos los casos se encuentran sobre el límite de biomasa indicado por la línea roja. La caja correspondiente a la biomasa poblacional de Talla Mínima presenta valores que se encuentran por debajo de la línea roja (**Figura 18**). La caja correspondiente a la estrategia Talla Mínima de capturas presentó en este escenario una distribución amplia y 0 datos anómalos. Las cajas de las capturas correspondientes a la estrategia CUOTA presentaron una distribución similar en todos los casos.

El escenario II (“La Niña”) (**Figura 19**) presentó una distribución de datos de la biomasa poblacional superiores a la línea roja para ambas estrategias de manejo. La caja correspondiente a la captura de la estrategia Talla Mínima presenta una amplia dispersión de los datos y 0 datos anómalos. Las cajas de la captura de la estrategia CUOTA presentan poca dispersión aunque también presentan varios datos anómalos.

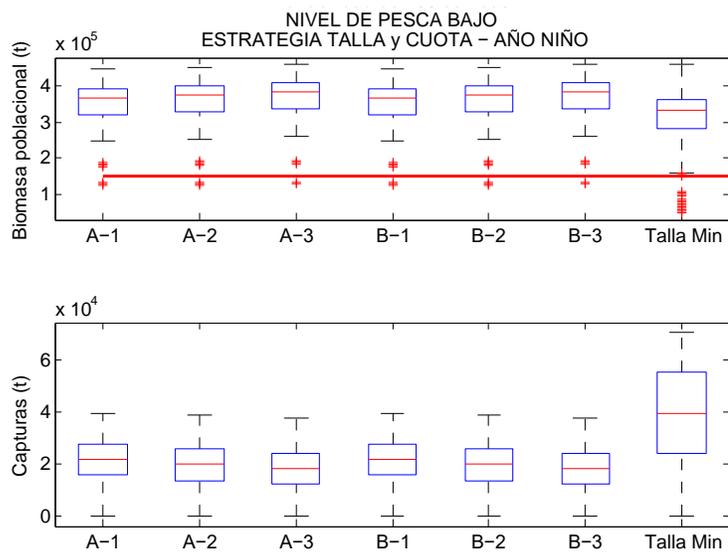
Las cajas de la biomasa poblacional del escenario III (“El Niño”) (**Figura 20**) presentan una distribución similar y simétrica para ambas estrategias de manejo y presentan valores anómalos inferiores. La mediana se encuentra por sobre la línea roja para ambas estrategias de manejo. Las cajas de la biomasa de capturas no presentan valores anómalos en ningún caso. La distribución de las cajas es simétrica en todos los casos de la estrategia CUOTA. La caja correspondiente a Talla mínima presenta una distribución amplia de los cuartiles.



**Figura 18.** Dispersión de datos del escenario ambiental I-NIVEL DE PESCA BAJO.



**Figura 19.** Dispersión de datos del escenario ambiental II-NIVEL DE PESCA BAJO.



**Figura 20.** Dispersión de datos del escenario ambiental III-NIVEL DE PESCA BAJO.

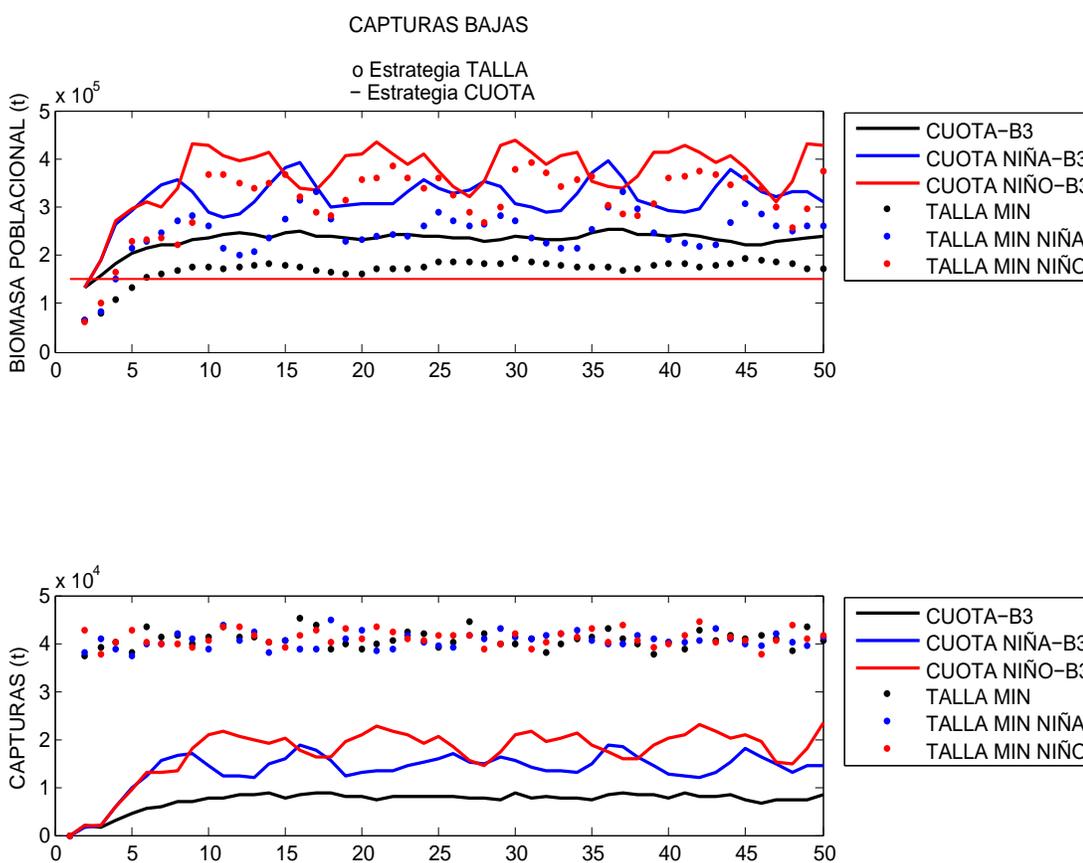
Se obtuvieron los promedios de 5,000 datos (100 corridas x 50 años) de la biomasa poblacional así como de las capturas (**Tabla IX**). Los escenarios que presentaron mayor biomasa poblacional para todos los casos corresponden a la estrategia CUOTA-escenario B3, el cual considera un ERROR del 20%, así como un LIMITE de 200,000 t. La mayor biomasa de captura corresponde a la estrategia Talla Mínima para los tres escenarios ambientales (I, II y III).

**Tabla IX.** Promedios de biomasa poblacional y capturas para el escenario de **NIVEL DE PESCA BAJO**.

<b>Escenario ambiental I-nivel de pesca BAJO</b>	<b>Biomasa poblacional (t)</b>	<b>Capturas (t)</b>
A1.- ERROR=10%, LIMITE=100,000 t	216,090	11,907
A2.-ERROR=10%, LIMITE=150,000 t	223,910	9,899
A3.-ERROR=10%, LIMITE=200,000 t	228,630	7,886
B1.-ERROR=20%, LIMITE=100,000 t	221,630	11,617
B2.-ERROR=20%, LIMITE=150,000 t	221,550	9,110
B3.-ERROR=20%, LIMITE=200,000 t	<b>230,990</b>	7,413
TALLA MINIMA	170,110	<b>40,763</b>
<b>Escenario ambiental II - nivel de pesca BAJO</b>	<b>Biomasa poblacional (t)</b>	<b>Capturas (t)</b>
A1.-ERROR=10%, LIMITE=100,000 t	299,390	18,300
A2.-ERROR=10%, LIMITE=150,000 t	308,130	16,325
A3.-ERROR=10%, LIMITE=200,000 t	315,940	14,601
B1.-ERROR=20%, LIMITE=100,000 t	302,260	17,663
B2.-ERROR=20%, LIMITE=150,000 t	310,580	15,768
B3.-ERROR=20%, LIMITE=200,000 t	<b>318,680</b>	13,954
TALLA MINIMA	245,720	<b>40,583</b>
<b>Escenario ambiental III - nivel de pesca BAJO</b>	<b>Biomasa poblacional (t)</b>	<b>Capturas (t)</b>
A1.-ERROR=10%, LIMITE=100,000 t	350,780	22,164
A2.-ERROR=10%, LIMITE=150,000 t	359,310	20,262
A3.-ERROR=10%, LIMITE=200,000 t	367,420	18,466
B1.-ERROR=20%, LIMITE=100,000 t	354,360	21,369
B2.-ERROR=20%, LIMITE=150,000 t	362,640	19,528
B3.-ERROR=20%, LIMITE=200,000 t	<b>370,740</b>	17,724
TALLA MINIMA	312,550	<b>41,083</b>

El comportamiento de las poblaciones y de las capturas a los largo de 50 años se observan en la Figura 21. Los escenarios de la biomasa poblacional B3 correspondientes a la estrategia CUOTA así como las capturas correspondientes se observan con líneas. Las poblaciones y capturas correspondientes a la estrategia Talla mínima se observan con puntos.

Las poblaciones para ambas estrategias de manejo superan al límite recomendado (línea roja). Las capturas de la estrategia Talla Mínima se observan en un mismo nivel para los tres escenarios ambientales. Las capturas de la estrategia CUOTA se encuentran en niveles inferiores a las 30,000 t para los tres escenarios ambientales y presentan mayor variabilidad entre sí.



**Figura 21.** Comparación de la biomasa poblacional y capturas con NIVEL DE PESCA BAJO. TALLA (o) CUOTA (-).

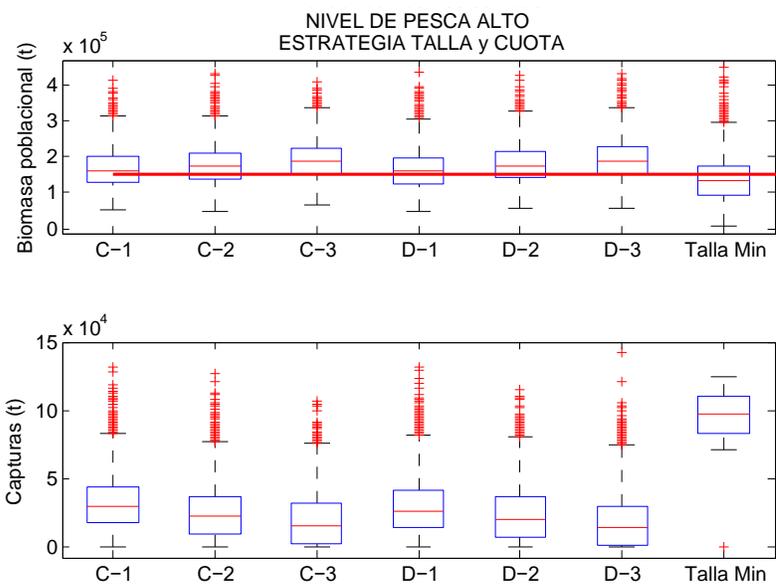
### 3.3.2 Escenario: NIVEL DE PESCA ALTO

Los escenarios C1, C2, C3, D1, D2 y D3 corresponden a la estrategia de manejo CUOTA. Los escenarios C consideran un ERROR de 10% en la estimación de la población y los escenarios D consideran un 20% de ERROR. El nivel de pesca ALTO considera un nivel de pesca para la estrategia de manejo CUOTA a un equivalente del 20% de la población y para la estrategia Talla Mínima considera una biomasa capturable entre 71,036t y 119,676t. La línea roja representa la biomasa poblacional mínima (150,000t) recomendada.

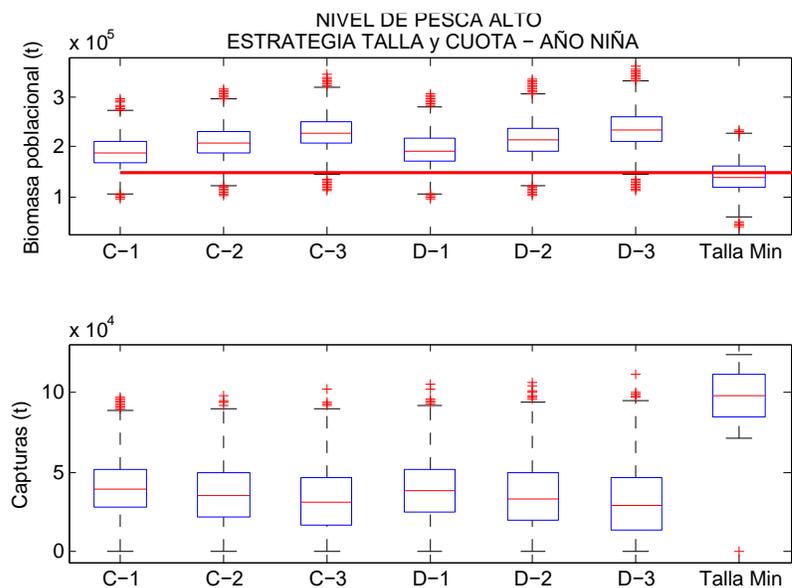
Para el escenario I (**Figura 22**) se obtuvieron niveles inferiores al límite recomendado de 150,000 t cuando se utilizó la estrategia TALLA MINIMA y se encuentran muy cercanos a este límite lo escenarios C1 y D1 correspondientes a CUOTA, los cuales consideran un LIMITE de 100,000 t. Las capturas bajo la estrategia TALLA MINIMA superan a las capturas de la estrategia CUOTA. El tamaño de la caja de TALLA MINIMA en las capturas indica que no presenta mucha variabilidad, por lo que el 75% de los datos se centran hacia una biomasa alta de capturas. En los casos de la estrategia CUOTA se observan valores anómalos, sin embargo el tamaño de las cajas es similar en todos los casos y la mediana se encuentra centrada en las cajas.

Para el escenario II (**Figura 23**) se observa el mismo comportamiento de la mediana dentro de las cajas, ya que en todos los casos tanto de biomasa poblacional como de capturas, las cajas son de tamaño muy similar y la mediana se encuentra centrada en las cajas. La biomasa poblacional bajo la estrategia de TALLA MINIMA es inferior al límite de 150,000 t. Las cajas correspondientes a las capturas presentan la misma simetría y tamaño para ambas estrategias.

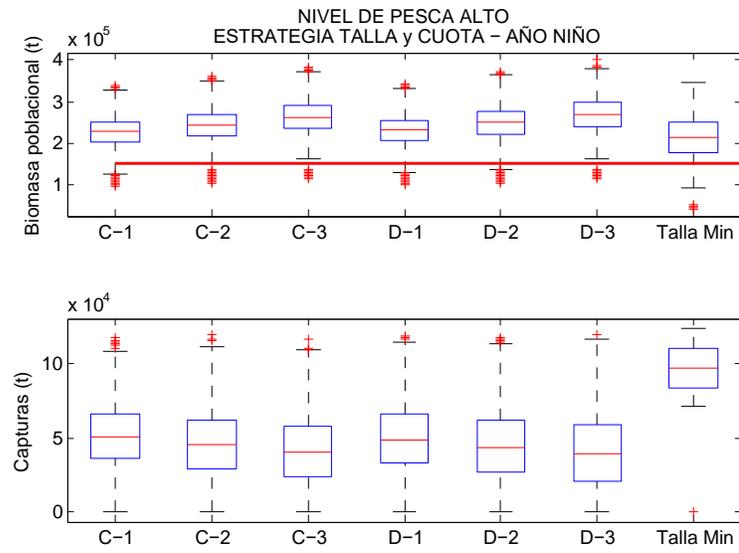
Para el escenario III (**Figura 24**) se observa que las biomazas poblacionales para ambas estrategias superan el límite de 150,000 t. Las cajas de la biomasa poblacional presentan simetría en todos los casos y valores anómalos inferiores y superiores, excepto en el caso de la estrategia Talla Mínima que sólo presenta valores anómalos inferiores. Las cajas de las capturas para ambas estrategias son simétricos y presentan valores anómalos superiores para los casos de la estrategia CUOTA y un solo valor anómalo para el caso de la estrategia Talla Mínima.



**Figura 22.** Dispersión de datos del escenario ambiental I-NIVEL DE PESCA ALTO.



**Figura 23.** Dispersión de datos del escenario ambiental II-NIVEL DE PESCA ALTO.



**Figura 24.** Dispersión de datos del escenario ambiental III-NIVEL DE PESCA ALTO

Los promedios (5,000 datos) señalan que para la estrategia CUOTA los escenarios de pesca que presentan mayores biomazas poblacionales son los escenarios D3 que contemplan un 20% de ERROR en la estimación y un LIMITE de 200,000t (**Tabla X**). Los promedios de capturas para la estrategia Talla Mínima se mantienen en niveles muy cercanos entre sí para los tres escenarios ambientales I,II y III.

Durante años El Niño (escenario ambiental III) se observa la mayor biomasa poblacional promedio (267,280t) de los 3 escenarios ambientales. Las capturas promedio mayores corresponden a la estrategia de manejo TALLA MINIMA en los tres escenarios ambientales. La biomasa poblacional promedio mayor para la estrategia Talla Mínima se observa durante años El Niño (Escenario ambiental III).

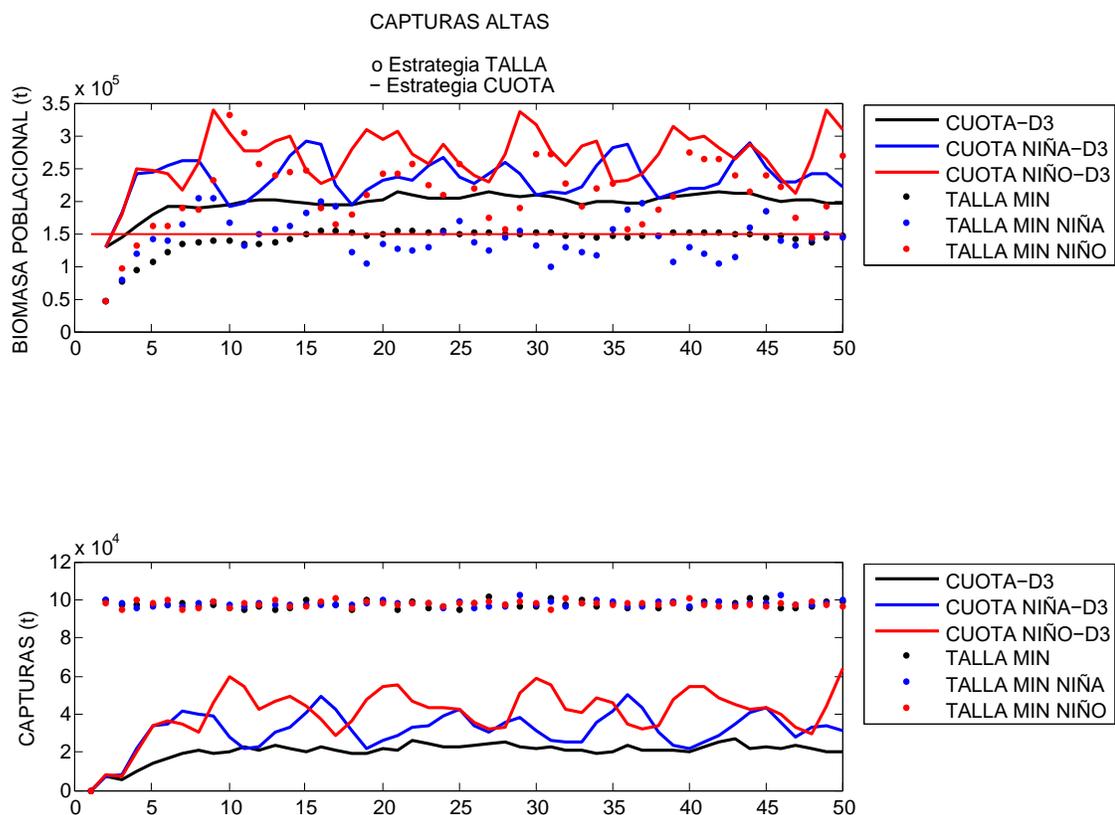
**Tabla X.** Promedios de biomasa poblacional y capturas para el escenario de **NIVEL DE PESCA ALTO**.

<b>Escenario ambiental I - nivel de pesca ALTO</b>	<b>Biomasa poblacional (t)</b>	<b>Capturas (t)</b>
<b>C1.-</b> ERROR=10%, LIMITE=100,000 t	165,220	32,279
<b>C2.-</b> ERROR=10%, LIMITE=150,000 t	178,450	26,202
<b>C3.-</b> ERROR=10%, LIMITE=200,000 t	192,020	21,304
<b>D1.-</b> ERROR=20%, LIMITE=100,000 t	166,820	30,399
<b>D2.-</b> ERROR=20%, LIMITE=150,000 t	181,020	25,165
<b>D3.-</b> ERROR=20%, LIMITE=200,000 t	<b>197,610</b>	20,838
TALLA MINIMA	140,490	<b>97,457</b>
<b>Escenario ambiental II - nivel de pesca ALTO</b>	<b>Biomasa poblacional (t)</b>	<b>Capturas (t)</b>
<b>C1.-</b> ERROR=10%, LIMITE=100,000 t	190,020	41,244
<b>C2.-</b> ERROR=10%, LIMITE=150,000 t	210,110	37,147
<b>C3.-</b> ERROR=10%, LIMITE=200,000 t	229,970	33,107
<b>D1.-</b> ERROR=20%, LIMITE=100,000 t	194,790	40,292
<b>D2.-</b> ERROR=20%, LIMITE=150,000 t	215,160	36,132
<b>D3.-</b> ERROR=20%, LIMITE=200,000 t	<b>234,740</b>	32,139
TALLA MINIMA	141,580	<b>97,899</b>
<b>Escenario ambiental III -nivel de pesca ALTO</b>	<b>Biomasa poblacional (t)</b>	<b>Capturas (t)</b>
<b>C1.-</b> ERROR=10%, LIMITE=100,000 t	225,220	52,400
<b>C2.-</b> ERROR=10%, LIMITE=150,000 t	243,260	47,564
<b>C3.-</b> ERROR=10%, LIMITE=200,000 t	261,940	42,867
<b>D1.-</b> ERROR=20%, LIMITE=100,000 t	230,120	51,156
<b>D2.-</b> ERROR=20%, LIMITE=150,000 t	249,330	46,042
<b>D3.-</b> ERROR=20%, LIMITE=200,000 t	<b>267,280</b>	41,654
TALLA MINIMA	210,810	<b>97,760</b>

Durante años tipo La Niña y utilizando la estrategia TALLA MINIMA se observan niveles poblacionales inferiores al límite de 150,000 t repetidamente (**Figura 25**). Durante años El Niño se observan los niveles poblacionales más altos para ambas estrategias de manejo.

Las capturas promedio de la estrategia TALLA MINIMA se encuentran en un mismo nivel de capturas para los 3 escenarios ambientales a lo largo de los 50 años.

Las capturas con la estrategia de manejo CUOTA presentan mayor variabilidad entre escenarios ambientales.



**Figura 25.** Comparación de la biomasa poblacional y capturas con NIVEL DE PESCA ALTO. TALLA (•) CUOTA (-).

## Capítulo 4. Discusión

---

### 4.1 Relación Stock-Reclutamiento

La relación Stock-reclutamiento estimada por Hill *et al.* (2010) se realizó mediante el modelo de Ricker y actualmente se utiliza el modelo Beverton-Holt para estimar la relación S-R (Hill *et al.* 2015), sin embargo, diversos autores no han encontrado relación para la sardina monterrey.

No se observó una relación lineal de la biomasa de reclutas con la biomasa de adultos, sin embargo se deben considerar otros tipos de curvas de reclutamiento como las utilizadas por Hill *et al.* 2015 de Ricker y Beverton-Holt. Otra consideración respecto a que no se observó relación S-R es que se hayan tomado 15 clases de edades por lo que es posible encontrar relaciones altas con ciertos grupos de edades, debido a esto se procedió a relacionar cada clase de edad con los reclutas. Las relaciones por edades y biomasa de reclutas indicaron que la edad mejor relacionada con los reclutas fue la edad 10 ( $r=0.5$ ,  $p=0.01$ ), lo cual no se considera realista, ya que en el trabajo de Emmett *et al.* (2005) se menciona que desde 1998 hasta 2005 las clases de edades más comunes han sido entre 2 y 6 años. Por lo tanto, encontrar organismos de 10 años no es muy probable y tampoco se podría considerar que su tasa de reproducción sea suficiente para sostener la biomasa de reclutas.

En teoría el reclutamiento debería disminuir si no hay suficiente biomasa reproductora, pero también puede disminuir si el tamaño corporal de los reproductores se ha reducido, ya que tanto la fecundidad, el tamaño de los huevecillos como el desove dependen del crecimiento y condición de las hembras. Además hay que considerar que la producción de huevecillos es en relación al peso de las sardinas hembras, por lo que sardinas más grandes producirán más huevecillos.

La mortalidad por pesca puede afectar a todas las clases de edades ya que la fecundidad se incrementa con la edad y una fuerte mortalidad por pesca puede reducir la edad promedio de la población, provocando que peces pequeños y jóvenes sostengan la carga reproductora (Arreguín-Sánchez, 1996; Martínez-Aguilar, 2005).

### 4.2 Relación Ambiente-Reclutas

El modelo de Zwolinski *et al.* (2011) define mejor el hábitat de la sardina cuando se utiliza una combinación no lineal multivariada de variables ambientales que una relación lineal aislada, por lo que se recomienda buscar alternativas no lineares con las variables utilizadas en el presente trabajo.

Si bien la correlación de la biomasa de sardina y el índice de surgencia no presentó alguna relación, podría ser que sí se relacione con alguno de los efectos de la surgencia la cual afecta a su vez a

productores primarios y secundarios. Los cambios en la temperatura y nutrientes afectan a la producción primaria, los cuales afectan a su vez a los niveles tróficos superiores. Zwolinski et al. (2011) encontraron una relación significativa entre los huevecillos y la temperatura superficial del mar, concentración de clorofila-a y con el gradiente de la altitud de la altura del nivel del mar por lo que cambios en la temperatura afectarán a las tasas de crecimiento y sobrevivencia de todos los niveles tróficos (Gaxiola-Castro y Durazo 2010). Las sardinas consumen una variedad de presas dependiendo de la temporada y sitio (Zwolinski et al., 2011). Emmett et al. (2005) encontraron que la alimentación de las sardinas varía conforme a los hábitats costeros y fuera de costa, ya que las sardinas en los hábitats costeros dentro de la isóbata de 150 m se alimentaron principalmente de fitoplancton y copépodos, mientras que las sardinas de los hábitats fuera de costa (profundidades >150 m) consumieron principalmente eufáusidos en etapas adultas. Además encontraron que la dieta de la sardina compuesta por fitoplancton se correlacionó con la clorofila-a, por lo que si se busca una correlación con las surgencias podría buscarse a través de una correlación del fitoplancton con el índice de surgencias si se conoce el efecto de estas sobre el fitoplancton y su interacción con las sardinas.

La distribución y reproducción de la sardina Monterrey está delimitada por intervalos de temperatura, ya que se reproducen cuando la temperatura se encuentra entre los 12°C y 16°C, evitando temperaturas menores a 12 C. El modelo de Zwolinski et al. (2011) indica además que la sardina evita áreas de altas concentraciones de clorofila-a y temperaturas bajas, indicativas de surgencias, pero pueden ocupar aguas con moderadas concentraciones de clorofila-a y temperaturas mayores a 13°C.

Durante años El Niño la termoclina se profundiza, la entrada de nutrientes es menor y por lo tanto la abundancia de productores primarios disminuye pudiendo afectar a ciertos estadíos de la sardina. Esta baja abundancia de la producción primaria afecta igualmente al zooplancton, del cual se alimentan principalmente las sardinas adultas. La biomasa de sardinas es mayor después de los eventos El Niño, sin embargo la biomasa de zooplancton es menor, por lo que debe existir algún factor que sostenga esas biomásas, como puede ser que en algunas regiones los nutrientes sean constantes o que se vean favorecidas otras especies fitoplanctónicas que funcionen como fuente de alimento para la sardina en estadíos tempranos.

Otra teoría por la que sea mayor la biomasa después de estos eventos es que las temperaturas altas favorezcan la reproducción, ya sea que se repitan los eventos de desove o que la tasa de supervivencia de huevos y larvas sea mayor en ese ambiente cálido y pobre en nutrientes protegiéndose de depredadores. Sin embargo debido a la falta de surgencias durante años El Niño, se esperaría que las condiciones físicas de las hembras sean pobres y la reproducción a su vez, no sería efectiva.

Otro factor importante es la depredación como factor de mortalidad natural, es común para todos los estadios y varía dependiendo del estado en el que se encuentre la sardina; especialmente durante el estadio de larva cuando además la inanición es la mayor fuente de mortalidad en esta etapa, cuando las larvas ya han absorbido su saco vitelino (Hunter 1982, Larrañeta 1996, Martínez-Aguilar, 2005) a diferencia de la mortalidad por pesca la cual es un fuerte factor de mortalidad en la fase adulta (Lasker, 1981; Martínez-Aguilar, 2005).

### 4.3 Estrategias de manejo

- Niveles de pesca

Esta comparación se realizó con el propósito de conocer el comportamiento de las poblaciones cuando se restringe la pesca o cuando se está explotando eficazmente. Se puede observar que la población se ve comprometida si se combinan niveles altos de capturas con la estrategia TALLA MIN, sin embargo se puede proteger el nivel poblacional si se combinan niveles altos de capturas con la estrategia CUOTA. Por otro lado, se pueden definir niveles bajos de captura con la estrategia TALLA MIN sin poner en riesgo a la población y a su vez se seguirían teniendo capturas mayores que con la estrategia CUOTA. Se podría recomendar combinar la estrategia TALLA MIN y niveles bajos de pesca con un máximo de 71,036 t para aprovechar al máximo el recurso y en casos donde sea escasa la sardina utilizar la estrategia CUOTA con niveles bajos de pesca con un máximo de 20,000 t.

- ERROR y LIMITE

El factor ERROR se agregó a la ecuación CTA para tener un acercamiento de cuanto puede verse afectada la biomasa de sardina si se realiza una subestimación o sobreestimación. Los datos proporcionados para este trabajo por Hill (2015) ya consideran un cierto grado de error debido a la toma de datos. Evaluaciones recientes realizadas por el gobierno de EEUU calcularon que sus estimaciones podían tener hasta un 30% de error.

La diferencia entre la biomasa poblacional cuando se utiliza 10% y 20% de ERROR es en promedio de 4,020 t, es decir que si se utiliza 20% de ERROR en la ecuación de CTA para la estrategia CUOTA, se estarían considerando  $\pm 4,020$  t de la biomasa obtenida y de la misma manera se estarían sobre- o sub estimando aproximadamente 800 t en la captura. Comparando 800 t de captura anual contra las capturas anuales promedio observadas de 11,000 t, 800 t representan el 7.3% de las capturas anuales promedio.

El factor LIMITE se utiliza para establecer una biomasa mínima de sardina para no explotar por completo al recurso. El límite actual es de 150,000 t y solo se aplica para las flotas correspondientes a EUA, por debajo de este límite se prohíbe la pesca de sardina hasta la próxima temporada y solo cuando la estimación de biomasa supere este límite. En México La Secretaría de Pesca puede ordenar vedas temporales cuando se detecte que la mayor proporción de organismos se encuentren en proceso de desove. Por lo que se podrían combinar ambas moratorias como protección del recurso.

Al aumentar el factor LIMITE de 150,000 t a 200,000 t, se obtiene una diferencia en la población de alrededor de 13,000 t. Con este cambio las capturas se ven afectadas negativamente, presentando una diferencia de 6,570 t en promedio menos cuando el LIMITE se incrementa (200,000 t). El incrementar el valor de LIMITE es en sí una medida de protección del recurso y juega un papel muy importante en la ecuación de CTA. Por otra parte al disminuir el factor LIMITE de 150,000 t a 100,000 t se observan en promedio 12,709 t menos en la biomasa poblacional, sin embargo las capturas se podrían ver beneficiadas y estarían accesibles a la pesca hasta 6,570t más.

- CUOTA y TALLA MINIMA

De la base de datos otorgada por Hill (2015) se obtuvo el promedio anual de capturas de 73,990 t, con la captura mínima observada de 11,104 t en el año 1993 y la máxima observada de 136,532 t para el año 2007.

Al comparar los resultados obtenidos de la modelación, se obtuvo con la estrategia CUOTA una captura promedio mínima de 7,413 t y una máxima de 52,400 t, mientras que para la estrategia TALLA MINIMA la captura promedio mínima fue de 40,763 t y la máxima de 97,899 t. En general la estrategia TALLA MINIMA permitió niveles de pesca mayores a la estrategia CUOTA en los 3 escenarios ambientales, con el inconveniente de que las poblaciones resultaron menores con la estrategia TALLA MINIMA. Si bien con la estrategia CUOTA se tienen las poblaciones mayores, las capturas se observan limitadas.

Si se optara por una sola estrategia para el manejo de la sardina como una población, se deberían considerar aspectos tanto biológicos como socioeconómicos e incluso culturales. Si bien cada país cuenta con flotas de diferente tamaño y tecnología, sería necesario buscar una igualdad en cuanto a la repartición del producto, lo cual puede generar conflictos sociales, económicos y políticos. La distribución de la sardina sería además un factor muy importante, ya que como lo menciona Zwolinski et al. (2011) la sardina es mayor en tamaño mientras más al norte se encuentre y su distribución depende

de la temperatura, por lo que al sur de su distribución se tendría acceso a organismos más pequeños, y por lo tanto una estrategia de TALLA MINIMA podría limitar la pesca del País correspondiente. Esta última medida se podría combinar con una veda permanente en zonas y/o temporadas de reproducción, con el fin de proteger a adultos reproductores y a reclutas.

- El Niño y La Niña

La sardina Monterrey presenta una relación con los efectos de los eventos La Niña y El Niño. De acuerdo con la relación obtenida entre el SOI y la biomasa de sardina, durante años El Niño (valores negativos de SOI) se esperaría tener una mayor biomasa y durante años La Niña (valores positivos de SOI) se esperarían biomazas bajas. Sin embargo, los promedios de las biomazas durante años La Niña son mayores que las biomazas obtenidas durante los años del escenario I ("Reciente").

Los promedios poblacionales durante años La Niña y niveles BAJOS de pesca son mayores a las 300,000 t, lo doble que el límite estimado de 150,000 t, por lo que se consideraría que el stock se encuentra en un nivel alto. Según los resultados del modelo de dinámica poblacional, al permitir niveles ALTOS de pesca durante años La Niña, se podría esperar que las poblaciones superen las 200,000 t y capturas arriba del 15%. Sin embargo se debe tener precaución al hacer conclusiones basadas en modelaciones, ya que se toman valores constantes, aleatorios y suposiciones, cuando en la realidad pueda ser diferente.

Durante años tipo El Niño, la biomasa se observó que es mayor incluso que durante años La Niña, con niveles de hasta 360,000 t y manteniéndose sobre las 200,000 t. La captura con niveles BAJOS de pesca durante los años El Niño se encontraron entre 17,724 t y 22,164 t, mientras que con niveles ALTOS de pesca, las capturas superan las 40,000 t e incluso las 50,000 t. Con las altas biomazas poblacionales durante años El Niño, se podrían permitir niveles más altos de pesca, tomando como LIMITE 200,000 t de forma precautoria.

Para la estrategia de TALLA, durante años Niña se observan los niveles más altos de capturas, de casi 98,000 t, sin embargo en ese caso la población se encontraría por debajo de las 150,000 t, y el stock estaría en riesgo de no poder recuperarse. Con niveles bajos de pesca, la población es mayor en aproximadamente 100,000 t, con un promedio de 245,720 t, por lo que el stock tendría posibilidades de recuperarse; además en este escenario las capturas rondarían las 40,000 t, lo cual es bastante cercano al promedio observado. Bajo esta misma estrategia de TALLA pero durante años tipo El Niño, la población es todavía mayor (>300,000 t) con un nivel BAJO de pesca, y con niveles ALTOS de pesca de 210,810 t en

promedio. Con capturas BAJAS el nivel poblacional es alto, la población no estaría en riesgo y se mantendría en un nivel en el que se pueda recuperar fácilmente. Con niveles altos de pesca, se estarían pescando aproximadamente 1/3 de la biomasa poblacional, sin embargo los niveles de la población se logran mantener sobre las 200,000 t, por lo que parece un escenario ideal si se busca mantener capturas altas y el stock sin riesgo a colapsar o a estar por debajo de las 150,000 t.

De acuerdo con Emmett et al. (2005) que mencionan que las tallas de la sardina Monterrey puede incrementar hacia el norte de su distribución, si se opta por implementar la estrategia de TALLA, sería recomendable evaluar la estructura de las tallas cada temporada para poder hacer una estimación y a partir de esa evaluación estimar los niveles pescables del stock. Si se utilizara la estrategia CUOTA para todo el stock, se recomendaría usar diferentes valores en los factores de acuerdo al escenario ambiental presente, es decir que si se predicen años tipo El Niño y la biomasa ha incrementado, entonces se podrían definir niveles de pesca ALTOS y de acuerdo con la biomasa disponible. Además para el caso de un stock compartido, se deberían estimar para cada país un porcentaje de acuerdo a la distribución y tamaño del stock.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

No se observó una correlación Stock-Reclutamiento ( $r=0.045$ ,  $p=0.84$ ) mediante el análisis regresión lineal.

La incorporación de la variabilidad ambiental en la dinámica poblacional de la sardina mostró una correlación negativa significativa ( $r=0.61$ ,  $p=0.003$ ) con el Índice SOI, pudiéndose incorporar este índice ambiental para obtener una aproximación del comportamiento de la biomasa de la sardina bajo los eventos La Niña y El Niño.

El modelo proporcionó los niveles poblacionales del stock norteño de la sardina como una población cerrada bajo las estrategias de manejo CUOTA y TALLA MINIMA y muestra cómo se ven afectados bajo diferentes escenarios ambientales. La estrategia de manejo CUOTA presentó una tendencia de biomasa poblacionales altas y capturas bajas, comparando con la estrategia TALLA MINIMA, la cual presentó biomasa poblacionales relativamente más bajas que con la estrategia CUOTA pero capturas reiteradamente mayores.

### Recomendaciones

El emplear la estrategia TALLA MINIMA si se prevé un periodo frío tipo La Niña, puede poner en riesgo a la población, aunque si se esperan años cálidos tipo El Niño se podría optar por esta estrategia y las capturas podrían verse favorecidas.

Se recomienda realizar una estimación de la mortalidad natural  $M_x$  para cada clase de edad, así como utilizar además modelos de relación Stock-Reclutamiento empleados en otros trabajos.

## Literatura citada

---

- Alheit, J., Bernal, P.A. 1993. Effects of physical and biological changes on the biomass yield of the Humboldt Current ecosystem. En: Sherman K, Alexander LM, Gold BD (eds) Large marine ecosystems—stress, mitigation and sustainability. American Association for the Advancement of Science. Washington.
- Alheit, J., Ñiquen, M. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Prog Oceanogr* 60, 201–222.
- Análisis de regresión: Consultado en septiembre 2016, de [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\\_departamento/materiales/analisis\\_datosyMultivariable/18reglin\\_SPSS.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/18reglin_SPSS.pdf)
- Arreguín-Sánchez, F. 1996. Catchability: a key parameter for fish stock assessment. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 6, 221-242.
- Bergen, R., Jacobson, L. 2001. Northern anchovy. En: Leet W., Dewees C., Klingbeil R. Y Larson E. (Eds), California's living marine resources: a status report. California Department of Fish and Game. California.
- CEP. 2015. Carta Estatal Pesquera. Consultado el 15 de septiembre de 2016, de <http://www.sepescabc.gob.mx/x/salaDePrensa/difusionAcciones/docs/CartaEstatalPesquera.pdf>
- Chen, Y., Paloheimo, J.E. 1995. A robust regression analysis of recruitment in fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52 (5), 993-1006.
- Cisneros-Mata, M.A., Estrada, J.J., Santos-Molina, J.P., Godínez-Cota, A.R., Alvarado, C. 1989. Programa nacional de investigación de sardina (Informe temporada 1987/1988). Documento interno. Sepesca, Inst. Nal. Pesca, CRIP Guaymas, Son. México, 47 pp.
- Cisneros-Mata, M.A., Nevárez-Martínez, G., Montemayor-López, J.P., Santos-Molina, R., Morales-Azpeitia. 1991. Pesquería de sardina en el Golfo de California 1988/1989-1989/1990. Secretaria de Pesca. Instituto Nacional de la Pesca. Centro Regional de Investigación Pesquera- Guaymas, Son. México. 80 pp.
- Cisneros-Mata, M.A., Montemayor-López, G., Nevárez-Martínez, M.O. 1996. Modelling deterministic effects of age structure, density dependence, environmental forcing and fishing on the population dynamics of *Sardinops sagax caeruleus* in the Gulf of California. *CalCOFI Rep.* 37,201–208.
- Cisneros-Mata, M.A., Nevárez-Martínez, M.O., Martínez-Zavala, M.A., Anguiano-Carrasco, M.L., Santos-Molina, J.P., Godínez-Cota, A.R., Montemayor-López, G. 1997. Diagnóstico de la pesquería de pelágicos menores del Golfo de California de 1991/1992–1995/1996. Documento interno. Sepesca, Inst. Nal. Pesca, CRIP Guaymas, Son. México, 59 pp.
- Clark, F. N., Marr, J.C. 1955. Population dynamics of the Pacific sardine. *CalCOFI Rep.* 1 July 1953-31 March 1955, 11-48.
- Coefficiente de determinación. Consultado septiembre 2016, de (<http://www.expansion.com/diccionario-economico/coeficiente-de-determinacion.html>)
- Coulson, T., Catchpole, E.A., Albon, S.D., Morgan, B.J.T., Pemberton, J.M., Clutton-Brock, T.H., Crawley, M.J., Grenfell, B.T. 2001. Age, sex, density, winter weather, and population crashes in Soay sheep. *Science* 292, 1528–1531.

- Daskalov, G. 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. *Fish Res* 41, 1–23.
- Daskalov, G., Boyer, D.C., Roux, J.P. 2003. Relating sardine *Sardinops sagax* abundance to environmental indices in northern Benguela. *Prog Oceanogr* 59, 257–274.
- Deyle, E.R., Fogarty, M., Hsieh, C. H., Kaufman, L., MacCall, A. D., Munch, S. B., Sugihara, G. 2013. Predicting climate effects on Pacific sardine. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(16), 6430-6435.
- DOF. 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-003-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de las especies de sardina Monterrey, piña, crinuda, bocona, japonesa y de las especies anchoveta y macarela, con embarcaciones de cerco, en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. 31 de diciembre, Secretaría de Pesca. México, D.F.
- DOF. 2012. Carta Nacional Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Segunda Sección. 236 pp.
- Emmett, R.L., Brodeur, R.D., Miller, T.W., Pool, S.S., Krutzikowsky, G.K., Bentley, P.J., McCrae, J. 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) abundance, distribution, and ecological relationships in the Pacific Northwest. *CalCOFI Rep.*, Vol 46.
- Estrada-García, J.J., Cisneros-Mata, M.A., Páez, F., Santos-Molina, P., 1986. Informe de la temporada de pesca 1984/1985 del recurso sardina. Documento interno. Sepesca, Inst. Nal. Pesca, CRIP Guaymas, Son. México, 160 pp.
- FAO. 2016. Fishing Areas. Consultado el 6 de agosto de 2016, de <http://onesharedocean.org/node/359>
- Félix-Uraga, R., Gómez-Muñoz, V.M., García-Franco, W., Quiñonez-Velazquez, C., Melo-Barrera, F.N. 2004. On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of Baja California and southern California. *CalCOFI Rep.* 45, 146-151.
- Félix-Uraga, R. 2005. Genotipo, Fenotipo y manejo pesquero. Programa de doctorado en Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. CICIMAR. 36pp.
- Félix-Uraga, R., Melo-Barrera, F.N., Quiñonez-Velázquez, C. 2007. Parámetros poblacionales de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* y su contribución a la pesquería de Bahía Magdalena: enfoque de stocks. *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Departamento de Pesquerías y Biología Marina. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. 223-234.
- Francis, R.C., Hare, S.R., Hollowed, A.B., Wooster, W.S. 1998. Effects of interdecadal climate variability on the oceanic ecosystems of the NE Pacific. *Fish Oceanogr* 7, 1–21.
- Fréon, P., Yáñez, E. 1995. Influencia del medio ambiente en evaluación de stock: una aproximación con modelos globales de producción. *Invest Mar* 23, 25–47.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman & Hall/CRC, Nueva York. 407pp.
- Hammann, M. G., Baumgartener, T.R., Badan-Dangon, A. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *CalCOFI Rep.* Vol. XXIX, 1998.
- Hare, S.R. y Mantua, N.J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Prog Oceanogr* 47,103–145.
- Hill, K.T., Lo, N. C. H., Macewicz, B.J., Crone, P.R., Felix-Uraga, R. 2010. Assessment of the Pacific sardine resource in 2010 for U.S. management in 2011. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-SWFSC-469. 137 p.

- Hill, K.T., Crone, P.R., Dorval, E., Macewicz, B. J. 2015. Assessment of the Pacific Sardine Resource in 2015 for USA Management in 2015–16. Pacific Fishery Management Council, April.
- Hunter, J.R. 1982. Predation and recruitment, p. 172-209. En Rothschild and Rooth (ed). Fish ecology III. A foundation for REX. A recruitment experiment. Univ. Miami Tech. Rep. No. 82008.
- Iles, T.C., Beverton, R.J.H. 1998. Stock, recruitment and moderating processes in flatfish. J Sea Res 39, 41–55.
- INAPESCA. 2006. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo. SAGARPA. México, D.F.
- Jacobson, L.D., MacCall, A.D. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine (*Sardinops sagax*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52(3), 566-577.
- Keyl, F., Wolff, M. 2008. Environmental variability and fisheries: what can models do?. Rev Fish Biol Fisheries. 18, 273-299 .
- Koslow, J.A. 1992. Fecundity and the stock-recruitment relationship. Can J Fish Aquat Sci 49:210–217.
- Larrañeta, M.G. 1996. Ecología de la relación stock-reclutamiento en los peces marinos. Océánides 11(2), 1-187.
- Lasker, R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment. In Marine Fish Larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries, pp. 80 – 88. Ed. by R. Lasker. Washington Sea Grant, Seattle.
- Lindgren, M., Checkley Jr, D.M. 2012. Temperature dependence of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) recruitment in the California Current Ecosystem revisited and revised. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 70(2). 245-252.
- MacCall, A.D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. CalCOFI Rep. 20: 72-82.
- Martínez-Aguilar, S. 2005. Modelo dinámico de la pesquería de sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) del Golfo de California. Tesis Doctoral. Instituto Politécnico Nacional. 112 pp.
- Morales-Bojórquez, E. 1996. Simulación de las fluctuaciones de Sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) con base en la relación existente entre el stock, el reclutamiento y la variabilidad ambiental. IPN. Consultado el 6 de octubre de 2016, de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/15235>
- Morales-Bojórquez, E., Gómez-Muñoz, V.M., Félix-Uraga, R., Alvarado-Castillo, R.M. 2003. Relation between recruitment, sea surface temperature, and density-independent mortality of the Pacific sardine (*Sardinops caeruleus*) off the southwest coast of the Baja California peninsula, Mexico. Sci. Mar. 67(1), 25-32.
- Murphy, G.I. 1966. Population biology of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). Proc. Calif. Acad. Sci. Vol. 34 (1), 1-84.
- Nevárez-Martínez, M.O., Morales-Azpeitia, R., Martínez-Zavaia, M.A., Santos-Molina, P., Cisneros-Mata, M.A., 1993. Pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California. Temporada 1990/1991. Documento interno. Sepesca, Inst. Nal. Pesca, CRIP Guaymas, Son, 70 pp.
- Oberhuber, J.M., Roeckner, E., Christoph, M., Esch, M., Latif, M. 1998. Predicting the '97 El Niño event with a global climate model. Geophysical Research Letters, Vol. 25, No. 13, PP 2273-2276.
- Ottersen, G., Hjermann, D.O., Stenseth, N.C. 2006. Changes in spawning stock structure strengthen the link between climate and recruitment in a heavily fished cod (*Gadus morhua*) stock. Fish Oceanogr 15,230–243.

- Paeth, H., Latif, M., Hense, A. 2003. Global SST influence on twentieth century NAO variability. *Clim Dyn* 21,63–75.
- Quinn, W.H. 1974. "Monitoring and predicting El Niño invasions" *J. Appl. Meteorol.* 13, 825.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery: what we have learned. *CalCOFI Rep.* 23,56-78.
- Skud, B.E. 1982. Dominance in fishes: the relation between environment and abundance. *Science* 216,144–149.
- Smith, P.E., Lo, N.C.H., Butler, J.L. 1992. Life-stage duration and survival parameters as related to interdecadal population variability in Pacific sardine. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 33, 41–49.
- Smith, P.E., Moser, H.G. 2003. Long-term trends and variability in the larvae of Pacific sardine and associated fish species of the California Current region. *Deep Sea Research* 50(2) 2519–2536.
- Suda, M., Kishida, T. 2003. A spatial model of population dynamics of the early life stages of Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, off the Pacific coast of Japan. *Fish Oceanogr* 12,85–99.
- Vidal Talamantes, R. 1985. Estructura poblacional y crecimiento de la anchoveta norteña (*Engraulis mordax Girard*) en Baja California durante 1981 y 1982. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. 137 pp.
- Wolf, P. 1992. Recovery of the Pacific Sardine and the California Sardine Fishery. *CalCOFI rep.*, Vol. 33.
- Wyrki, K., Stroup, E., Patzert, W., Williams, P., Quinn, W. 1976. Predicting and Observing El Niño. *Science*. Vol. 191, 4225.
- Yáñez, E., Barbieri, MA., Silva, C., Nieto, K., Espíndola, F. 2001. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. *Prog Oceanogr* 49, 581–596.
- Zwolinski, J.P., Emmett, R. L., Demer, D. A. 2011. Predicting habitat to optimize sampling of Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil.* 68(5). 867-879.
- Zwolinski, J.P., Demer, D.A. 2013b. Measurements of natural mortality for Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *ICES Journal of Marine Science* 70(1),408-415.

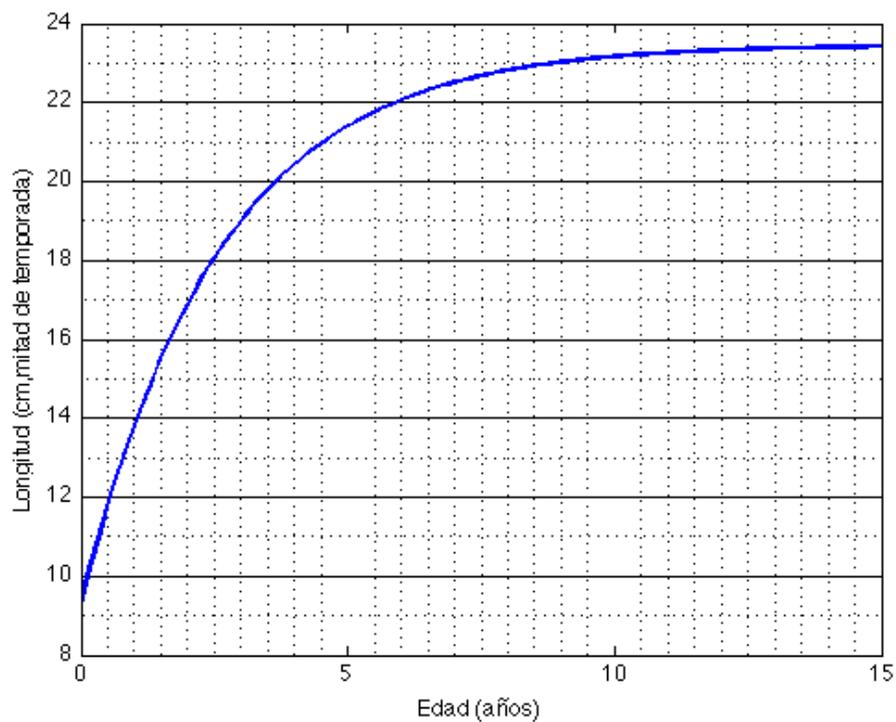
## Glosario

**DOF:** Diario Oficial de la Federación

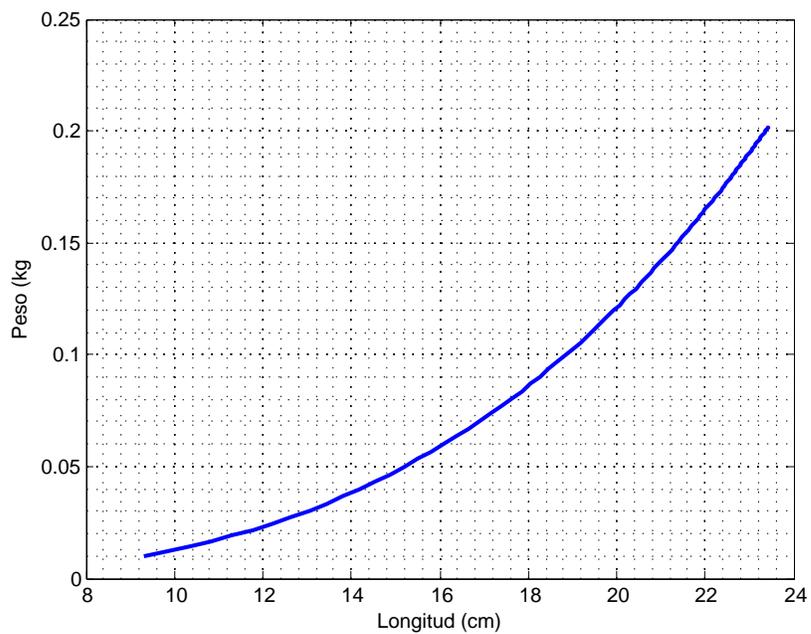
**Reclutamiento:** Desde el punto de vista pesquero, es la cantidad de individuos de una especie que cada año se agrega a la población explotada. En el presente trabajo se consideran reclutas a los organismos de edad 0.

**Stock:** Población explotable. En el presente trabajo se considera como unidad pesquera cerrada al stock norteño de la sardina Monterrey.

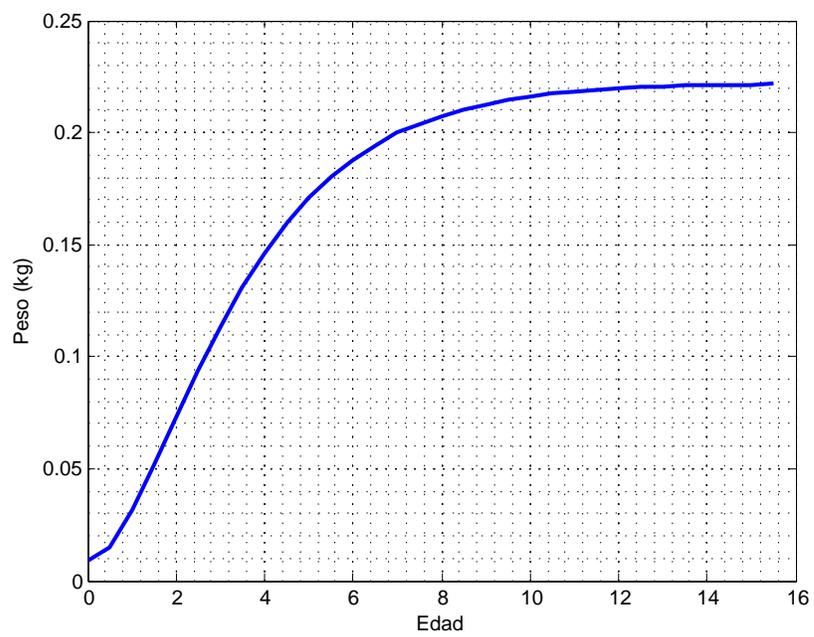
## Anexos



**Anexo 1.** Curva de crecimiento von Bertalanffy para la sardina Monterrey longitud (cm)-edad



**Anexo 2.** Curva de crecimiento longitud (cm)-peso (kg).



**Anexo 3.** Curva de crecimiento edad-peso(kg).