



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

UNIVERSIDAD VERACRUZANA  

---

INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y  
PESQUERÍAS

Maestría en Ecología y Pesquerías

Efecto de la variabilidad climática inducida por la Oscilación del Atlántico Norte en las pesquerías comerciales del Golfo de México.

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**Maestría en Ecología y Pesquerías**

Presenta:

Ing. Alejandro Roldán Heredia



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS MARINAS Y PESQUERÍAS**

Maestría en Ecología y Pesquerías

Efecto de la variabilidad climática inducida por la Oscilación del Atlántico Norte en las pesquerías comerciales del Golfo de México.

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**Maestría en Ecología y Pesquerías**

Presenta:

Ing. Alejandro Roldán Heredia

**COMITÉ TUTORAL:**

Dr. Cesar Meiners Mandujano (Director)

Asesores:

Dr. Mark Marín Hernández

Dra. Patricia Arceo Briseño

Dr. Leonardo U. Arellano Méndez

Dr. Juan Carlos Molinero

Boca del Rio, Veracruz

Agosto 2013



Universidad Veracruzana  
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías  
Posgrado en Ecología y Pesquerías

**C. ING. PESQ. ALEJANDRO ROLDAN HEREDIA**  
**ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS**  
**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
**P R E S E N T E**

Calle Independencia  
No. 30 (antes 38)  
Piso 1 y 2  
Colonia Centro,  
CP 94290,  
Boca del Río,  
Veracruz,  
México

**Teléfono**  
(229) 202 28 28

Habiendo sido debidamente revisado y aceptado el trabajo escrito de su tesis denominada "Efecto de la variabilidad climática inducida por la Oscilación del Atlántico Norte en las pesquerías comerciales del Golfo de México" por los integrantes de su comité tutorial y estando todos ellos de acuerdo que tanto el contenido como el formato de este trabajo es satisfactorio como prueba escrita para sustentar su examen final de posgrado de la MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y PESQUERÍAS se le autoriza a usted proceda a su impresión.

Sin otro particular, me es grato reiterarle la seguridad de mi más distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"  
Boca del Río, Ver. Agosto 23 del 2013

  
Dra. María de Lourdes Jiménez Badillo  
Directora

## DEDICATORIA

A mis padres, Alejandra y Roberto, que siempre se esforzaron para darnos (a mi hermano y a mí) una carrera, y que sin su amor, comprensión e impulso, no estuviera finalizando esta etapa de mi vida. Muchas gracias a ambos por todo lo que me han dado y enseñado, este trabajo también es suyo ya que siempre han estado conmigo en cuerpo, alma y corazón. ¡Son unos luchadores!

A mi hermano, Wiicho, (la mala influencia), a cada rato tratando él de relajarme y distrayéndome con chistes y salidas al cine (entre otras actividades), para que las ideas fluyeran y los días no se hicieran tan pesados, gracias bro por siempre estar ahí cuando las cosas no marchaban tan bien.

A mi abuelita, Elvia, que seguido preguntabas como marchaba esto de la tesis y que notabas las veces que estaba pasando por momentos difíciles, gracias abue por siempre estar pendiente, por tu comprensión y cariño incondicional, ¡Gracias!

A mi esposa Teresita, a ella a veces le tocaba lo peor: los malos humores y las frustraciones, pero siempre me pego mi jalón de orejas y estaba ahí conmigo cuando más la necesité (menos en las noches, ella no aguantaba los desvelos y se iba a dormir). Mi mejor amiga y compañera de aventuras a lo largo de 7 años y mi esposa los últimos 2, ¡gracias chaparrita por ser mi inspiración!

Por último, pero no menos importantes, a las personas que siempre han estado presentes a lo largo de mi vida y que estuvieron pendientes en este proceso de maestría y elaboración de tesis: mis tíos Claudia y Juan Pablo, y mis suegros María Gracia y Alfonso, ya que de esas familias aprendí dos cosas muy valiosas: “a nunca desistir y a siempre seguir adelante”. Muchas gracias por su cariño incondicional y su apoyo moral a lo largo de todo este tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías (ICIMAP) por aceptarme en el programa de maestría. Al personal académico, de manera especial a mi comité de tesis, Dra. Patricia Arceo Briseño, Dr. Mark Marín Hernández y al Dr. Cesar Meiners Mandujano por apoyarme y darme la oportunidad de emprender este viaje con ustedes y siempre compartirme su conocimiento y tener la paciencia para guiarme y terminar de la mejor manera este trabajo. Al Dr. Leonardo U. Arellano Méndez por sus invaluable consejos en la redacción de esta tesis, ¡Muchas gracias a todos!

Al personal administrativo y técnico que labora en este instituto, que siempre brindaron de forma excelente y con la mejor actitud apoyo a este servidor, cuando lo requirió, en especial a †Delia y Andrea. Así mismo, agradezco la amistad que me brindaron todos los estudiantes (ahora mis amigos) del instituto, en especial mis compañeros de generación: Marisol, Lupita, Eli, Nere, Carlangas y Jorge; los del “Cubil”: Andrea, Mayra (Tequila Vázquez), el Robert y Aarón (o German); y por último, a los viejos amigos que han estado presentes, desde la universidad, y que siguieron aquí en la maestría: Bouchot y Luis Mier, ¡a todos de nuevo gracias por su amistad y buenas vibras!

Agradezco también al proyecto bilateral “Synergies of Climate extremes and fishing on exploited marine populations in contrasting ecosystems. The case study of the Gulf of Mexico, Mediterranean Sea and Baltic Sea” financiado por el CONACYT y el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) a través del programa PROALMEX, en especial al Dr. Juan Carlos Molinero por la oportunidad y el conocimiento transmitido, el cual fue pieza clave para determinar el rumbo de la tesis, a pesar de que el tiempo de conocerlo fue corto.

Así mismo agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada, y de esta forma desarrollar mi tesis en esta excelente casa de estudios.

## RESUMEN

En los últimos años se ha puesto especial atención en el estudio del clima y sus efectos sobre poblaciones marinas. Para el Océano Atlántico, los estudios se han enfocado en un fenómeno climático de escala hemisférica, llamado Oscilación del Atlántico Norte (NAO), del cual se ha observado su relación con la abundancia, desove y reclutamiento de especies de importancia comercial, desde el norte europeo hasta las costas occidentales africanas, y en el litoral de Canadá y Estados Unidos. Sin embargo, para el Golfo de México (GdM) la información es escasa y fragmentada por lo cual, se plantea como objetivo de la presente investigación, determinar y evaluar la relación entre la NAO y las capturas de especies de importancia comercial en el GdM, mediante el uso de índices climáticos y biológicos (de captura), así como encontrar un vínculo descrito por: (a) el proxy que representa el 16% de la variabilidad hidroclimática del GdM (construido mediante análisis de componentes principales (PCA) utilizando 11 variables hidroclimáticas) y/o por los parámetros hidroclimáticos locales (temperatura superficial del mar (TSM), clorofila-a (Chl-a), tomada como descriptor de productividad primaria, y el índice de precipitación pluvia (IPP)). Se tomaron exploratoriamente 5 índices NAO, para identificar el que mejor se ajustó a los índices de captura, siendo éste el índice NAO de la NOAA. Se observaron correlaciones lineales directas e inversas, al tiempo (t) y con diferentes desfases (t-1 y t-2), entre la NAO y los índices de captura de especies de distintos niveles tróficos (N.T.), desde el ostión (*Crassostrea virginica*, N.T.= 2.0) hasta el peto (*Scomberomorus cavalla*, N.T.= 4.5). Se identificaron los periodos de oscilación de la NAO, de 1980 al 2010, los cuales estuvieron en fase con los índices de captura alrededor de los 2.0, 3.5, 5.0 y 10.0 años. Se determinó la correlación existente entre la NAO y **(a)** el proxy del GdM ( $r^2= 0.29$ ,  $p= 0.0014$ ) y **(b)** los parámetros hidroclimáticos locales (TSM a 4km,  $r^2= 0.50$ ,  $P= 0.0390$ ; TSM a 9km,  $r^2= 0.51$ ,  $P= 0.0294$ ; Chl-a,  $r^2= 0.58$ ,  $P= 0.0022$ , no se observó correlación significativa con el IPP). Finalmente los resultados sugieren que el sistema climático descrito por la NAO incide en el GdM a través de su proxy climático, y que esta señal se puede percibir hasta el litoral del GdM mediante la TSM y la Chl-a, a la abundancia y espacialidad de las

especies que habitan este gran ecosistema.

## ABSTRACT

In recent years effort has been devoted to the study of climate and its effects on marine populations. For the Atlantic Ocean, the studies has been focused on a hemispheric-scale climate phenomenon called the North Atlantic Oscillation (NAO), which has relationship with the abundance, spawning and recruitment of target species, from the northern Europe to the West Africa, and along the east coast of Canada and the United States. However, the information related with the Gulf of Mexico (GoM) is scarce and fragmented, thus the objective of this study is to determine and assess the relationship between the NAO and landings of target species in the GoM, through the NAO index, as well as find the likely link described by: **(a)** the proxy representing 16% of the GoM hydroclimatic variability (constructed by a principal component analysis (PCA), using 11 hydroclimatic variables); and/or **(b)** local hydroclimatic parameters (sea surface temperature (SST) at 4 and 9km of spatial resolution, chlorophyll-a (Chl-a) at 4.5km and the rain precipitation index (RPI)). Five NAO indices were used to explore the relationship with catch rates; the best fitting was achieved using the NAO index from NOAA. Linear correlations were observed, at time (t) and with different time lags (t-1 and t-2) between the NAO and catch rates of species from different trophic levels (NT), from the American oyster (*Crassostrea virginica*, NT = 2.0) to the king mackerel (*Scomberomorus cavalla*, NT = 4.5). The oscillation time periods of the NAO between 1980 and 2010 were in phase with catch rates around 2.0, 3.5, 5.0 and 10.0 years. The correlation between the NAO and **(a)** the GoM proxy ( $r^2 = 0.29$ ,  $p = 0.0014$ ) and **(b)** local hydroclimatic parameters (SST at 4km,  $r^2 = 0.50$ ,  $P = 0.0390$ ; 9km SST,  $r^2 = 0.50$ ,  $P = 0.0390$ ; Chl-a,  $r^2 = 0.58$ ,  $P = 0.0022$ , not significant correlation with PPI) were determined. Finally, the results suggest that the climate system, described by the NAO, affects the GoM through the proxy, and this signal can be tracked to GoM coast by SST and Chl-a, which drives, at least in part, the abundance and distribution of the species that habit this Large Marine Ecosystem.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	<b>8</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL .....	8
4.2. OBJETIVOS PARTICULARES .....	8
<b>5. MATERIAL Y METODOS</b> .....	<b>9</b>
5.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	9
5.1.1. <i>CIRCULACIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO</i> .....	9
5.1.2. <i>VARIACIONES ATMOSFÉRICAS DEL GOLFO DE MÉXICO</i> .....	10
5.2. DATOS .....	11
5.2.1. <i>DATOS PESQUEROS</i> .....	12
5.2.2. <i>DATOS HIDROCLIMATICOS REGIONALES</i> .....	13
5.2.2.1. <i>ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)</i> .....	14
5.2.3. <i>DATOS HIDROCLIMATICOS LOCALES</i> .....	15
5.2.4. <i>ÍNDICES NAO</i> .....	17
5.3. ANÁLISIS .....	18
5.3.1. <i>ANÁLISIS EXPLORATORIO</i> .....	19
5.3.2. <i>ANÁLISIS EXPLICATIVO</i> .....	20
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>21</b>
6.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA).....	31
6.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM) .....	32
6.3. CLOROFILA-A (CHL-A) .....	34
6.4. ÍNDICE DE PRECIPITACION PLUVIAL (IPP) .....	34
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	<b>37</b>
<b>8. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>44</b>
LITERATURA CITADA:.....	46
ANEXO 1: ESPECIES SELECCIONADAS PARA ANALIZAR EN EL PRESENTE ESTUDIO. ....	52
ANEXO 2: GRÁFICOS DE ESPECIES QUE MOSTRARON CORRELACIÓN SIGNIFICATIVA CON EL ÍNDICE NAO. ....	54
ANEXO 3: PERIODOS DE OSCILACIÓN EN FASE ENTRE EL ÍNDICE NAO Y LOS ÍNDICES DE CAPTURAS. ....	61

## 1. INTRODUCCIÓN

El interés por estudiar los fenómenos climáticos ha experimentado un crecimiento importante durante los últimos años, debido, entre otras razones, al incremento de la conciencia acerca de la importancia del clima y sus efectos sobre los ecosistemas y las actividades humanas, ya sean económicas, ambientales o de curiosidad científica (López, 2000; Fernández & Pacheco, 2004). El impacto de la variabilidad del clima sobre los procesos ecológicos, ha sido materia de una amplia discusión desde hace un siglo aproximadamente, ya que se ha observado que los procesos biológicos son influenciados de forma determinante por el clima y, consecuentemente, son afectados también los patrones temporales y espaciales de las poblaciones y la abundancia de las especies (Cushing 1982).

En años recientes se ha puesto especial atención a los efectos ecológicos causados por las variaciones climáticas sobre las poblaciones marinas a diferentes escalas temporales, con la intención de incorporarlos en el manejo de los recursos naturales (Stenseth *et al.*, 2003). El impacto que tiene el cambio del clima de a escala sobre la producción de poblaciones marinas es una cuestión relevante, ya que las pesquerías dirigidas sobre peces en el Atlántico y el Pacífico han observado variaciones en fase con oscilaciones climáticas (Klyashtorin 1998), y es muy probable que la variación de la productividad de los ecosistemas marinos, desde el fitoplancton hasta la dinámica de las poblaciones de peces, sean el reflejo de las fluctuaciones climáticas (Cushing 1982).

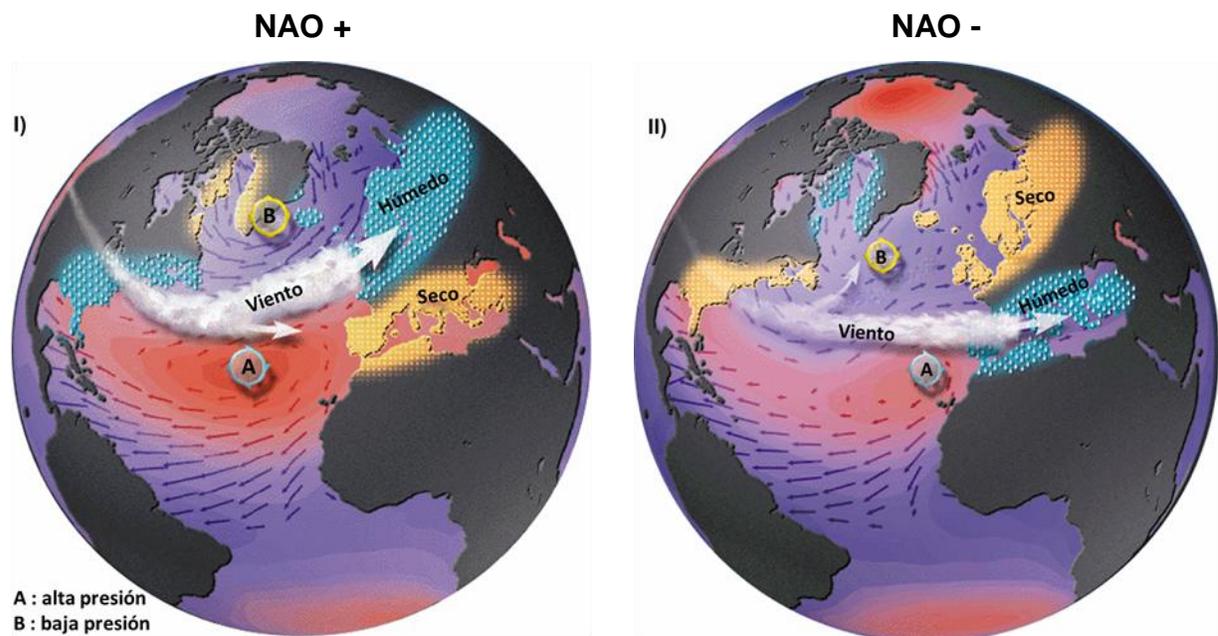
Para evitar confusiones sobre la dimensión y complejidad de los procesos que suceden en la atmósfera y sus interacciones con el océano, es importante precisar que cuando se habla de condiciones meteorológicas o tiempo (meteorológico), se refiere a variaciones atmosféricas pronunciadas, que ocurren en el intervalo de horas a días y que están descritas por la temperatura local, presión de aire, humedad, nubosidad, precipitación y viento; cuando se habla de clima, nos referimos a las medias de temperatura, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, humedad, entre

otras, que han caracterizado a una región a lo largo de decenas de años (Stenseth *et al.*, 2003), en consecuencia, la variabilidad climática se refiere a la fluctuación del clima, es decir, la dispersión y los cambios de tendencia del mismo y, finalmente, se les denomina extremos climáticos a las fluctuaciones atmosféricas extremas (OAS 2002).

La distribución, estructura y composición de las comunidades marinas y la disponibilidad de recursos pesqueros, responden a variaciones ambientales y están determinadas por interacciones físicas y biológicas entre los ecosistemas marinos y la atmosfera (Lehodey *et al.*, 2004; CONABIO 2008). Las poblaciones marinas, sin duda, experimentan la variabilidad del clima a nivel local a través de la temperatura, el viento, las corrientes, la lluvia y la nieve. Sin embargo, tales características meteorológicas y oceanográficas locales se rigen por fenómenos de mayor escala. Las interacciones entre el océano y la atmósfera constituyen sistemas dinámicos con patrones de variación complejos, que influyen de forma determinante en los procesos ecológicos de varias maneras (Ottersen *et al.*, 2001).

El análisis de los cambios en los ecosistemas debidos a la variabilidad del clima, ofrece un marco de referencia innovador para profundizar en el entendimiento de las determinantes que modulan la dinámica de los ecosistemas marinos a gran escala. Ya que, si se identifica un fenómeno climático cuantificable y se contrasta con series de tiempo prolongadas de capturas de especies de importancia comercial, es muy probable que estas aproximaciones faciliten el desarrollo de ideas generales acerca de cómo responden los ecosistemas a la variabilidad del clima. La Oscilación del Atlántico Norte (NAO por sus siglas en inglés) es un descriptor simplificado del clima, útil para desarrollar estas aproximaciones, debido a que este fenómeno es responsable de una proporción importante de la variabilidad del clima del Atlántico en el hemisferio Norte y se han desarrollado varios índices para cuantificar esta variabilidad (Ottersen *et al.*, 2004; Meiners, 2007).

La NAO se refiere a una alternancia de diferencias de presión atmosférica entre la zona subtropical sobre las Azores (alta presión) y la zona situada sobre Islandia (baja presión) (Walker & Bliss, 1932; Barnston & Livezey, 1987; Ottersen *et al.*, 2001; Meiners, 2007). Dependiendo del signo de este diferencial de presión (Fig. 1), existen dos fases opuestas de la oscilación: I) una fase positiva (NAO+), que corresponde a diferencias de presiones acentuadas, lo que da como resultado una intensificación de los vientos del oeste en latitudes medias y de los alisios subtropicales del noreste, ocasionando inviernos cálidos y húmedos en Europa, y fríos y secos para el Mediterráneo y el este de Norteamérica, y II) una fase negativa de la NAO (NAO-), que corresponde a una reducción de la diferencia de las presiones y con ello el debilitamiento de los vientos dominantes, lo que ocasiona que el invierno Mediterráneo sea lluvioso y en Groenlandia más templado (Hurrell, 1995; Stenseth *et al.*, 2003).



**Figura 1.** Fases de la NAO. **NAO positiva (I):** Diferencias de presión acentuadas e intensificación de los vientos del oeste que ocasionan inviernos cálidos y húmedos en Europa y fríos y secos en el Mediterráneo y el este de Norteamérica. **NAO negativa (II):** Reducción en el diferencial de presión y debilitamiento de los vientos que ocasionan inviernos lluviosos en el Mediterráneo y templados en Groenlandia. (Tomado y modificado de: Bell & Visbeck, 2000).

Este fenómeno constituye uno de los modos dominantes de la variabilidad del clima en la parte norte y subtropical del Océano Atlántico, ocurre durante todo el año, pero sus efectos son más pronunciados durante el invierno. El cambio coordinado de los centros de presión atmosférica en latitudes medias, las tormentas invernales y la fuerza de los vientos alisios sobre el Atlántico Norte, comúnmente se atribuyen a la NAO (Visbeck *et al.*, 1998). La NAO se describe a través de índices estandarizados que representan la diferencia de presión a nivel del mar entre las estaciones climáticas situadas en las cercanías de los centros de presión anteriormente mencionados. Stykkisholmur, Islandia es usada como estación del norte mientras que Ponta Delgada en las Azores, y Lisboa y Gibraltar en la península Ibérica son usadas como estaciones al sur (Greatbatch, 2000).

El uso de índices en el análisis de las variaciones del clima es de gran ayuda, debido a que reducen la variabilidad espacial y temporal a medidas simples, que facilitan el proceso estadístico para el analista, lo que ha favorecido la descripción y el entendimiento de sistemas climáticos que gobiernan en ciertas regiones del planeta (Stenseth *et al.*, 2003).

La integración de la variabilidad del clima en la ciencia pesquera, se ha desarrollado casi exclusivamente para el Atlántico Norte, en tanto que para el Golfo de México (GdM) y el Caribe los estudios disponibles son, a la fecha escasos y/o fragmentados.

Bajo este contexto de escasas científicas, si se relaciona numéricamente la contribución relativa de la variabilidad del clima de gran escala y de las series temporales de las capturas de especies explotadas representativas del GdM, tendremos elementos para empezar a comprender los mecanismos y sinergias regionales, que determinan la contribución relativa del clima sobre la dinámica de los recursos explotados, y con ello se contribuirá a la reducción de la incertidumbre en el modelado de la dinámica poblacional y de pesca de las poblaciones explotadas, favoreciendo así el desarrollo de estrategias adecuadas de largo plazo.

## 2. ANTECEDENTES

En 1924 se publicaron por primera vez datos sobre la diferencia de presión atmosférica invernal entre las Azores e Islandia, se observó que este fenómeno interactuaba con la Corriente del Golfo, las temperaturas sobre Escandinavia y Groenlandia y sobre la dinámica de los hielos marinos en el Atlántico Norte; cuando las temperaturas fueron más bajas de lo normal sobre Groenlandia, fueron más altas de lo normal en la península escandinava y viceversa (Walker, 1924). Este patrón de variabilidad climática es lo que actualmente se conoce como NAO y se sabe que las fluctuaciones de este fenómeno influyen sobre el clima desde Norteamérica a Siberia y del Ártico al Ecuador Atlántico (Marshall *et al.*, 2001).

De manera general, existen casos documentados acerca del efecto que la variabilidad del clima (p. ej. vientos, lluvias, secas) ejerce sobre las capturas de distintas especies de peces y por lo tanto, de la existencia de fluctuaciones en los stocks pesqueros, además de un vínculo hidroclimático local y/o regional entre ellos, tales como:

El reclutamiento de la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) del Golfo de Vizcaya, se ve influenciado por condiciones oceanográficas inducidas por vientos de componente norte y este, de media y baja intensidad. Este régimen de vientos favorece condiciones de afloramiento de baja turbulencia, maximizando el reclutamiento (Borja *et al.*, 1996; 1998).

La Unidad de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia observó que entre 50 y 70% de la variabilidad del reclutamiento de la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) junto con el bacalao (*Gadus morhua*), el atún blanco (*Thunnus alalunga*) y el atún alta azul (*Thunnus thynnus*) es explicada por factores hidroclimáticos locales como la temperatura superficial del mar, las lluvias, la intensidad de los vientos, las surgencias, entre otros. Lo que implica que el reclutamiento está sujeto a una variabilidad natural (Borja & Franco, 2006).

De forma particular existen casos documentados donde la NAO (tomada como descriptor simplificado del clima) tiene efectos sobre poblaciones de peces explotadas mediante algún vínculo hidroclimático local y/o regional, como los siguientes:

En el Mar del Norte, el Mar Báltico y el Mar Irlandés la NAO tiene un efecto significativo positivo en el reclutamiento del bacalao (*G. morhua*), mientras que en Islandia el efecto es negativo, debido a la variabilidad de la temperatura superficial del mar, sobre la cual influye la NAO todo el año, pero especialmente durante el invierno (Brander & Mohn, 2004).

Por su parte, Borja & Santiago (2002) relacionaron la NAO y el reclutamiento del atún blanco del norte (*T. alalunga*) en el Mar de los Sargazos y el atún aleta azul del este (en aguas del Mediterráneo) y del oeste (en el Golfo de México) (*T. thynnus*). En el caso del atún blanco, observaron que el reclutamiento es inverso con respecto de las oscilaciones de la NAO, en tanto que el reclutamiento del atún aleta azul del stock oriental se relacionó de forma directa con la NAO. El reclutamiento del atún aleta azul occidental no presentó relación con estas oscilaciones.

La relación directa entre la NAO y las pesquerías ha sido descrita también para la merluza europea (*Merluccius merluccius*) de la costa noroccidental africana, dicha relación es trazable a través de las variaciones de la abundancia de merluza en años subsecuentes a los cambios inducidos por la NAO, dependiendo del grupo de talla. Se sugirió que la intensidad de los afloramientos inducidos por viento de África noroccidental depende en gran proporción de la NAO, lo que ocasiona el incremento o decremento en la abundancia de reclutas de la merluza (Meiners, 2007).

Las investigaciones sobre la pesca en el siglo XX ofrecen varios ejemplos y documentación, donde se muestra que la dinámica de las pesquerías no solo está determinada por la dinámica poblacional de los peces y por la pesca, sino que también influyen factores climáticos locales y regionales que, a su vez, son determinados por

fenómenos climáticos de gran escala (Sharp, 2004), y que la interacción entre fuertes procesos de explotación y cambios de régimen climático, pueden ocasionar cambios súbitos en el estado de salud de las poblaciones bajo explotación

Hasta hace algunos años, la mayoría de los esfuerzos por investigar la importancia de la variabilidad del clima en las capturas de especies de importancia comercial, se documentaron casi por completo en el Atlántico Norte, en contraste, para la cuenca del GdM, estos estudios son muy escasos a pesar de que se cuenta con series temporales de capturas suficientemente largas, con varios índices de factores hidroclimáticos locales y regionales y con índices climáticos de gran escala, todos ellos de disposición pública, por lo cual, es importante desarrollar las primeras aproximaciones acerca de la influencia del clima de gran escala en las pesquerías de importancia comercial del GdM y explorar el vínculo hidroclimático local o regional que probablemente los relacione.

### **3. HIPÓTESIS**

Si existe una relación entre la variabilidad climática descrita por la Oscilación del Atlántico Norte y las capturas de especies de importancia comercial en el Golfo de México, entonces existe un vínculo intermedio entre ellas, que puede explicarse por factores oceanográficos o hidroclimáticos, locales y regionales.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar y evaluar la existencia de la relación entre la variabilidad climática descrita por la NAO y las capturas de especies de importancia comercial en el GdM, así como de los procesos hidroclimáticos regionales y/o locales que los vinculan.

#### **4.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Diseñar y construir una base de datos detallada de los diferentes índices de la NAO y de las capturas anuales de las especies comerciales del GdM, lo más amplia posible en términos de diversidad, amplitud trófica y ecoetología.
- Evaluar el tipo de relación y la magnitud entre los diferentes índices climáticos de la NAO y las series temporales de capturas de especies comerciales más representativas del GdM mayores a 10 años.
- Determinar si las oscilaciones de los índices climáticos y de capturas tienen oscilaciones en fase, mediante análisis espectrales.
- Elaborar un análisis de componentes principales (PCA) con los parámetros hidroclimáticos regionales del GdM para simplificar la información climatológica y atmosférica obtenida sobre esta área geográfica.
- Determinar si existe algún tipo de relación numérica entre los índices NAO y las variables hidroclimáticas regionales y locales del GdM con el fin de encontrar la conexión intermedia.

## **5. MATERIAL Y METODOS**

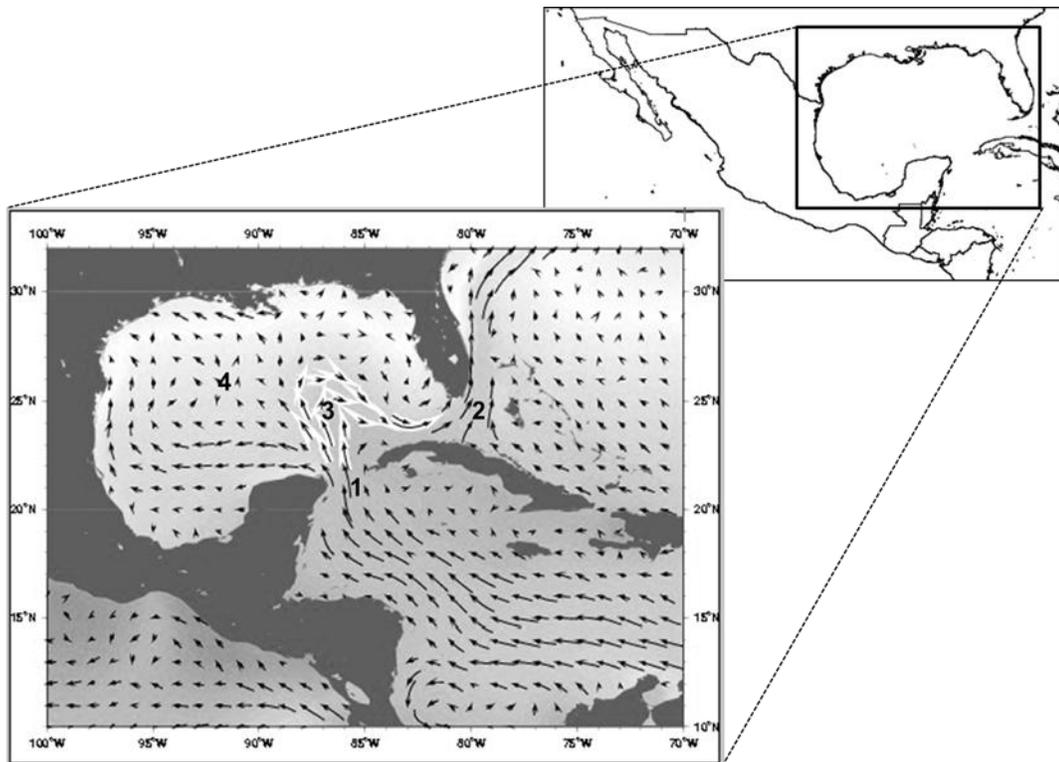
### **5.1. ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio está comprendida por la cuenca del GdM. Esta área semicerrada se encuentra en la zona oeste central del Océano Atlántico y está rodeada por los litorales de México (de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán), Estados Unidos (por los estados de Texas, Luisiana, Misisipi, Alabama y Florida) y por el occidente de Cuba (Fig. 2). Tiene una superficie aproximada de 1,507,639 km<sup>2</sup>, sin contar los humedales costeros, una profundidad promedio de 1,615 m y se comunica con el Océano Atlántico por el Canal de Yucatán, el Mar Caribe y el Estrecho de Florida (Martínez-López & Pares-Sierra, 1998; Day *et al.*, 2004).

#### **5.1.1. CIRCULACIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO**

La acción mecánica de los vientos, el transporte de masas, a través del Canal de Yucatán y el Estrecho de Florida, las descargas de agua provenientes de los ríos, así como el intercambio de calor entre el océano y la atmosfera, son los principales responsables de la circulación de las corrientes oceánicas dentro del GdM (Monreal-Gómez *et al.*, 2004b).

La circulación en el GdM presenta dos características semipermanentes: 1) en la parte este tenemos a la Corriente de Lazo (Fig. 2. inciso 3) que es la entrada de agua cálida del Mar Caribe al GdM por la Corriente de Yucatán (Fig. 2. inciso 1) y la une con la Corriente de Florida (Fig. 2 inciso 2), que es la salida del agua cálida de la cuenca y la conexión con el Océano Atlántico, y 2) una celda de circulación anticiclónica que se desprende de la corriente de lazo en la frontera oeste (Fig. 2. inciso 4), (Martínez-López & Pares-Sierra, 1998; De la Lanza-Espino & Gómez-Rojas, 2004; Gyory *et al.*, 2008).



**Figura 2.** Localización geográfica y circulación en el Golfo de México. (1) entrada de agua cálida por la Corriente de Yucatán, (2) unión con la Corriente de Florida mediante (3) la corriente de lazo y (4) celdas anticiclónicas que se desprenden de la Corriente de Lazo. (Tomado y modificado de: Gyory et al., 2008).

### 5.1.2. VARIACIONES ATMOSFÉRICAS DEL GOLFO DE MÉXICO

El GdM presenta variaciones atmosféricas estacionales muy características a lo largo del año, como la época de “secas” en primavera, “lluvias” en verano y otoño y los eventos de “nortes” en invierno (De la Lanza-Espino & Gómez-Rojas, 2004). Está regido por dos eventos meteorológicos recurrentes principales: (1) tormentas tropicales y huracanes que, aunque se forman fuera del GdM, eventualmente se mueven hacia el interior del mismo y (2) los “nortes”, los cuales son vientos intensos, que ocurren en los meses de octubre a abril al chocar masas de aire frío y seco, que provienen de tierra con masas de aire tropical provenientes del GdM (Monreal-Gómez *et al.*, 2004a).

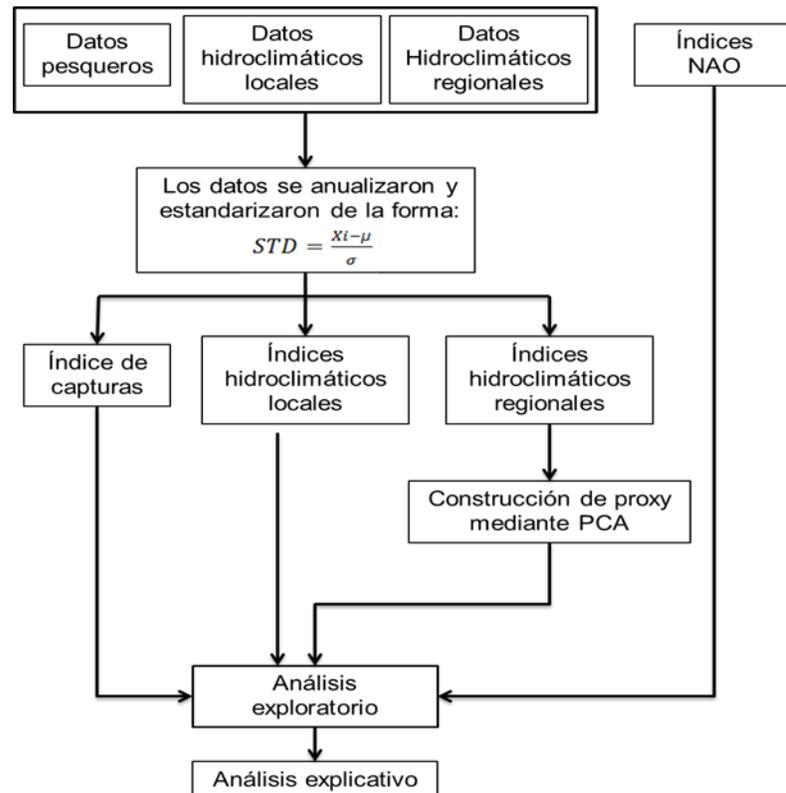
Debido a que los rasgos atmosféricos y oceanográfico dominantes del GdM están relacionados con campos de vientos y circulación marina hemisféricos, y que la productividad costera está influenciada fuertemente por los aportes terrígenos, es de

suponerse que estos rasgos pueden estar determinados, por lo menos en parte, por las oscilaciones atmosféricas de gran escala, tales como la NAO.

## 5.2. DATOS

El núcleo principal de este trabajo está constituido por cuatro tipos de datos: (1) series temporales de capturas de especies de importancia comercial en el GdM (datos pesqueros), (2) series temporales hidroclimáticas locales (datos hidroclimáticos locales) y (3) regionales (datos hidroclimáticos regionales) del GdM e (4) índices NAO, todas de disposición pública.

Para facilitar el entendimiento de los pasos seguidos para la realización del presente estudio, a continuación se presenta un diagrama de flujo con la aproximación metodológica simplificada:



**Figura 3.** Diagrama de flujo de la aproximación metodológica utilizada.  $X_i$  = valor de la variable al tiempo  $i$ ,  $\mu$  = promedio,  $\sigma$  = desviación típica. PCA acrónimo anglosajón de Análisis de Componentes Principales.

### 5.2.1. DATOS PESQUEROS

La fuente de las series temporales de datos de especies de importancia comercial en el GdM, provienen de:

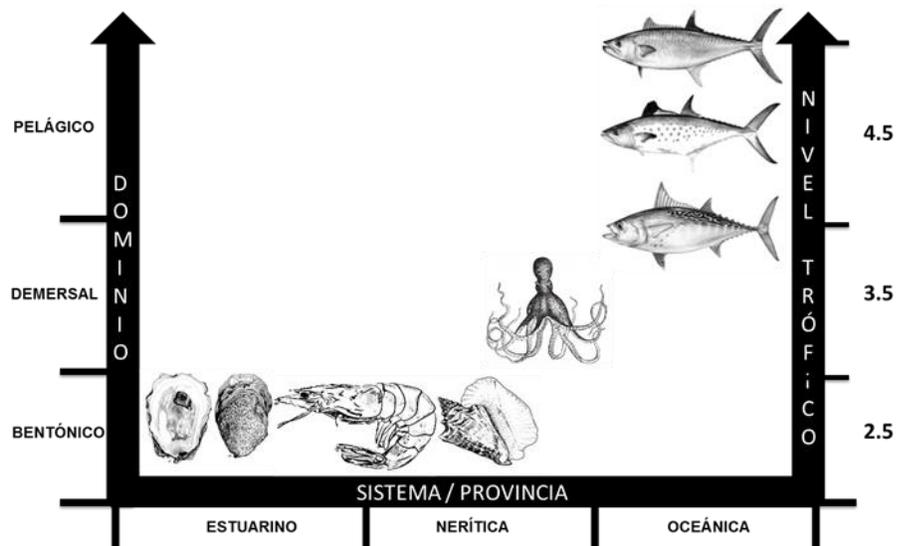
- Anuarios estadísticos mexicanos de pesca, disponibles en las páginas electrónicas de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) (<http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/>).
- La base mundial de datos pesqueros de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) a través del software FishStatJ 1.0.0 (FAO, 2010). Los datos se filtraron por: área de pesca (Atlantic, western central) y por país (México).
- La base de datos de disposición pública del Sea Around Us Project (<http://www.seaaroundus.org/>). Los datos se filtraron por: gran ecosistema marino (Golfo de México) y capturas por especie. En esta base de datos las especies seleccionadas pertenecen a la parte norte y suroeste del GdM.

Para elegir las series temporales concernientes a las capturas de especies de importancia comercial en el GdM, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Que correspondiera a una sola especie, debido a que se encontraron series temporales con especies agrupadas (p. ej. Cangrejos en los anuarios estadísticos de pesca).
- Que la extensión temporal mínima de la serie fuera de 10 años y que la serie fuera lo más actual posible.
- Se consideró un criterio de amplitud funcional trófica y etoecológica, es decir, se eligieron especies de una gama amplia de niveles tróficos y comportamientos diversos para maximizar la trazabilidad del efecto climático sobre un espectro amplio de especies (Fig. 4).

Los niveles tróficos de pesca fueron tomados del índice trófico marino disponible en las páginas electrónicas de la Sea Around Us Project ([www.seaaroundus.org](http://www.seaaroundus.org/)) y de

Fishbase (www.fishbase.org).



**Figura 4.** Representación del criterio trófico y etoecológico en la selección de especies para los análisis. (Imágenes tomadas y modificadas de: <http://foros.pesca.org.mx>).

Cabe mencionar que en aquellos casos donde, por inspección visual, las series temporales presentaron dos o más periodos claramente diferenciados, se descartó la parte más antigua de la serie y se seleccionó la parte más estable y actual de la misma, respetando el criterio de que la serie nueva por lo menos constara de 10 años.

### 5.2.2. DATOS HIDROCLIMATICOS REGIONALES

Se utilizaron 11 variables hidroclimáticas de la cuenca del GdM (entre los 30.0°N, 17.5°S y los -97.5°W, -80.0°E) como son: altura geopotencial (Geopotencial height - Gh), viento zonal (Zonal wind - Zw), viento meridional (Meridonal wind - Mw), temperatura del aire (Air temperatura - At), temperatura superficial del mar (Sea Surface Temperature - SST), humedad relativa (Relative humidity - Rh), humedad específica (Specific humidity - Sh), presión a nivel del mar (Sea Level Pressure - SLP), tasa de precipitación (Precipitation rate - Pr), agua precipitable (Precipitable wáter - Pw) y la radiación de onda larga saliente (Outgoing Longwave Radiation - OLR) descargadas de la página web de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus

siglas en inglés) en <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/> todas a nivel de superficie (exceptuando a Rh y SH que se tomaron a 1000mb y a GH que se tomó a 500mb) con el fin de construir un proxy, mediante un Análisis de Componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés).

### **5.2.2.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)**

El PCA es una técnica de la estadística multivariada, la cual tiene por objetivo transformar un conjunto de variables originales en otro conjunto de variables que no están correlacionadas entre sí, llamadas componentes principales (CP) (Jolliffe, 2002). Estas CP se obtienen de forma decreciente, es decir, la primera describe la mayor variación de los datos originales, la segunda describe esa misma variación pero en menor medida, etc. (Fieller, 2010).

Para el caso particular del presente estudio, se utilizaron las 11 variables hidroclimáticas regionales ya mencionadas, las cuales describen la variabilidad hidroclimática dentro del GdM. El PCA para este estudio tuvo 2 objetivos principales: (1) construcción de un proxy (conjunto de variables que explican la mayor parte de un fenómeno), mediante la identificación de las variables originales más explicativas de la variabilidad hidroclimática del GdM (CP1) y (2) eliminar las variables originales que contribuyen con poca información.

Para empezar con el PCA, se concentraron en una matriz de datos las 11 variables hidroclimáticas del GdM anualizadas y estandarizadas de la forma:

$$STD = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$X_i$  = Valor de la variable

$\mu$  = Promedio de la serie temporal

$\sigma$  = Desviación típica de la misma serie temporal

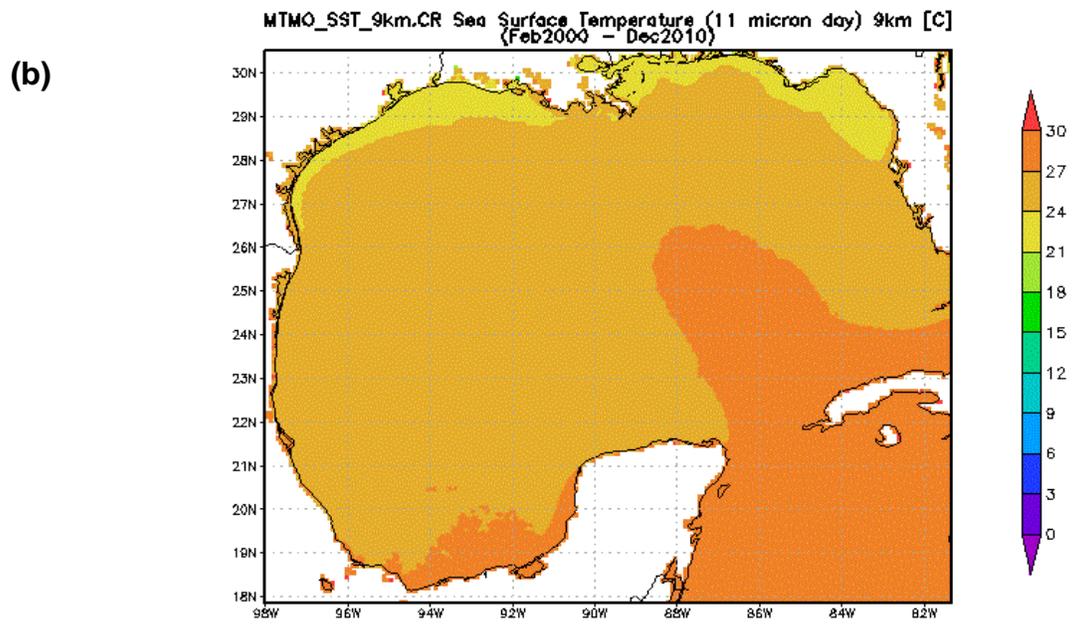
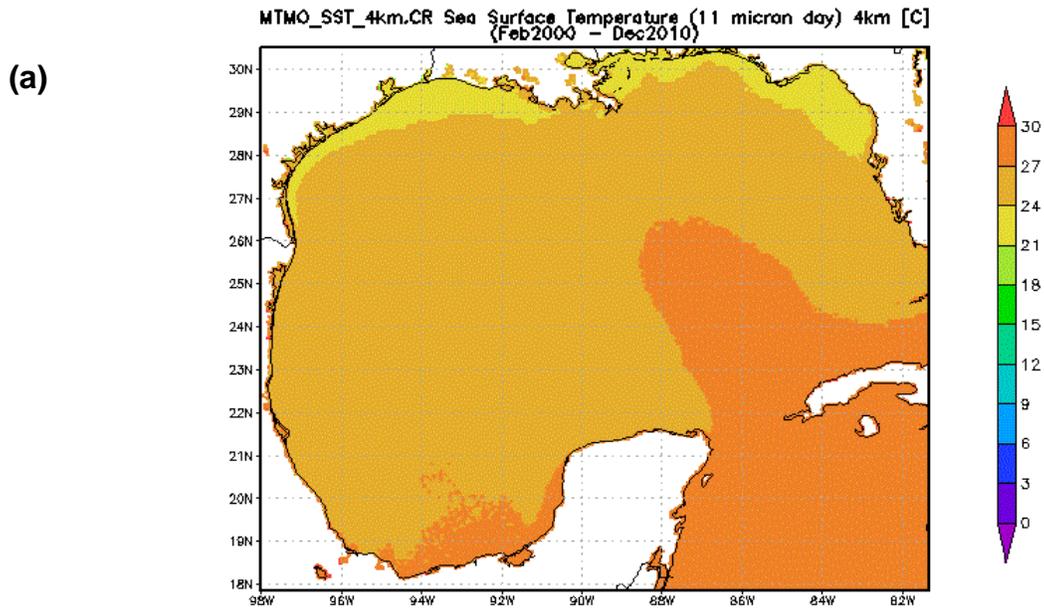
Con la ayuda del programa MATLAB (The MathWorks, Inc., 2009) y mediante el comando “princomp”, el cual calcula automáticamente los CP de la matriz de datos, así como los valores y vectores propios (eigen values y eigen vectors), se llevó a cabo el PCA. Se eligieron las CP que explicaron el 80% de la variabilidad climática acumulada del GdM. La construcción del proxy se llevó a cabo mediante los “scores” (representación de X en el espacio de las CP, las filas corresponden a observaciones y las columnas a las CP) del PCA, los cuales devuelven automáticamente la función “princomp”.

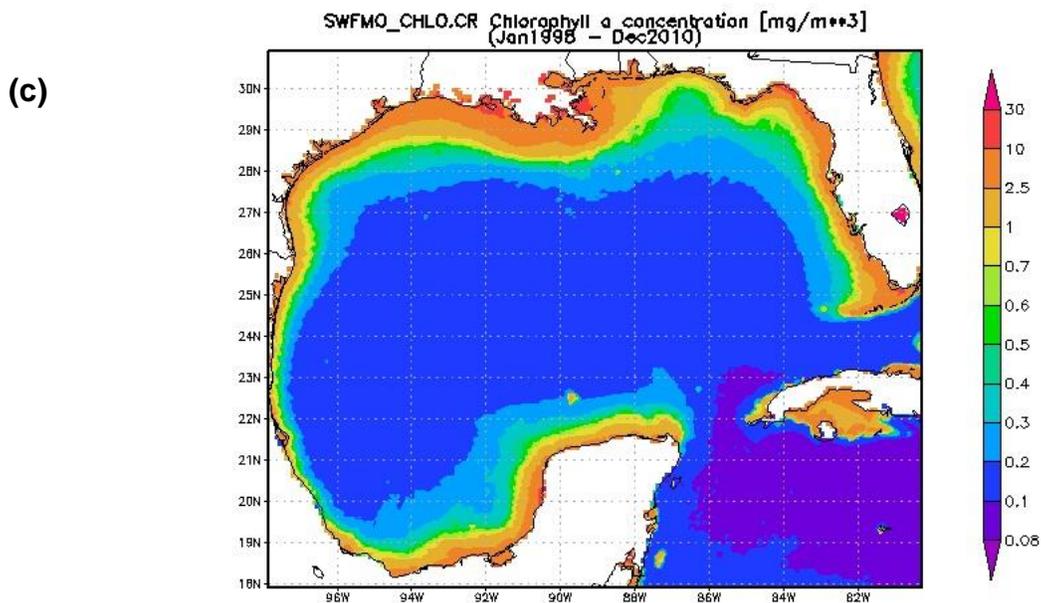
### **5.2.3. DATOS HIDROCLIMATICOS LOCALES**

Con la idea de explorar la vinculación entre la variabilidad climática de gran escala con los efectos ecológicos locales, se utilizaron descriptores derivados de satélites de procesos relacionados con el clima y sus procesos productivos en el litoral del GdM, tales como las series temporales de la temperatura superficial del mar (TSM) a 4 y 9km de resolución espacial y la clorofila-a (Chl-a) (como indicador de la producción primaria) a 4.5 km de resolución global y 1.1 km de resolución local, (Fig. 5), disponibles en la página electrónica de la Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), a través de la herramienta interactiva de visualización y análisis en línea (GIOVANNI, por sus siglas en inglés).

La idea que se adopta sobre la Chl-a, es considerarla como un indicador de producción primaria (Huot *et al.*, 2007) que, aunque no es el término exacto, esta provee la mejor aproximación de la cantidad de alimento potencialmente disponible para las especies de niveles tróficos superiores, que son el objetivo principal del presente estudio.

Por otro lado se contó con un descriptor atmosférico, el Índice de Precipitación Pluvial (IPP), el cual mide la cantidad de agua que se precipitó en las cercanías del litoral del GdM, disponible en la página electrónica de la North American Drought Monitor (<http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/>).





**Figura 5.** Representaciones graficas de los promedios anuales de la temperatura superficial del mar (TSM) del GdM a **(a)** 4km y **(b)** 9km de resolución satelital del periodo 2000 – 2010; y **(c)** promedios anuales de concentración de clorofila-a en el GdM, a 4.5 km de resolución global y 1.1 km de resolución local, del periodo 1998 – 2010.

#### 5.2.4. ÍNDICES NAO

Se usaron de forma exploratoria diferentes índices de la NAO (de diferentes autores) basados en la diferencia normalizada de la presión atmosférica para probar la posibilidad de ajuste a las series temporales de capturas como son:

1. El índice NAO anual de Hurrell (NAH) basado en las diferencias normalizadas de presión atmosféricas entre Ponta Delgada, Azores y Stykkisholmur/Reykjavik, Islandia disponible en:  
<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#naostatann>.
2. El índice NAO anual de Jones (NAJ), el cual, se basa en las diferencias normalizadas de presión atmosféricas entre Gibraltar e Islandia disponible en:  
<http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>.
3. El índice NAO anual de Li & Wang (NLW), que toma las diferencias normalizadas

de presión atmosférica entre los 80°W a 30°E y los 35°N a 65°N, disponible en:  
<http://ljp.lasg.ac.cn/dct/page/65574>.

4. El índice NAO de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) (NAN), anualiza las anomalías de presión atmosférica de la región comprendida entre los 20°N y los 90°N del Océano Atlántico y obtenidas del Sistema de Asimilación de Datos Climáticos (CDAS por sus siglas en inglés) disponible en:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>.

5. El índice NAO invernal (diciembre, enero, febrero y marzo) de Hurrell (NIH) basado en la diferencia normalizada de la presión atmosférica a nivel del mar entre Lisboa, Portugal y Stykkisholmur/Reykjavik, Islandia disponible en:

<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.data.html#naostatdjfm>.

### **5.3. ANÁLISIS**

Los datos pesqueros e hidroclimáticos locales, se anualizaron y posteriormente estandarizaron con la ec. 1, con lo cual todas las series temporales se homogenizaron y, en adelante, las llamaremos índices. Posteriormente se concentraron en una matriz principal junto con los índices NAO para correlacionarlos.

Los índices de los anuarios estadísticos de pesca mexicanos se analizaron por estados (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo), los cuales pertenecen al suroeste del GdM, de esta forma tuvimos un análisis más fino de la información y una idea más clara de las implicaciones del clima en las capturas del GdM.

Hay que recordar que el objeto de los análisis es encontrar relaciones entre índices de distinta naturaleza: una biológica (índices de capturas) y otras atmosféricas de gran escala (índices NAO), así como encontrar la causalidad de estas relaciones a través de

índices hidroclimáticos locales y regionales del GdM. Teniendo entendido lo anterior se procedió a hacer los siguientes análisis:

### **5.3.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO**

Los índices NAO se suavizaron por medias móviles (3 años) con el fin de reducir el ruido (oscilaciones de mediano y corto plazo, así como las causadas por factores esporádicos) y maximizar las tendencias, ya que las series temporales climáticas (en este caso de tipo atmosférico) presentan oscilaciones erráticas a lo largo de toda la serie, a diferencia de los índices de captura que, por ser índices de tipo biológico, sus oscilaciones presentan tendencias con menor variación. El índice NAO suavizado solo se utilizó para hacer las aproximaciones atmosférico-biológicas, ya que las demás variables con las que se correlacionó después pertenecen al tipo atmosférico.

Posteriormente se exploró el tipo y grado de correlación entre los índices NAO para analizar las diferencias o similitudes entre ellos ya que, como se mencionó antes, son de diferentes autores.

Se exploró el tipo y grado de dependencia lineal entre los índices de captura y los NAO, para filtrar aquellos con correlación significativa y determinar cuál de los índices NAO se ajusta mejor a los índices de capturas. Posteriormente, con los índices seleccionados, se construyeron gráficos exploratorios con diferentes desfases temporales con el índice NAO ( $t-1$  y  $t-2$ ), para analizar el comportamiento de las capturas con este índice uno o dos años anteriores, es decir, aun cuando los índices de captura tuvieron correlación significativa con la NAO al tiempo ( $t$ ), ese podía no ser el tiempo (en este caso particular, el año) en que el efecto de la NAO tuviera mayor fuerza sobre las poblaciones biológicas, por poca o mucha que esta sea.

Con los índices de capturas que mostraron correlación significativa con el índice NAO, se exploró el tipo y grado de correlación estadística entre ellos, ya que si existe correlación elevada y significativa, supusimos que estuvieron sujetas a procesos

oceanográficos comunes. Todas las correlaciones y regresiones lineales hechas para los análisis se hicieron con la ayuda del programa estadístico STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., 2007).

Finalmente, se elaboraron correlogramas (análisis de auto-correlación), en los casos donde se requirió mostrar la estacionalidad de alguna serie, así como un análisis espectral para encontrar los períodos característicos de cada índice (NAO y de captura) y, al compararlos entre ellos, encontrar los periodos de oscilación en fase. Ambos análisis se llevaron a cabo con ayuda del programa WinIDAMS 1.3 (UNESCO, 2008) el cual utiliza el método de la Transformación Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés) ya que este método sirve para definir los máximos de densidad espectral y con ello la importancia que tiene un evento respecto de otro (Box *et al.*, 1976; Papoulis, 1978).

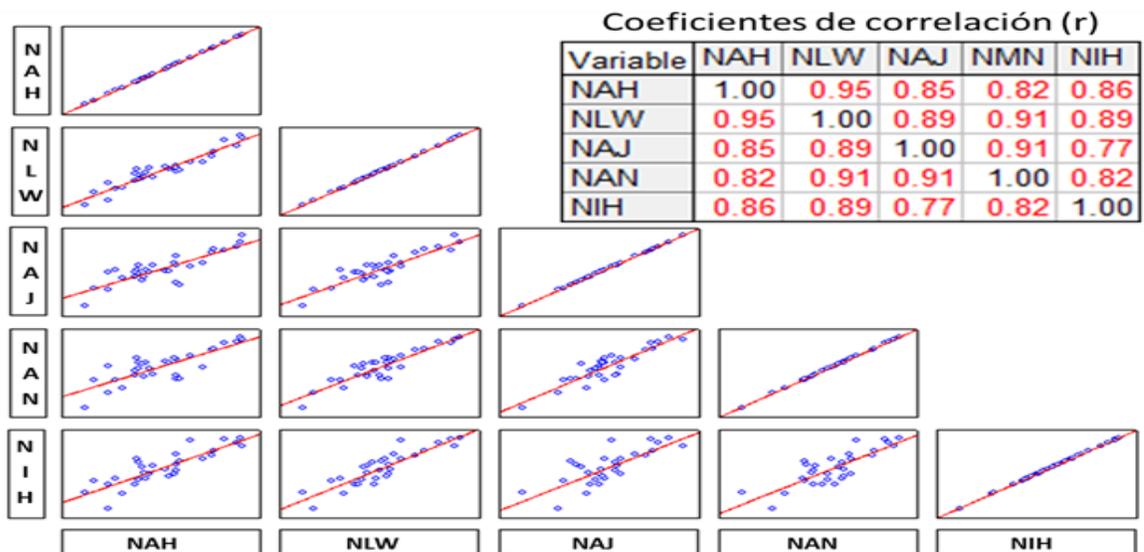
Cabe mencionar que cuando se hace referencia al término “densidad” en los gráficos del análisis espectral debe entenderse como la fuerza de oscilación en el espectro. Aun cuando no es del interés del presente estudio analizar dicha “fuerza”, se señalaron los picos de mayor y menor densidad para observar si coinciden o no entre el índice climático y los de captura. El objetivo principal de este análisis es encontrar la coincidencia espectral entre los índices sea cual sea la densidad de estos. Es importante aclarar que las coincidencias no siempre son exactas, sin embargo, son muy cercanas entre sí.

### **5.3.2. ANÁLISIS EXPLICATIVO**

Una vez seleccionados los índices de capturas y los índices climáticos de gran escala que mejor se ajustaron, se utilizó el proxy y los índices hidroclimáticos locales del GdM para construir hipótesis específicas en función de la etoecología, el nivel trófico, grupos de especies o por especie para encontrar ¿cuáles son los posibles factores hidroclimáticos que los vinculan, y que a su vez son gobernados por las variaciones climáticas de gran escala?

## 6. RESULTADOS

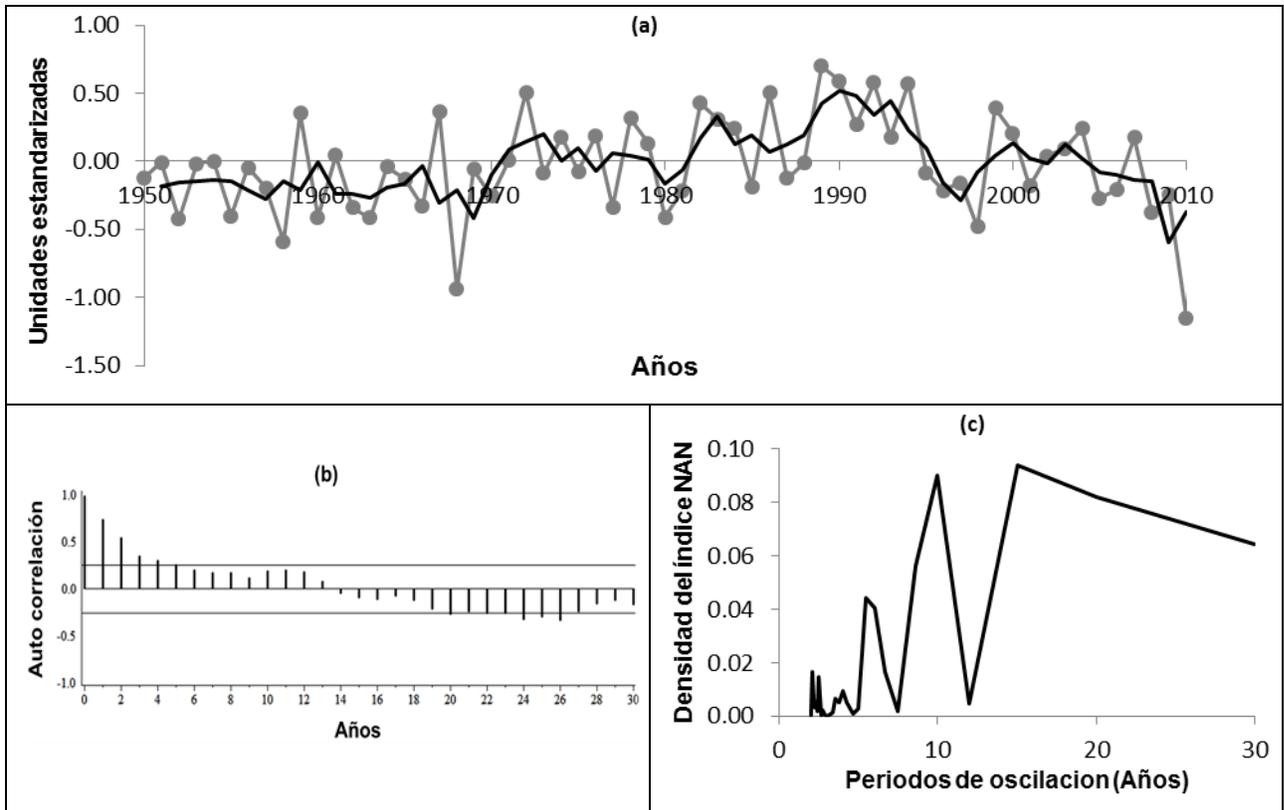
En el análisis exploratorio los índices NAO observaron correlaciones significativas entre ellos, todas de tipo directo. Las correlaciones más altas se observaron entre la NAH y NLW, los cuales son índices contrastantes, ya que el índice NAH es de los más antiguos (teniendo mediciones directas desde finales del siglo XIX), mientras que el índice NLW es el más nuevo (creado en el 2003 con datos de 1950 a la fecha). Las correlaciones más débiles se observaron entre los índices NIH y NAJ (Fig. 6).



**Figura 6.** Correlaciones entre los índices NAO. Las correlaciones en rojo son significativas a  $p < 0.05$ .

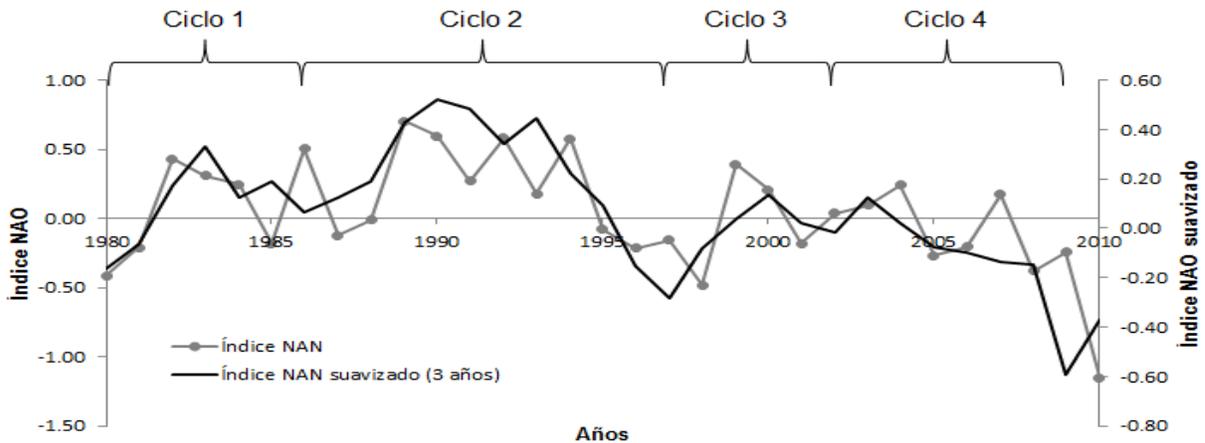
El índice NAO que presentó el mejor ajuste a los índices de capturas fue el tomado de la NOAA (NAN), del cual se usó el periodo de 1980 al 2010 para los análisis exploratorios del presente estudio, debido a que las series temporales de los registros de la captura tienen una extensión máxima de 31 años. El índice NAN tiene registros que datan desde 1950 (Fig. 7a) y, de manera general, el comportamiento de este índice muestra una tendencia ascendente, es decir, la intensidad de la oscilación muestra principalmente valores por arriba de la media. Los datos autocorrelacionados del índice muestran una simetría casi perfecta, indicando que el índice NAN tiene una frecuencia de oscilación de 15 años aproximadamente (Fig. 7b).

Finalmente se observaron periodos de oscilaciones típicas cada 10 y 15 años, es decir, oscilaciones de altas densidades que han sido descritas con anterioridad por otros autores (en el caso de la NAO, la oscilación más mencionada es la decadal, p. ej. Hurrell, 1997; Li & Wang, 2003). Además se observaron oscilaciones secundarias alrededor de los 2.5, 4 y 5.5 años (Fig. 7c).



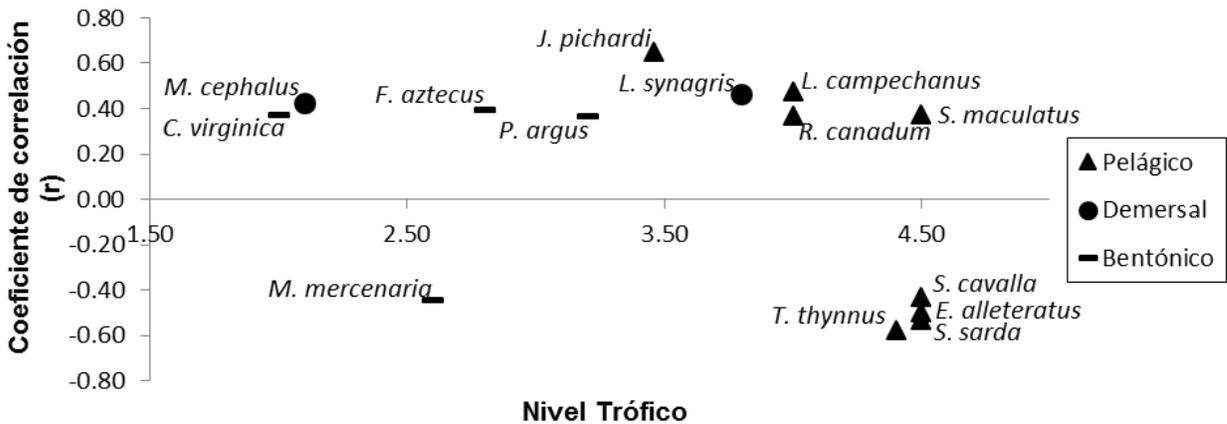
**Figura 7.** (a) Serie temporal del índice NAN (línea gris) y serie temporal del índice NAN suavizados 3 años (línea negra) de 1950 al 2010. (b) Auto correlación que muestra la estacionalidad del índice NAN de 1950 al 2010 y (c) Espectro de los periodos oscilatorios del índice NAN 1950 – 2010.

Durante el periodo 1980-2010 el índice NAN muestra una tendencia lineal descendente, es decir, la intensidad de la oscilación muestra principalmente valores por debajo de la media, además se pueden identificar 4 ciclos, los cuales son debido a los cambios de fase de la NAO o a las diferencias en la intensidad de la oscilación (Fig. 8). De aquí en adelante nos referiremos al índice NAN solo como índice NAO.



**Figura 8.** Serie temporal del índice NAN y serie temporal del índice NAN suavizados 3 años de 1980 al 2010.

De las 264 especies que son capturadas en el GdM (Carta nacional pesquera, 2000), se analizaron y utilizaron los registros de 35 especies (ANEXO 1a), de distinto nivel trófico (N.T.), el cual varió entre 2.00 y 4.50, y etoecológico. Los índices de captura utilizados tuvieron un rango de extensión temporal de entre 10 y 31 años, y de estas 35 especies, 14 tuvieron correlación estadística significativa con el índice NAO, de las cuales 8 especies son pelágicas, 2 demersales y 4 bentónicas. El N.T. de estas especies se mantuvo amplio, teniendo correlaciones significativas positivas de consumidores primarios (N.T.= 2.00), hasta correlaciones significativas inversas de grandes pelágicos (N.T.= 4.50), (Fig. 9).

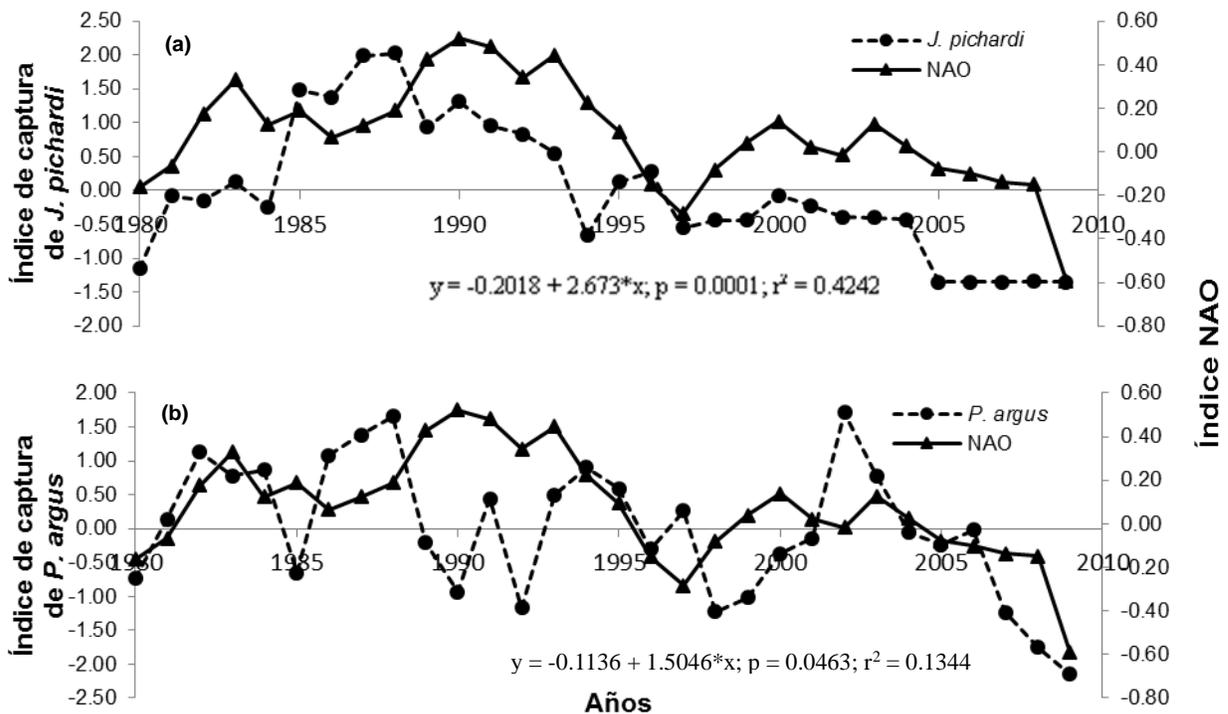


**Figura 9.** Especies que mostraron correlación estadística significativa ( $p < 0.05$ ) con el índice NAO.

Como se puede observar en la Fig. 9 no se formaron grupos evidentes entre las especies que mostraron correlación significativa con la NAO lo que nos brinda la primera aproximación de que el efecto de la NAO, sobre las especies de peces del GdM, es heterogéneo.

La especie que mostró mayor correlación significativa con el índice NAO fue *Joturus pichardi* (bobo o bobo mullet) (Fig. 10a), mientras que la especie con la correlación significativa más baja fue *Panulirus argus* (langosta espinosa del Caribe) (Fig. 10b), ambas de tipo directas.

En el ANEXO 1b se presentan los gráficos de todas las correlaciones significativas entre el índice NAO y los de capturas con valores de significancia (p) y coeficientes de determinación ( $r^2$ ) a detalle y por especie.



**Figura 10:** Correlación entre el índice NAO y (a) el índice de captura de *J. pichardi* y (b) el índice de captura de *P. argus*.

Se observaron mejorías significativas (aumento en el valor del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y disminución en el de significancia ( $p$ )) en las correlaciones con algunos índices de capturas al desfazar el índice NAO al tiempo (t-1) y (t-2). En la Tabla 1 se muestran los valores de ( $r^2$ ) y de ( $p$ ) de los desfases de la NAO con los índices de captura únicamente de las bases de datos FishStatJ y SAU.

Como se puede observar, las especies *Scomberomorus maculatus* (Sierra), *Lutjanus campechanus* (huachinango), *Lutjanus synagris* (biajaiba) y *Mugil cephalus* (lisa), mostraron una mejor correlación significativa con el índice NAO (t-2) mientras que *Sarda* (bonito del atlántico), *Scomberomorus cavalla* (peto) y *Menippe mercenaria* (cangrejo moro) mostraron una mejor correlación significativa con el índice NAO (t-1). Las especies *Thunnus thynnus* (atún aleta azul) *Rachycentron canadum* (cobia ó esmedregal), *J. pichardi* (bobo), *P. argus* (langosta espinosa del Caribe) y *Farfantepenaeus aztecus* (camarón café) no mejoraron su correlación con algún desfase.

**Tabla 1.** Desfases entre el índice NAO (t-1 y t-2) con los índices de captura tomados de la base de datos FishStatJ y SAU.

Especie	NAO (t)		NAO (t-1)		NAO (t-2)	
	$r^2$	p	$r^2$	p	$r^2$	p
<i>S. sarda</i>	0.28	0.0026	<b>0.29</b>	0.0021	0.20	0.0116
<i>S. cavalla</i>	0.18	0.0179	<b>0.25</b>	0.0046	0.21	0.0107
<i>S. maculatus</i>	0.14	0.0349	0.17	0.0233	<b>0.22</b>	0.0089
<i>T. thynnus</i>	<b>0.33</b>	0.0198	0.21	0.0714	0.26	0.0421
<i>L. campechanus</i>	0.22	0.0079	0.38	0.0002	<b>0.53</b>	0.00001
<i>R. canadum</i>	<b>0.13</b>	0.0446	0.03	0.3078	0.0019	0.8206
<i>J. pichardi</i>	<b>0.42</b>	0.0001	0.26	0.0038	0.21	0.0096
<i>L. synagris</i>	0.21	0.0094	0.35	0.0005	<b>0.46</b>	0.0003
<i>M. cephalus</i>	0.18	0.0184	0.30	0.0016	<b>0.34</b>	0.0007
<i>P. argus</i>	<b>0.13</b>	0.0463	0.07	0.1346	0.07	0.1460
<i>F. aztecus</i>	<b>0.15</b>	0.0402	0.04	0.3049	0.0045	0.7407
<i>M. mercenaria</i>	0.19	0.0143	<b>0.29</b>	0.0021	0.10	0.0886

En negritas se muestran los coeficientes de correlación ( $r^2$ ) máxima alcanzados para cada especie.

De forma particular los índices de captura tomados de los anuarios estadísticos de CONAPESCA mostraron que *Euthynnus alletteratus* (bonito) de Tabasco, *F. aztecus* (camarón café) de Veracruz y *Crassostrea virginica* (ostión) de Tamaulipas y Campeche aumentaron su correlación significativa al desfazar el índice NAO dos años (t-2), en tanto que *E. alletteratus* (bonito) de Campeche, *S. maculatus* (sierra) de Yucatán, *M. cephalus* (lisa) de Tamaulipas aumentaron su correlación significativa con la NAO al desfazarla un año (t-1). *M. cephalus* de Quintana Roo no mostró mejoría en su correlación con algún desfase (Tabla 2).

Cabe destacar que al aplicar los desfases se esperaba que estos alteraran las correlaciones de forma similar o proporcional entre las especies del mismo N.T., o bien las especies iguales pero de diferente región geográfica (estado), sin embargo como se muestra en las Tabla 1 y 2, el efecto de los desfases de la NAO sobre las capturas tienen un efecto heterogéneo entre las especies, no importando su N.T. o región geográfica de captura.

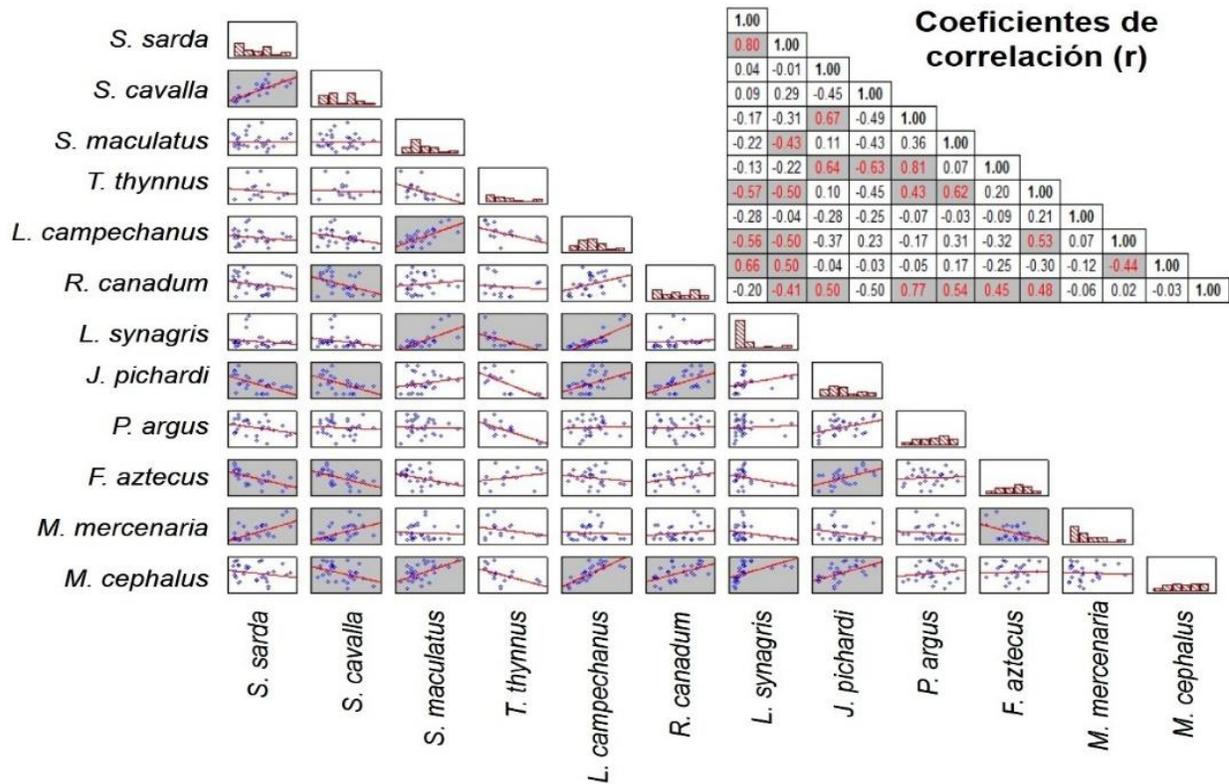
**Tabla 2.** Desfases entre el índice NAO (t-1 y t-2) con los índices de captura tomados de la base de CONAPESCA.

Especie / ESTADO	NAO (t)		NAO (t-1)		NAO (t-2)	
	r2	p	r2	p	r2	p
<i>E. alletteratus</i> TAB.	0.25	0.0178	0.27	0.0124	<b>0.47</b>	0.0004
<i>E. alletteratus</i> CAM.	0.32	0.0059	<b>0.34</b>	0.0038	0.12	0.1143
<i>S. maculatus</i> YUC.	0.20	0.0097	<b>0.26</b>	0.0032	0.22	0.0075
<i>M. cephalus</i> TAM.	0.13	0.0411	<b>0.17</b>	0.0179	0.15	0.0266
<i>M. cephalus</i> QR.	<b>0.23</b>	0.0054	0.10	0.0776	0.07	0.1453
<i>F. aztecus</i> VER.	0.13	0.0385	0.24	0.0051	<b>0.33</b>	0.0006
<i>C. virginica</i> TAM.	0.13	0.039	0.11	0.057	<b>0.19</b>	0.0126
<i>C. virginica</i> CAM.	0.15	0.0286	0.18	0.0171	<b>0.27</b>	0.0027

TAM.= Tamaulipas, TAB.= Tabasco, CAM.= Campeche, YUC.= Yucatán y QR= Quintana Roo. En negritas se muestran los coeficientes de correlación ( $r^2$ ) máxima alcanzados para cada especie.

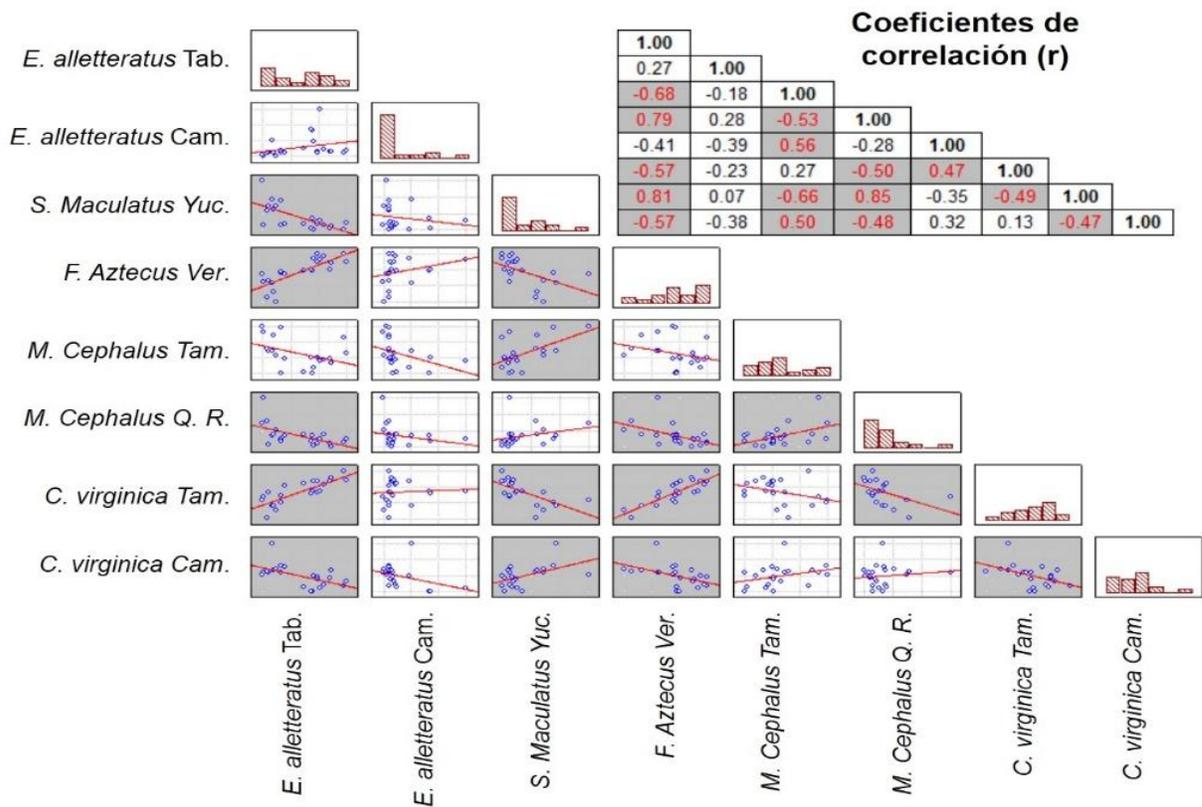
Al correlacionar los índices de captura de las 14 especies entre sí, se pensó que mostrarían una correlación significativa de los niveles tróficos cercanos, sin embargo,

como se muestra en la Fig. 11, se encontraron correlaciones significativas entre especies de distintos niveles tróficos. Por ejemplo *S. sarda* (bonito del atlántico) mostró correlación directa significativa con *S. cavalla* (peto) (N.T.= 4.5,  $r = 0.80$ ) y *M. mercenaria* (cangrejo moro) (N.T.= 2.60,  $r = 0.66$ ), mientras que con *J. pichardi* (bobo) (N.T.= 3.46,  $r = -0.57$ ) y *F. aztecus* (camarón café) (N.T.= 2.80,  $r = -0.56$ ) mostró correlación inversa.



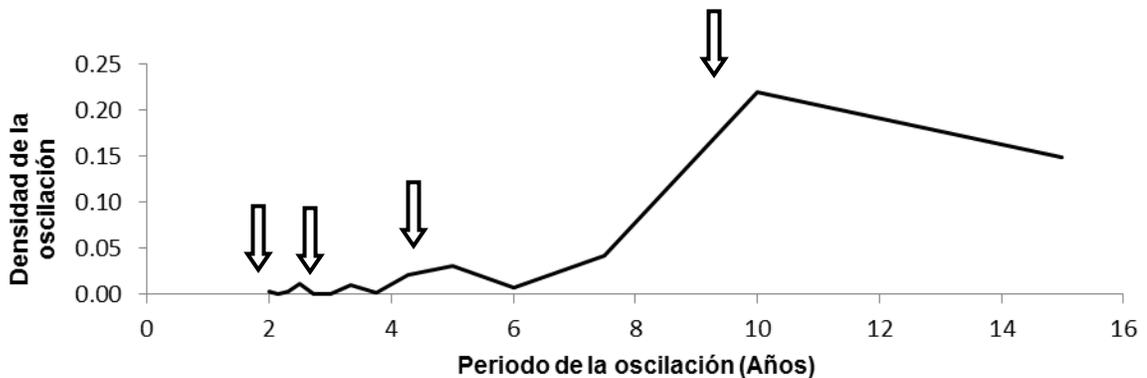
**Figura 11.** Coeficientes de correlación entre los índices de captura de la base de datos FishStaTJ y SAU. Las correlaciones marcadas en gris son significativas a  $p < 0.05$ .

Respecto a los índices de especies tomados de los anuarios estadísticos de CONAPESCA, al principio se pensó que los índices de una misma especie, pero de diferente región geográfica (estado), mostrarían correlaciones significativas entre ellas, sin embargo, la Fig. 12 sugiere que esta hipótesis solo se cumple para las especies de N. T. bajo (*M. cephalus* (lisa) y *C. virginica* (ostión)) y no así para las especies de N. T. alto como *E. alletteratus* (bonito).



**Figura 12.** Correlación entre los índices de especies tomados de los anuarios estadísticos de CONAPESCA. Las correlaciones marcadas en gris son significativas a  $p < 0.05$ .

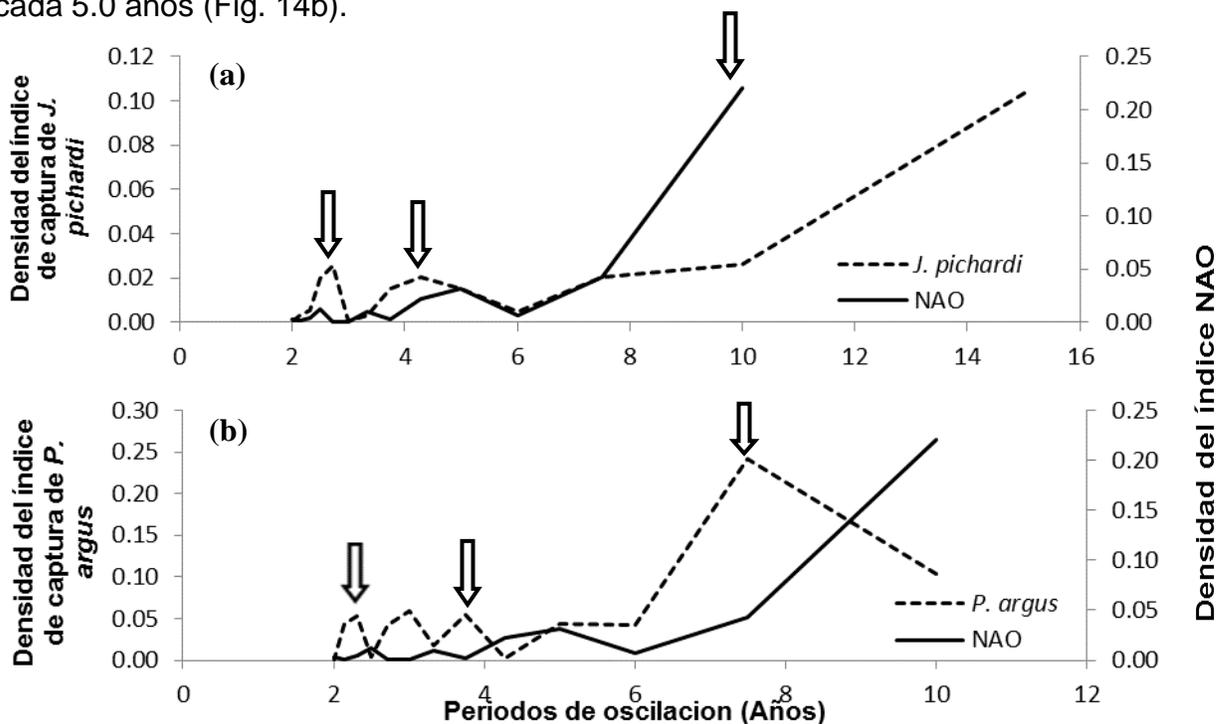
El análisis espectral de la NAO para el periodo de 1950-2010 ya fue descrito anteriormente (Fig. 7c), mientras que el periodo de 1980–2010 mostró una oscilación típica decadal, es decir, cada 10 años acompañada de tres oscilaciones secundarias alrededor de los 2.5, 3.5 y 5.0 años (Fig. 13).



**Figura 13.** Espectro de los periodos oscilatorios del índice NAO 1980 – 2010. Las flechas indican el periodo de oscilación típico de la NAO para este periodo (10 años) y las oscilaciones secundarias.

Al comparar el espectro del índice NAO con los espectros de los índices de captura, se encontraron oscilaciones en fase entre ellos, es decir, picos coincidentes o muy cercanos entre sí al traslapar ambos espectros. Continuando con los ejemplos de los índices de especies que mostraron la mayor y menor correlación estadística significativa (Fig. 8a y 8b, respectivamente), en el primer caso (*J. pichardi*) mostró un pico característico cada 15 años que no está en fase con la NAO, sin embargo, en el año 10, (que es la frecuencia de oscilación característica de la NAO), coincide con el comienzo en el incremento en la densidad del índice de captura de esta especie. Además a esta oscilación la acompañan oscilaciones secundarias que sí están en fase con el índice NAO alrededor de los 2.0 y 4.5 años (Fig. 14a).

Con respecto al índice de captura de *P. argus*, se observó un pico característico cada 7.5 años que no está en fase con la NAO, sin embargo, los picos secundarios que lo acompañan si están en fase con la oscilación hemisférica alrededor de los 2.5 y casi cada 5.0 años (Fig. 14b).



**Figura 14.** Representación de los periodos de oscilación en fase entre el índice NAO y (a) el índice de captura de *J. pichardi* y (b) el índice de captura de *P. argus*. Las flechas indican coincidencias exactas o cercanas en las oscilaciones y el pico característico de oscilación en cada especie.

En la Tabla 3 se presenta el listado de las especies con los años en que mostraron oscilaciones en fase con el índice NAO y en el Anexo 2 se presentan todos los gráficos de estas mismas oscilaciones.

Cabe destacar que, sin importar la región geográfica de los índices de captura, las oscilaciones de menor densidad se observaron entre los 2 y los 4.4 años, mientras que la de mayor densidad se observaron frecuentemente entre los 5, 10 y en algunos casos más de 11 años.

**Tabla 3.** Periodos de oscilación en fase entre el índice NAO y los índices de capturas.

<b>Especie</b>	<b>Periodos de oscilación en fase (Años)</b>				
<i>E. alletteratus TAB</i>	2.44*	4.40	11.00**		
<i>E. alletteratus CAM</i>	2.44*	3.14	5.50**		
<i>S. sarda</i>	2.30	2.72*	5.00**		
<i>S. cavalla</i>	2.30	2.72*	3.75	5.00	7.50**
<i>S. maculatus</i>	3.00**	6.00*			
<i>S. maculatus YUC</i>	2.25	3.60*	9.00**		
<i>T. thynnus</i>	2.66*	4.00	8.00**		
<i>L. campechanus</i>	2.50*	3.00	4.28	7.50**	
<i>R. canadum</i>	2.30	3.00*	10.00**		
<i>L. synagris</i>	2.30*	4.28	7.50**		
<i>J. pichardi</i>	2.72	4.28*	7.50**		
<i>P. argus</i>	2.30	3.00	3.75	5.00*	7.50**
<i>F. aztecus</i>	2.36	3.25*	5.20	13.00**	
<i>F. aztecus VER</i>	3.00	3.75*	7.50**		
<i>M. mercenaria</i>	2.14*	3.00	3.75	5.00	10.00**
<i>M. cephalus</i>	2.50*	3.00	4.28	6.00	10.00**
<i>M. cephalus TAM</i>	2.50*	3.00	3.75	5.00	7.50**
<i>M. cephalus QR</i>	2.50*	4.28**			
<i>C. virginica TAM</i>	2.50	3.00*	5.00**		
<i>C. virginica CAM</i>	2.14*	3.00	5.00**		

\*Oscilación de menor densidad

\*\*Oscilación de mayor densidad

### 6.1. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)

El PCA mostró que la primera componente principal (CP1) representa el 36% de la varianza total de los parámetros hidroclimáticos del GdM y sugiere que Gh, Mw, At, SST, SLP y OLR son las variables que más contribuyen a la variabilidad hidroclimática del GdM. Así mismo, la suma acumulada de los primeros tres componentes principales representan el 80% de toda la variabilidad hidroclimática del GdM (Fig.15).

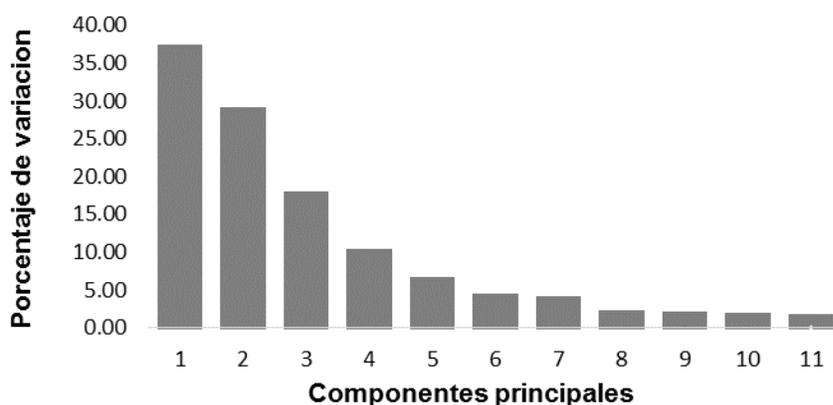


Figura 15. Porcentaje de variación del PCA de los parámetros hidroclimáticos regionales del GdM.

Se determinaron las correlaciones entre la NAO y las componentes principales (Tabla 4), mostrando correlación directa significativa únicamente con el CP3 (Fig. 16).

Tabla 4. Coeficientes de correlación (r) entre el índice NAO y las componentes principales del GdM.

Componente principal	NAO
1	-0.35
2	-0.17
3	<b>0.55*</b>

\*correlación significativa ( $P < 0.05$ ) y representada en la figura 16.

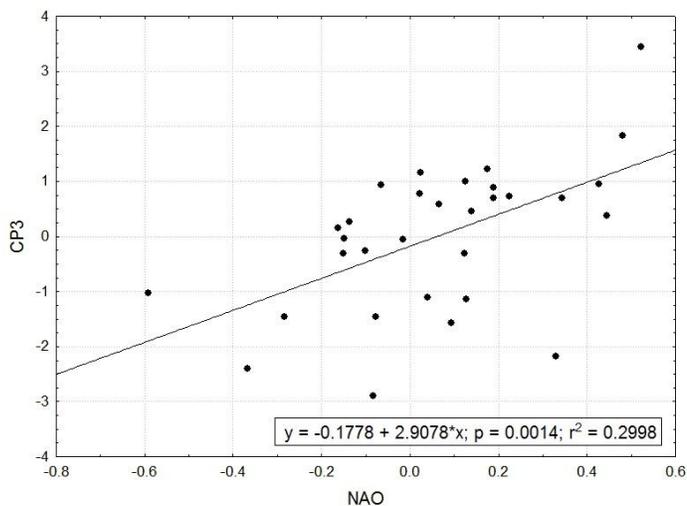
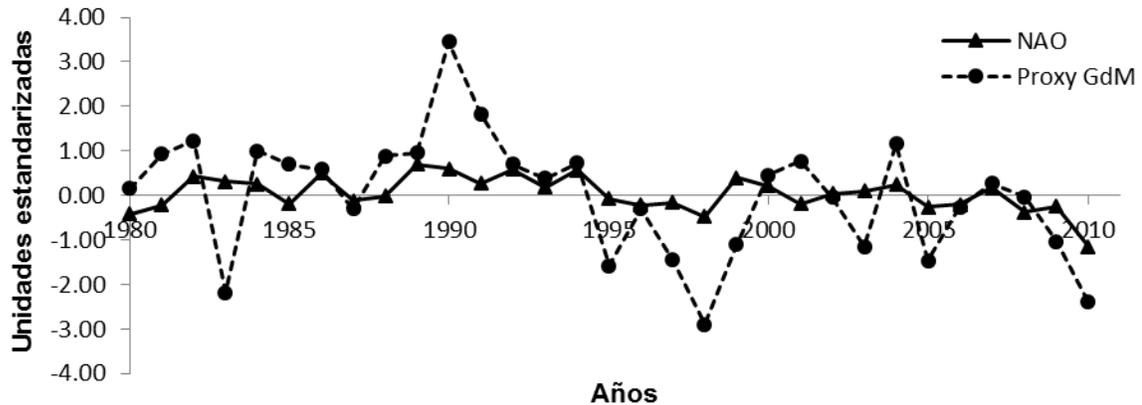


Figura 16. Correlación entre en índice NAO y la CP3.

Por lo anterior se determinó que, para el presente estudio, el proxy que describe la variabilidad hidroclicmática del GdM (proxy GdM), y que además es modulado por la Oscilación del Atlántico Norte, es la CP3 (Fig. 17). Esta componente principal representa el 16% varianza total de los parámetros hidroclicmáticos del GdM.

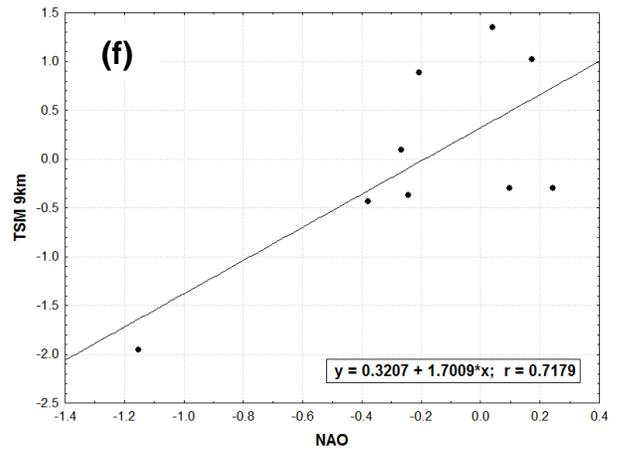
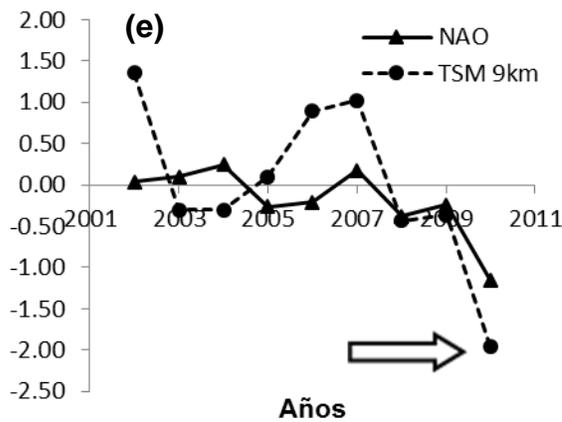
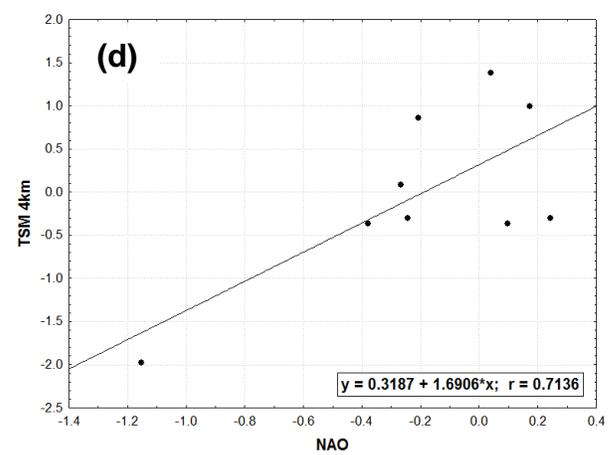
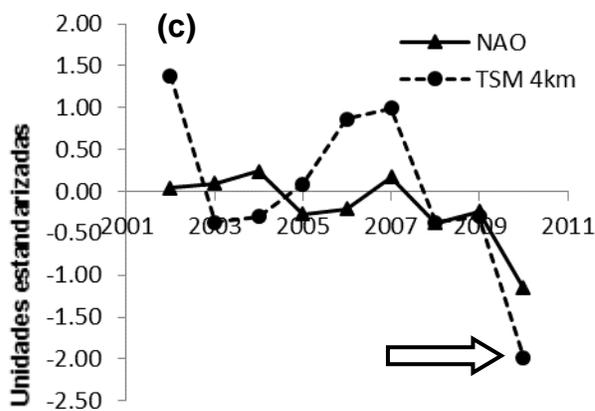
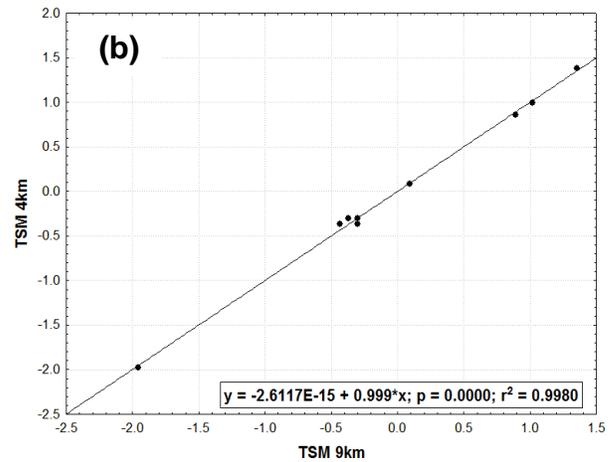
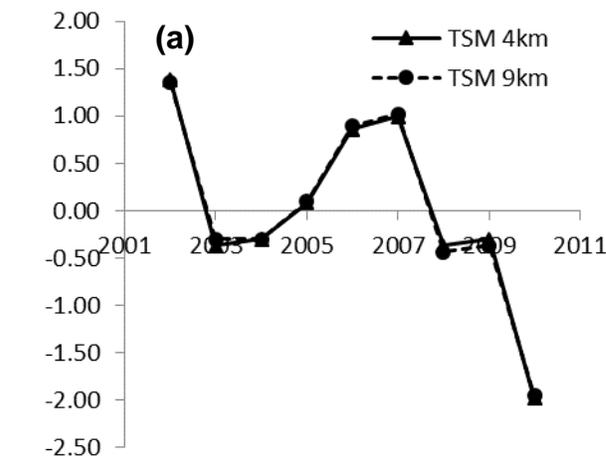


**Figura 17.** Comportamiento entre el proxy de los parámetros hidroclicmáticos regionales del GdM (proxy GdM) y la NAO.

## 6.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM)

Entre los índices de la TSM (a 4 y 9km de resolución espacial y para el periodo del 2002 al 2010) no se observaron diferencias significativas (Fig. 18a y b), sin embargo, se determinó una correlación directa significativa entre la NAO y la TSM a 4km con valores de  $r^2= 0.50$  y  $P= 0.0309$  (Fig. 18c y d), mientras que con la resolución de 9km la correlación mejoró mostrando valores de  $r^2= 0.51$  y  $P= 0.0294$  (Fig. 18e y f).

Cabe destacar que cuando el índice NAO registró el valor más bajo (en 50 años) en el 2010, la TSM también mostró un valor negativo muy característico en relación con los demás años.

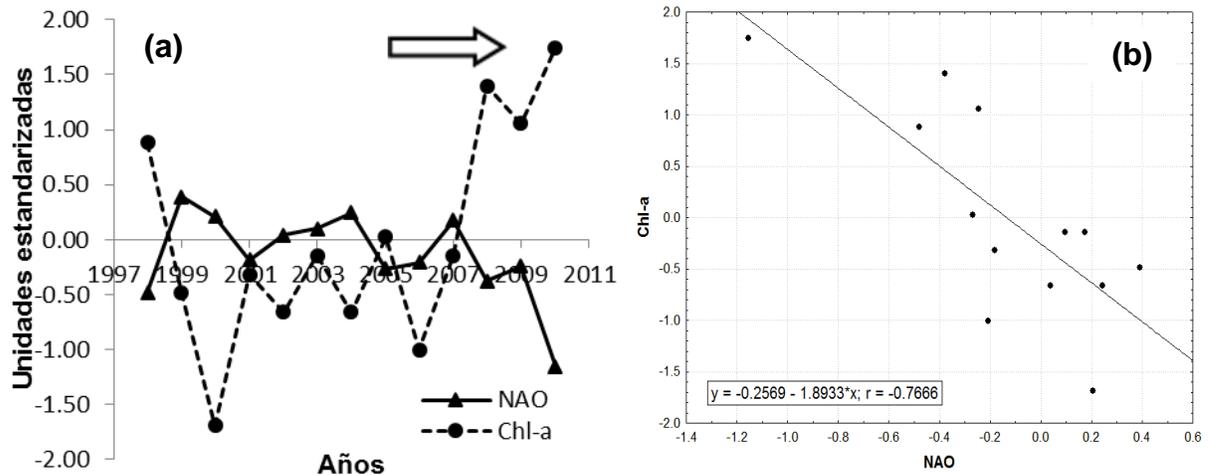


**Figura 17.** Correlación entre (a) la TSM a 4 y 9 km de resolución espacial, (c) la NAO y la TSM a 4km y (e) a 9km de resolución espacial; dependencia lineal de la TSM: (b) a 4km respecto de la de 9km, (d) 4 y (f) 9km respecto de la NAO. Las flechas indican el valor negativo más bajo del índice de TSM del litoral del GdM.

### 6.3. CLOROFILA-a (Chl-a)

Como se puede observar en la figura 5c, la concentración de Chl-a varía a lo largo del litoral del GdM, teniendo las concentraciones más altas en la zona Norte del GdM (Vermilion Bay, Luisiana y en los alrededores de la desembocadura del río Mississippi, Estados Unidos).

El índice de Chl-a mostró una correlación inversa significativa con la NAO para el periodo de 1998–2010, con valores de  $r^2 = 0.58$  y  $P = 0.0022$ , y se observó una oscilación positiva peculiar que coincide con el valor más negativo de la NAO (en 50 años) en el 2010 (Fig. 18).



**Figura 18.** Correlación entre el índice NAO y (a) el índice de chl-a del litoral de GdM. (b) dependencia lineal del índice de Chl-a con respecto al índice NAO. La flecha indica el valor más alto del índice de Chl-a del litoral del GdM.

### 6.4. ÍNDICE DE PRECIPITACION PLUVIAL (IPP)

En la parte oeste del GdM (estado de Tamaulipas), suroeste (perteneciente a los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche) y sur (estado de Yucatán), en México, se observó que la NAO solo tuvo correlación significativa con la estación meteorológica de Jalapa, Veracruz (Tabla 5). Mientras que, para la parte Norte del GdM (perteneciente a los estados de Texas, Luisiana, Mississippi, Alabama y Florida), en Estados Unidos, no se observaron correlaciones significativas entre la NAO y el IPP (Tabla 6).

**Tabla 5.** Coeficientes de correlación (r) entre la NAO y el IPP de la parte **Suroeste** del GdM.

Estación	NAO
4003 Campeche	0.35
4004 Candelaria	0.08
4008 Champotón	0.34
4013 EN-Bolnchen	0.00
20152 Temascal	0.27
23005 Chetumal	0.07
28110 Tampico	0.09
30027 Coatzacoalcos	-0.28
30066 Huatusco	0.13
30075 Jalapa	<b>-0.40*</b>
30120 Orizaba-Coscomatepec	-0.09
30192 Veracruz	-0.08
30229 Tuxpan	0.02
31019 Mérida	-0.05
31023 Progreso	0.02
31042 Valladolid	-0.11
9048 Tacubaya	0.12
19022 General Bravo	-0.04
21118 Huachinango	-0.23
28165 Ciudad Victoria	-0.25

**Tabla 5. .** Coeficientes de correlación (r) entre la NAO y el IPP de la parte **Norte** del GdM.

Estación	NAO
11084 Brewton	0.03
15478 Mobile	-0.34
80211 Apalachicola	0.11
80369 Avon park	-0.01
81544 Chipley	-0.07
82158 Daytona	-0.13
83186 Fort Myers	0.20
84289 Inverness	-0.04
84358 Jacksonville	0.05
84570 Key West	-0.10
84731 Lake City	-0.10
85076 Lisbon	0.01
86628 Orlando	-0.17
86997 Pensacola	-0.27
87205 Plant city	-0.19
87886 ST Petersburg	-0.08
88758 Tallahassee	-0.16
88788 Tampa	-0.24
90211 Alma Faa Airport	-0.02
91340 Brunswick	-0.03
91345 Brunswick Faa Airport	0.03
160104 Alexandria	0.17
160549 Baton Rouge	0.12
161287 Bunkie	0.12
162367 De Ridder	0.16
162534 Donaldsonville	-0.06
164700 Jennings	0.02
165026 Lafayette	0.10
165078 Lake charles	-0.13
165266 Leesville	0.29
166394 Morgan City	0.22
166660 New Orleans	-0.02
221852 Collins	0.24
221865 Columbia	0.23
224939 Laurel	0.04
225614 Mccomb	0.16

410235 Anahuac	-0.03
410428 Austin	-0.10
410493 Ballinger 2	-0.07
411136 Brownsville	-0.20
411138 Brownwood	-0.10
411810 Cleveland	0.28
411889 College Station	0.15
412015 Corpus Christi	-0.01
412048 Cotulla	0.01
412360 Del Rio	-0.11
413060 Falcon	0.01
413183 Flatonia	-0.06
414058 Herbronsville	-0.13
414307 Houston	-0.04
412810 Kingsville	-0.06
414903 La Grange	0.03
415424 Lufkin	0.23
415661 Mathis	-0.21
415702 Mcalen	-0.13
416210 Navarro	0.20
416750 Palacios	-0.10
417174 Port Arthur	0.32
417943 San Angelo	-0.20
417945 San Antonio	0.04
418446 Somerville	0.12
419364 Victoria	-0.10
419419 Waco	-0.20

\*correlación significativa (P< 0.05)

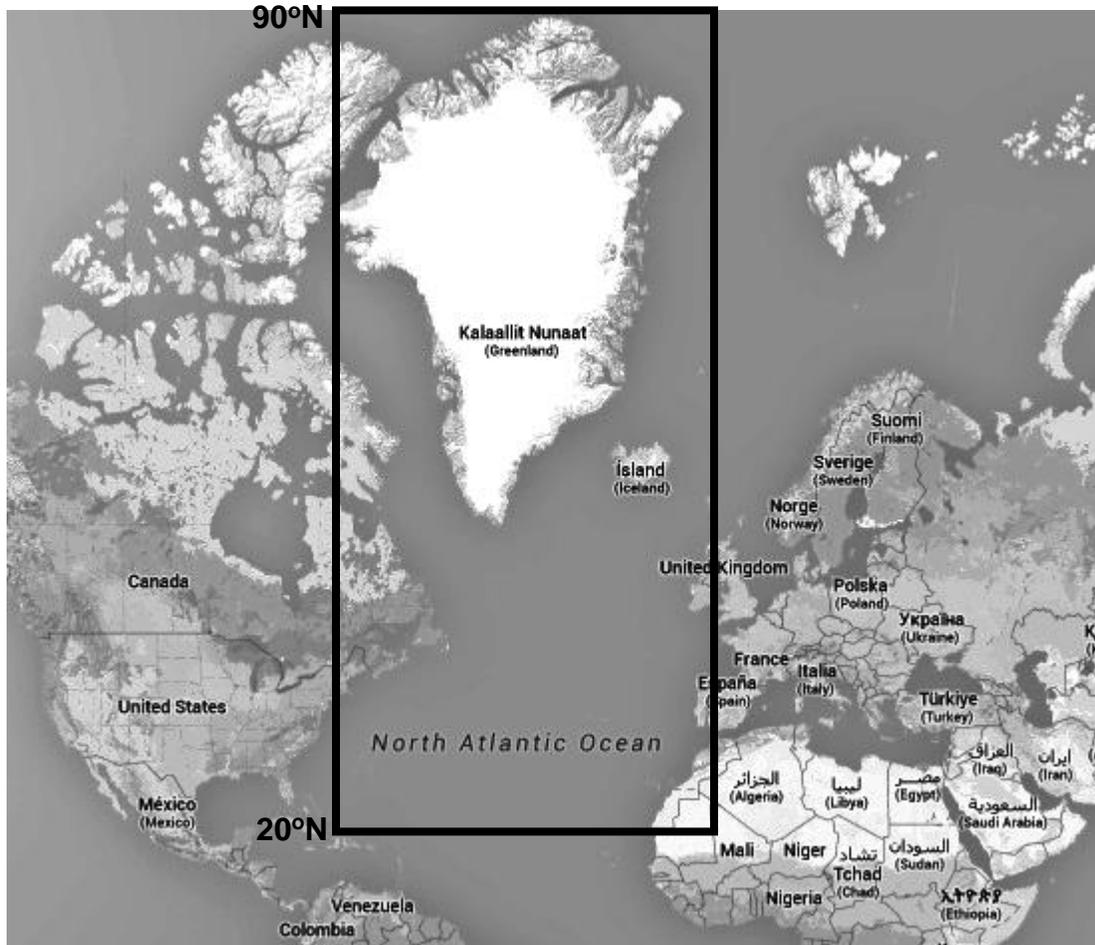
## 7. DISCUSIÓN

La correlación de series temporales atmosféricas de gran escala, contra series temporales biológicas mediante el uso de índices, de acuerdo con Stenseth *et al.* (2003), tienen la ventaja de que las relaciones son más fuertes, como se mostró al correlacionar el índice NAO contra los índices de captura. Sin embargo, tiene desventajas en la búsqueda de una relación entre variables climáticas de gran escala y variables climáticas locales (p. ej. lo visto al relacionar la NAO y el IPP en el presente estudio).

Existen una amplia variedad de índices que describen la variabilidad espacial de la NAO, sin embargo, no hay un índice universalmente aceptado de este fenómeno (o de algún otro fenómeno climático) que describa los patrones de temporalidad del mismo (Li & Wang, 2003; Stenseth *et al.*, 2003). Por esta razón, en este estudio se utilizaron de forma exploratoria 5 índices NAO de autores diferentes ya que, como se mencionó anteriormente, no existe un criterio único para saber ¿cuál es más exacto que otro? o ¿cuál se ajustaba mejor a los índices biológicos (capturas) del GdM? Y, a pesar de que estos índices están muy correlacionados entre sí (Fig. 6), el índice NAO obtenido de la NOAA es el que mejor se ajustó a los índices de capturas y al proxy compuesto por los parámetros hidroclimáticos regionales del GdM, debido a que registra las variaciones de la presión a nivel del mar entre los 20°N y los 90°N del Océano Atlántico y esta área geográfica es más extensa y más próxima al GdM, en comparación a los demás índices NAO (Fig. 19).

Los períodos de oscilación de la NAO entre 1980 y 2010 se observaron cada 10.0 años, acompañados de oscilaciones secundarias a los 2.5, 4.0 y 5.5 años, mientras que para el periodo de 1950 al 2010 se encontró una oscilación más (a los 15.0 años), casi de la misma intensidad que de la de 10. La oscilación decadal de la NAO ya ha sido estudiada con anterioridad (Hurrell (1997), Greatbach (2000), Clarke *et al.* (2001); Li & Wang (2003)), sin embargo, la oscilación de 15 años ha sido poco mencionada (p. ej.

Bojariu, 2008), lo cual puede dar pie a nuevas investigaciones acerca de las afectaciones de esta oscilación (Fig. 7c).



**Figura 19.** Área geográfica aproximada sobre la cual la NOAA registra los diferenciales de presión atmosférica a nivel del mar, para la creación de su índice NAO.

Se ha descrito con anterioridad la influencia del clima de gran escala sobre las capturas de especies de importancia comercial (p. ej. Borja *et al.*, 1996; 1998 y Borja & Franco, 2006), y de forma particular la influencia de la NAO sobre la abundancia de especies en el Océano Atlántico (p. ej. Borja & Santiago, 2002; Brander & Mohn, 2004; Meiners, 2007), sin embargo, estos esfuerzos por investigar la importancia del clima sobre poblaciones explotadas de peces se ha documentado casi por completo para el occidente del Océano Atlántico, mientras que para la parte oriental estos estudios son

muy escasos. En este trabajo se encontraron tres resultados interesantes para la cuenca del GdM, y que además están relacionados entre sí, en primer lugar tenemos las relaciones directas e inversas entre la NAO y los volúmenes de capturas de especies de importancia comercial en el GdM, en segundo término se demostró que los parámetros hidroclimáticos regionales de la misma área geográfica están regidos, en parte, por la NAO; y por último se ha puesto de manifiesto la relación estrecha que existe entre la NAO, la TSM y la Chl-a, tomada como indicador de productividad primaria, a nivel local.

La NAO mostró correlaciones significativas con volúmenes de capturas de especies de importancia comercial en el GdM, desde especies bentónicas de N.T. bajos, como el camarón (*F. aztecus*, N.T.= 2.80), pasando por el bobo (*J. pichardi*, N.T.= 3.46), hasta grandes pelágicos de N.T. altos como el atún aleta azul (*T. thynnus*, N.T.= 4.40), lo que indica que el espectro trófico y etoecológico sobre el cual la NAO tiene injerencia en el GdM, es amplio y heterogéneo. Las relaciones directas, de estas especies con la NAO, sugieren que cuanto más positiva es la NAO, el volumen de captura aumenta y viceversa; mientras que las relaciones inversas indican que cuanto más positiva es la NAO el volumen de captura disminuye y viceversa.

Cabe mencionar que una de las limitaciones del presente trabajo, es el uso de los volúmenes de captura como indicador de abundancia de las especies. Sin embargo, en México no se cuenta con los valores de CPUE (que es lo más apropiado tomar como indicador de abundancia (Ricker *et al.*, 1975)), ya que la pesca se lleva a cabo primordialmente (97%) por flotas ribereñas o costeras de pequeña escala (Fernández *et al.*, 2011).

Aunado a lo anterior, los registros de capturas también podrían tener algunas deficiencias, tales como la baja precisión en la recolección de la información y el control administrativo (hablando de manejo de pesquerías), ya que las flotas ribereñas están dispersas a lo largo de todo el territorio nacional, dificultando aún más la labor de

recolección de datos. No obstante, el volumen de captura es la única información de largo termino con la que se cuenta, que además es de disposición pública y su uso debidamente interpretado, puede utilizarse como indicador de la evolución de la (o las) pesquerías hasta que se cuente con información que permita hacer otros tipos de análisis (Arreguín-Sánchez & Arcos-Huitrón, 2011).

Cabe destacar que el presente trabajo es de los pocos desarrollados para el GdM, y que además, brinda las primeras aproximaciones de la influencia de la NAO sobre un espectro amplio de poblaciones susceptibles a ser explotadas en esta área, mientras que en otros estudios solo se menciona la relación de la NAO con algún parámetro hidroclimático o la relación con una o dos especies máximo (p. ej. Sánchez-Santillán *et al.*, 2005; Borja & Santiago, 2002).

En las mejorías significativas de las correlaciones entre la NAO y las capturas de especies del GdM, debidas a los desfases temporales (t-1) y (t-2), no se observaron grupos evidentes entre las especies (Tabla 1), es decir, no se observó algún patrón en las correlaciones al desfasar el índice NAO por nivel trófico, por base de datos, ni por región geográfica, lo que sugiere que la influencia de la NAO sobre los volúmenes de captura varía, dependiendo la especie y el nivel trófico y etoecológico de la misma, a diferentes temporalidades y, además, que la influencia de la NAO sobre las especies del GdM, es heterogénea.

Las correlaciones encontradas entre los índices de captura de especies de importancia comercial del GdM, sugieren que la variabilidad de los volúmenes de captura está sujeta a procesos oceanográficos. Por ejemplo, *S. sarda* y *S. cavalla*, ambos de N.T.= 4.50, mostraron correlación significativa con *J. pichardi* (N.T.= 3.46), *F. aztecus* (N.T.= 2.80) y *M. mercenaria* (N.T.= 2.60) (fig. 11), y se ha visto que los volúmenes de capturas de estas especies se ven influenciados de forma determinante por la lluvia, la TSM y la concentración de Chl-a en el ecosistema (Manzano-Sarabia *et al.*, 2008). Aunado a lo anterior, Arreguín-Sánchez *et al.*, (1993) menciona que la pesca, en la parte suroeste

del GdM, está dirigida a un amplio espectro trófico de especies, desde el camarón hasta el tiburón y, desde ese punto de vista, la pesca hace un mejor uso del ecosistema en esta parte del GdM, que en otras donde se enfocan en la pesca casi de manera específica de algunos organismos, alterando así la cadena trófica y el flujo de energía en el ecosistema (p. ej. Shephard & Myers, 2005).

Al comparar los espectros de la NAO con los de capturas, se observaron picos coincidentes de baja intensidad y de periodos cortos (2.0 y 4.0 años) para la mayoría de las especies, mientras que los picos de mayor intensidad y de periodos largos (10.0 a 13.0 años) se observaron mayormente para los índices de capturas de especies de niveles tróficos bajos (N.T. alrededor de 2.60) y algunas especies de niveles tróficos altos (N.T.= 4.0 y 4.5) (Tabla 3), lo que indica que las oscilaciones en fase de índices de especies de niveles tróficos altos suceden en periodos más largos de tiempo, en comparación con los índices de especies de niveles tróficos bajos.

Con base en el análisis multivariado (PCA), se determinó que la componente principal que aporta la mayor varianza a la variabilidad del clima del GdM es la CP1, la cual tiene que ver con los procesos térmicos y sus efectos en esta área geográfica (Gh, Mw, At, SST, SLP y OLR son las variables que más aportaron a esta variabilidad), sin embargo, se tomó como proxy la CP3, ya que tuvo correlación significativa directa con la NAO, lo cual sugiere que esta afecta con mayor intensidad a las variables de presión atmosférica, humedad y temperatura del aire (Gh, At, SST, Rh, Sh, y SLP) en el GdM, que además son las variables que definen el clima de una región (Royo-Ochoa et al., 2010).

No es raro encontrar que estas mismas variables hidroclimáticas sean influenciadas de forma determinante por fenómenos de escala hemisférica, como El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) (Wang & Emfield, 2002; 2003), sin embargo, cabe resaltar que el fenómeno de la NAO ha sido poco estudiado con respecto al GdM (p. ej. Sánchez-Santillán *et al.*, 2005) y menos aún desde el punto de vista hidroclimático, del

cual, el presente trabajo es pionero. Además, ayudó a simplificar el entendimiento de las determinantes que modulan la variabilidad climática en el GdM, generando así una línea de base para futuros trabajos a cualquier escala.

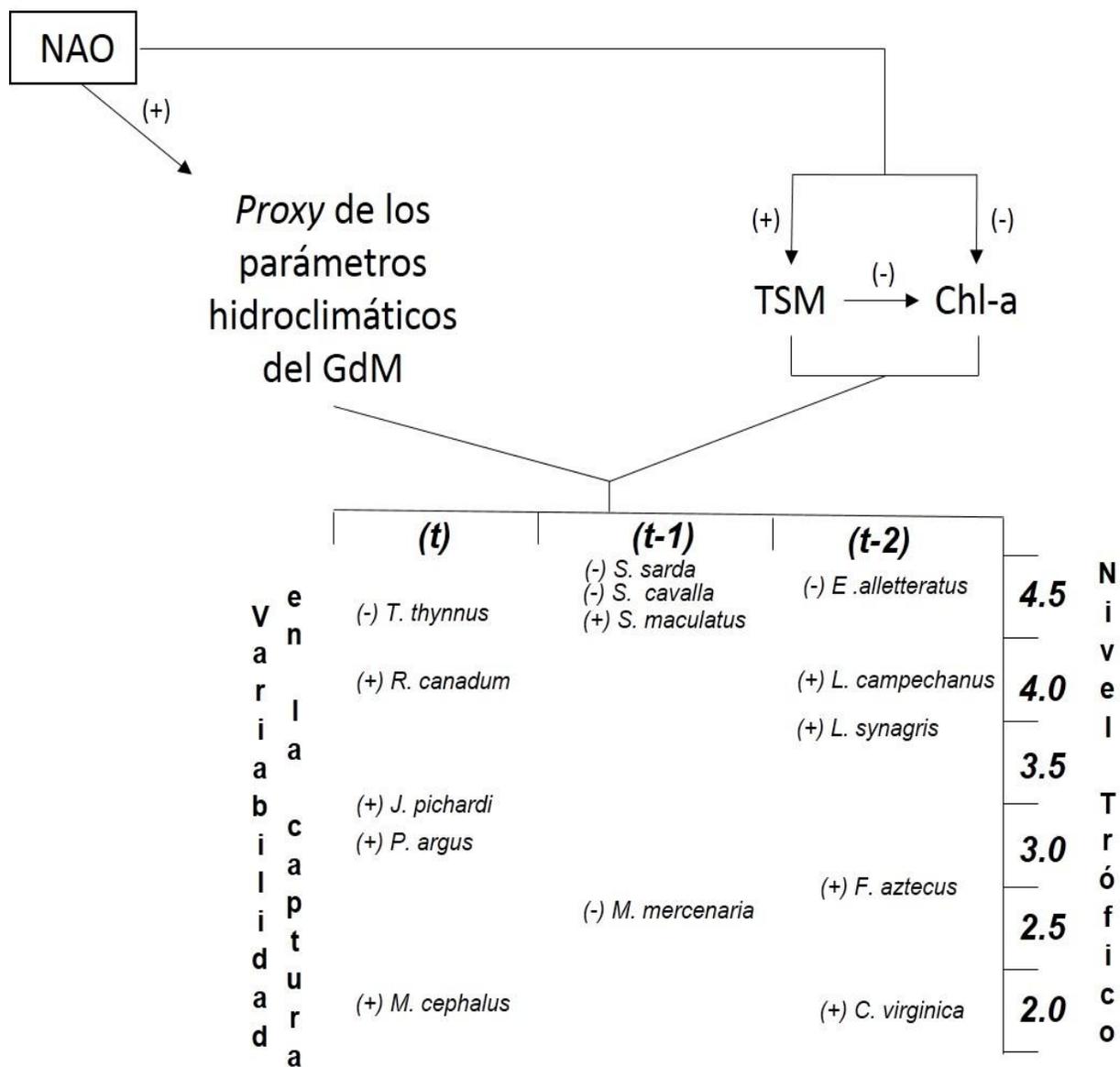
La relación existente entre la NAO y los parámetros hidroclimáticos locales del GdM (productividad primaria y TSM), descritos con anterioridad, sugiere que la NAO afecta de forma directa a la TSM y de forma inversa la concentración de Chl-a. La inferencia anterior tiene sentido, ya que Zavala-Hidalgo *et al.*, (2006) observó que los afloramientos a lo largo del litoral de GdM son favorecidos por los frentes fríos y que además, la concentración de Chl-a varía de forma inversa a la TSM (su área de estudio fue al norte del GdM desde las costas de Louisiana, hasta el sur en el banco de Campeche). Explicado de otra manera, se puede inferir que la NAO afecta de forma directa a la TSM (de acuerdo también con Sánchez-Santillán *et al.*, 2006) y esta a su vez a la concentración de Chl-a en el GdM.

Respecto al IPP, no se encontró correlación significativa con la NAO. Esto pudo deberse a que, como se mencionó con anterioridad, una de las desventajas del uso de índices es que, al correlacionar variables climáticas de gran escala con variables climáticas locales, estas podrían ser poco probables, ya que la escala geográfica que representa una respecto de la otra es muy grande (Stenseth *et al.*, 2003).

En resumen, en el presente estudio se obtuvieron tres resultados relevantes acerca de la “posible” influencia de la NAO sobre la variabilidad en la captura de especies de importancia comercial en el GdM, y que además están relacionados entre sí:

En primer lugar tenemos las relaciones lineales (algunas de tipo directas y otras inversas) entre la NAO y la variabilidad de los volúmenes de captura de las especies, en segundo término, y de manera general se ha demostrado que la variabilidad hidroclimática del GdM es influenciada de forma directa por la NAO (en proporción a la varianza de la CP que se tomó como *proxy*) y, por último, que los efectos de este

fenómeno climático de gran escala se puede percibir (numéricamente hablando) hasta el litoral del GdM mediante la chl-a y la TSM (Fig. 20).



**Figura 20.** Esquema de la interacción de la NAO con la variabilidad de las capturas de especies de importancia comercial en el GdM y con los parámetros hidroclimáticos regionales y locales. Los signos describen el tipo de relación con la NAO, (+) “directo”, (-) “inverso”.

## 8. CONCLUSIÓN

Se realizó una base de datos extensa (volúmenes de captura anualizados de 35 especies, de distintos niveles tróficos y etoecológico, de por lo menos 10 años; 11 variables hidroclimáticas del GdM a nivel regional y 3 variables hidroclimáticas locales a 4 y 9km de resolución espacial) la cual sirvió para llevar acabo los análisis del presente estudio y, además, pone de manifiesto la gran cantidad de información pública disponible para esta región, la cual es susceptible de ser analizada para futuras investigaciones.

Se determinó que la NAO influye en la variación de los volúmenes de captura sobre un espectro amplio de especies de importancia comercial en el GdM, y que el tipo de correlación entre ellas (directa o inversa) varía dependiendo de la especie pero sin importar la agrupación que se les da a estas (ya sea por estado, o por región).

Las oscilaciones en fase clima-pesca se identificaron recurrentemente alrededor de los 2.5, 3.0 y 4.0 años, y con menos frecuencia a los 5.0, 7.0 y 10.0 años. Estos valores se observaron sin importar la agrupación de los datos (es decir, por estado o regionalizado). Así mismo, se identificó una oscilación de la NAO, para periodo 1950 – 2010, a los 15.0 años, la cual es poco mencionada por otros autores, y no se encontró para el periodo 1980 – 2010.

El proxy del GdM, seleccionado para el presente estudio, puso de manifiesto el panorama general de las variables que influyen en la variabilidad climática del GdM, y que además son influenciadas por la NAO. Estas interacciones muestran también que la variabilidad climática del GdM está regida, en parte, por un fenómeno climático de escala hemisférica y que esto a su vez tiene un efecto sobre las poblaciones susceptibles de ser capturadas en este gran ecosistema. La influencia de la NAO en el litoral del GdM puede ser trazada atreves de la TSM y la concentración de Chl-a a 4 y 9 km de resolución espacial, no siendo así con el índice de precipitación pluvial (IPP).

Existen evidencias consistentes con la hipótesis de que el sistema climático descrito por la Oscilación del Atlántico Norte es responsable, en parte, de las variaciones de captura de algunas especies objetivo a través de parámetros hidroclimáticos regionales y locales en el GdM, además, la gama de especies, sobre la cual este fenómeno climático tiene influencia es amplia, y el tipo y grado de relación que describen varía según la especie y el nivel trófico que ocupa.

El uso de las series temporales, índices y proxys para el estudio del clima y sus efectos es una cuestión relevante y novedosa, al menos para el GdM, y puede dar los primeros resultados y el panorama general, acerca de las interacciones entre clima de gran escala y la variabilidad de capturas de poblaciones de organismos, desde los productores primarios hasta los depredadores tope, y desde el bentos hasta superficie, como se demostró en el presente estudio.

## LITERATURA CITADA:

- Alexander, M. & J. Scott. 2002. The influence of ENSO on air-sea interaction in the Atlantic. *Geophys. Res. Lett.* 29(14): 46-1, 46-4.
- Arreguín-Sánchez, F. & E. Arcos-Huitrón. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiológica* 21(3): 431-462.
- Arreguín-Sánchez, F., E. Valero-Pacheco & E. A. Chávez. 1993. A trophic box model of the coastal fish communities of the southwestern Gulf of Mexico. *In*: Christensen V. & Pauly D. (ed.). *Trophic models of aquatic ecosystems*. International center for living aquatic resources management, Manila, Philippines. Pp. 197-205.
- Barnston, A. & R. Livezey. 1987. Classification, Seasonality and Persistence of Low-frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Mon. Weather Rev.* 115: 1083–1126.
- Bell, I. & M. Visbeck. 2000. <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/> (consultado en febrero del 2011).
- Bojariu, R. 2002 - 2008. Climate variability. <http://roxana.ciberplai.net/var.htm>. (Consultado el 10 de agosto de 2013).
- Borja, A. & J. Franco. 2006. Los Océanos y el Cambio Climático en las zonas costeras. *In*: Federación Española de Municipios y provincias (FEMP) (ed.). *Cambio climático en las ciudades costeras*. Madrid. Pp. 55-67.
- Borja, A. & J. Santiago. 2002. Does the North Atlantic Oscillation Control Some Processes Influencing Recruitment of Temperate Tunas?. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*. 54 (4): 964–984.
- Borja, A., A. Uriarte, J. Egana, L. Motos & V. Valencia. 1998. Relationships Between Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) Recruitment and Environment in the Bay of Biscay (1967-1996). *Fish. Oceanogr.* 7(3-4): 375–380.
- Borja, A., A. Uriarte, V. Valencia, L. Motos & A. Uriarte. 1996. Relationships Between Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) Recruitment and the Environment in the Bay of Biscay. *Fish. Oceanogr.* 60: 179–192.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins & G. C. Reinsel. 1976. *Time Series Analysis : Forecasting and Control*. 4th ed. Wiley publ. San Francisco. 729 pp.
- Brander, K. & R. Mohn. 2004. Effect of the North Atlantic Oscillation on Recruitment of Atlantic Cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 61: 1558–1564.

Carta Nacional Pesquera. 2000. *Diario Oficial de la Federación*. Tomo DLXIII. No. 20.

Clarke, G.K.C., H. Le Treut, R.S. Lindzen, V.P. Meleshko, R.K. Mugara, T.N. Palmer, R.T. Pierrehumbert, P.J. Sellers, K.E. Trenberth, J. Willebrand. 2001. Physical Climate Processes and Feedbacks. In: IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR) (ed.). Working group I: The scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. USA. Pp. 419-470

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. Diversidad Biológica Marina y Costera En México. Último reporte: viernes 19 diciembre, 2008. México, DF. [http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion\\_internacional/doctos/dbm\\_mexico.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/dbm_mexico.html). (consultado: 12 de agosto de 2011).

Cushing, D. H. 1982. *Climate and Fisheries*. Academic Press. London, United Kingdom. 373 pp.

Day, John W., A. Díaz de León, G. González Sansón, P. Moreno Casasola & A. Yáñez Arancibia. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. 1ra. ed. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. 626 pp.

De la Lanza-Espino, G. & J. C Gómez-Rojas. 2004. Características físicas y químicas del Golfo de México. In: Caso, M., I. Pisanty & E. Ezcurra (ed.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. México, DF. Pp. 103-132.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. FishStatJ. Version 1.0.0.

Fernández J. I., P. Álvarez-Torres, F. Arreguín-Sánchez, L. G. López-Lemus, G. Ponce, A. Díaz-de-León, E. Arcos-Huitrón & P. del Monte-Luna. 2010. Coastal Fisheries of Mexico. In: Salas, S., R. Chuenpagdee, A. Charles & J.C. Seijo (Eds.). *Coastal Fisheries of Latin America and the Caribbean*. FAO Fisheries Technical Paper. Rome. pp. 229–282.

Fernández, I. & J. M. Pacheco. 2004. Sobre La Predicción De La Oscilación Del Atlántico Norte. In: Gimeno-Presa, L. (ed.). *La Oscilación Del Atlántico Norte y Sus Efectos Sobre La Península Ibérica y Canarias*. Aica. Ourense. Pp. 70-78.

Foros de la Pesca Deportiva en México. 2010. Último reporte: Diciembre 2010. México, D.F., México. <http://foros.pesca.org.mx> (consultado el 22 de octubre del 2012).

Greatbatch, J. R. 2000. *The North Atlantic Oscillation*. Department of Oceanography, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada.

- Gyory, J., A. J. Mariano & E. H. Ryan. 2008. The Loop Current. <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/loop-current.html>. (Consultado: 10 de septiembre de 2011).
- Huot, Y., M. Babin, F. Bruyant, C. Grob, M. S. Twardowski & H. Calustre. 2007. Does chlorophyll *a* provide the best index of phytoplankton biomass for primary productivity studies? *Biogeosciences discussions*. 4: 707-745.
- Hurrell, J. W. 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*. 269(5224): 676–679.
- Hurrell, W. J. & Van L. Harry. 1997. Decadal variations in climate associated with the north Atlantic oscillation. *Climatic change*. 36: 301-326.
- Kennedy, A. J., M. L. Griffin, S. L. Smith & J. J. O'Brien. 2007. Effects of El Niño-Southern Oscillation on sea level anomalies along the Gulf of Mexico coast. *J. Geophys. Res.* 112: (C05047).
- Klyashtorin, L. B. 1998. Long- term Climate Change and Main Commercial Fish Production in the Atlantic and Pacific. *Fisheries Research*. 37(1-3): 115–125.
- Lehodey, J., J. Alheit, M. Barange, T. Baumgartner, G. Beaugrand, K. Drinkwater, J. M. Fromentin, et al. 2004. Climate Variability, Fish, and Fisheries. *Journal of climate-special section*. 19: 5009-5030.
- Li, J. & J. X. L. Wang. 2003. A new north Atlantic oscillation index and its variability. *Advances in atmospheric sciences*. 20(5): 661-676.
- López, B. F. 2000. Impactos Regionales Del Cambio Climático. Valoración De La Vulnerabilidad. *Papeles De Geografía. Universidad De Murcia, España*. 32: 77–95.
- Manzano-Sarabía, M., C. A. Salinas-Zavala, M. Kahru, S. E. Llunch-Cota, A. González-Becerril. 2008. The impact of the 1997-1999 warm-SST and low-productivity episode on fisheries in the southwestern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*. 610(1): 257-267.
- Marshall, J., H. Johnson & J. Goodman. 2001. A Study of the Interaction of the North Atlantic Oscillation with Ocean Circulation. *Journal of Climate*. 14 (7): 1399–1421.
- Martínez-López, B. & A. Pares-Sierra. 1998. Circulación Del Golfo De México Inducida Por Mareas, Viento y La Corriente De Yucatán. *Ciencias Marinas*. 24 (1): 65-93.
- Meiners, C. G. 2007. Importancia De La Variabilidad Climática En Las Pesquerías y

Biología De La Merluza Europea *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) De La Costa Noroccidental Africana.” Tesis de Doctor en Ciencias. Instituto Español de Oceanografía, Universidad Politécnica de Cataluña. Málaga. 188 pp.

- Mikolajewic, U., T. J. Crowley, A. Schiller & R. Voss. 1997. Modelling teleconnections between the North Atlantic and North Pacific during the Younger Dryas. *Nature*. 387:384-387.
- Monreal-Gomez, M. A., D. A. Salas-de-Leon & H. Velasco-Mendoza. 2004a. La hidrodinámica del Golfo de México.” In: Caso, M., I. Pisanty & E. Ezcurra (ed.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. México, DF. Pp. 47–68.
- Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas-de-León & A. Gracia-Gasca. 2004b. Golfo De México, Circulación y Productividad. *Ciencias*. 76: 24–33.
- OAS (Organization of American States). 2002. Caracterización Del Clima, De Su Variabilidad y De Las Condiciones Socioeconómicas De La Cuenca Del Río San Juan (Costa Rica y Nicaragua). Último reporte 2002. <http://www.oas.org/sanjuan/spanish/documentos/dialogo/contents.html>. (Consultado: 15 de octubre de 2011).
- Ottersen, G., B. Planque, A. Belgrano, E. Post, P. Reid & N. Stenseth. 2001. Ecological Effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia*. 128 (1): 1–14.
- Ottersen, G., N. Stenseth & J. W. Hurrell. 2004. Background to climate variation and its effects on marine ecology. In: Ottersen, G., N. Stenseth & J. W. Hurrell (ed.). *Marine ecosystems and climate variation*. Oxford University Press. New York. Pp. 3-14.
- Papoulis, A. 1978. *Sistemas digitales y analógicos, transformadas de Fourier, estimación espectral*. 1st ed. Marcombo Boixareu. Barcelona. 324 pp.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese & F. C. Torres Jr. 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860-863.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull.Fish.Res.Board Can.* 191: 383 pp.
- Royo-Ochoa, M., R. Chávez-Aguirre, A. Pinales-Munguía, J. Castañeda-Ávila, M. L. Villalba, M. S. Espino-Valdés, R. De la Garza-Aguilar, P. I. Cordero-De los Ríos, R. Acosta-Chávez, J. Urrutia-Fucugauchi, L. M. Alva-Valdivia, M. Royo-León & L. H. Colmenero-Sujo. 2010. El intemperismo y las rocas en la construcción. En: 4º Congreso Nacional ALCONPAT, Xalapa, Veracruz, México, 8-10 noviembre de 2010. P. 23.

- Sanchez-Sántillan, N., M. Signoret-Poillon & R. Garduño-López. 2005. La oscilación del Atlántico norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. *Ingeniería investigación y tecnología*. 7(2): 85-95.
- Sepherd, D. T. & R. A. Myers. 2005. Direct and indirect fishery effects on small coastal elasmobranchs in the northern Gulf of Mexico. *Ecology letters*. 8: 1095-1104.
- Sharp, G. D. 2004. *Cambio climático y pesquerías regionales en el futuro: análisis en colaboración*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Italia. 84 pp.
- StatSoft, Inc. 2007. *STATISTICA Version 8.0*. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Stenseth, N., G. Ottersen, J. W. Hurrell, A. Mysterud, M. Lima, K. Chan, N. Yoccoz & B. Ådlandsvik. 2003. Studying Climate Effects on Ecology Through the Use of Climate Indices: The North Atlantic Oscillation, El Niño Southern Oscillation and Beyond. *Proc. Biol. Sci.* 270 (1529): 2087–2096.
- The MathWorks, Inc. 2009. *MATLAB Version 7.8.0.347 (R2009a)*.
- UNESCO, CI/INF. 2008. *WinIDAMS Version 1.3*. <http://www.uneco.org/idams>.
- Visbeck, M., D. Stammer, J. Toole, P. Chang, J. W. Hurrell, Y. Kushnir, J. Marshall, et al. 1998. *Atlantic Climate Variability Experiment (ACVE) Prospectus*. Workshop.
- Wang, C. & D. B. Enfield. 2001. The tropical western hemisphere warm pool. *Geophysical research letters*. 28(8): 1635-1638.
- Wang, C., 2002. Atlantic Climate Variability and Its Associated Atmospheric Circulation Cells. *Journal of climate*. 15: 1516-1535.
- Wang, C. & D. B. Enfield. 2002. A further study of the tropical western hemisphere warm pool. *Journal of climate*. 16: 1476-1493.
- Walker, G. T. 1924. "Correlations in Seasonal Variations of Weather IX" 24. *Memoirs of the Indian Meteorological Department*. 275–332.
- Walker, G. T. & E. W. Bliss. 1932. "World Weather V." 4 (36). *Memoirs of the Royal Meteorological Society*. 53–84.
- Weyhenmeyer, G. A. 2004. Synchrony in relationships between the North Atlantic Oscillation and water chemistry among Sweden's largest lakes. *Limnol. Oceanogr.* 49(4): 1191-1201.
- Weyhenmeyer, G. A. 2004. Synchrony in relationships between the North Atlantic Oscillation and water chemistry among Sweden's largest lakes. *Limnol. Oceanogr.* 49(4): 1191-1201.

Zavala-Hidalgo, J., A. Gallegos-García, B. Martínez-López, S. L. Morey & J. J. O'Brien. 2006. Seasonal upwelling on the western and southern shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean dynamics*. 56(3-4): 333-338.

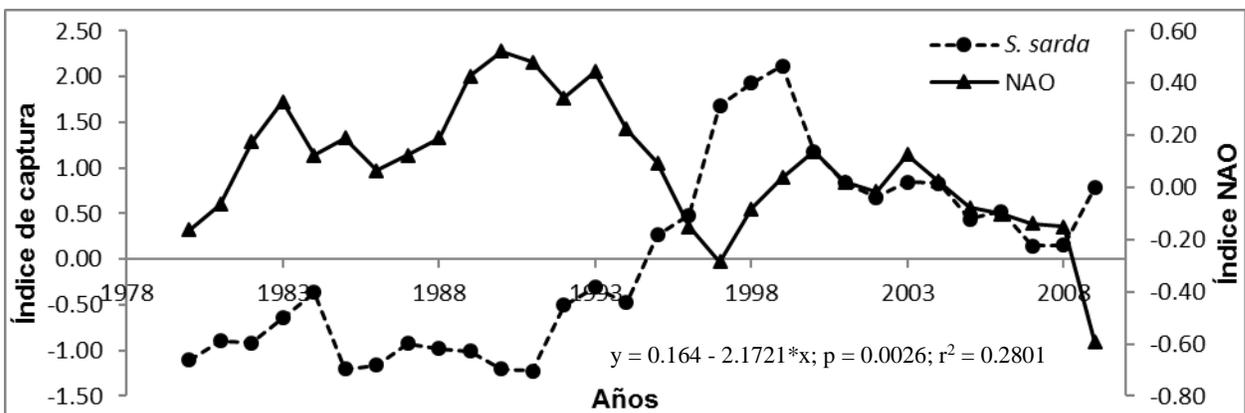
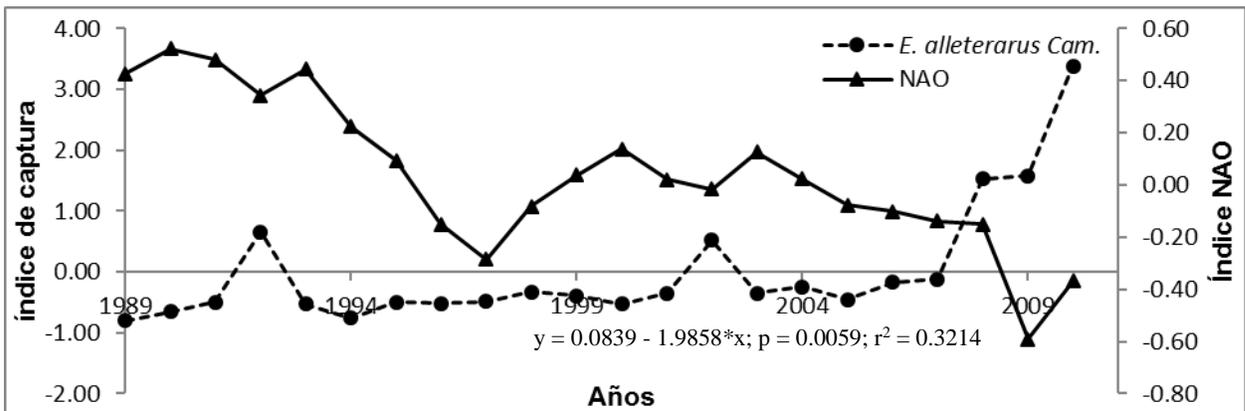
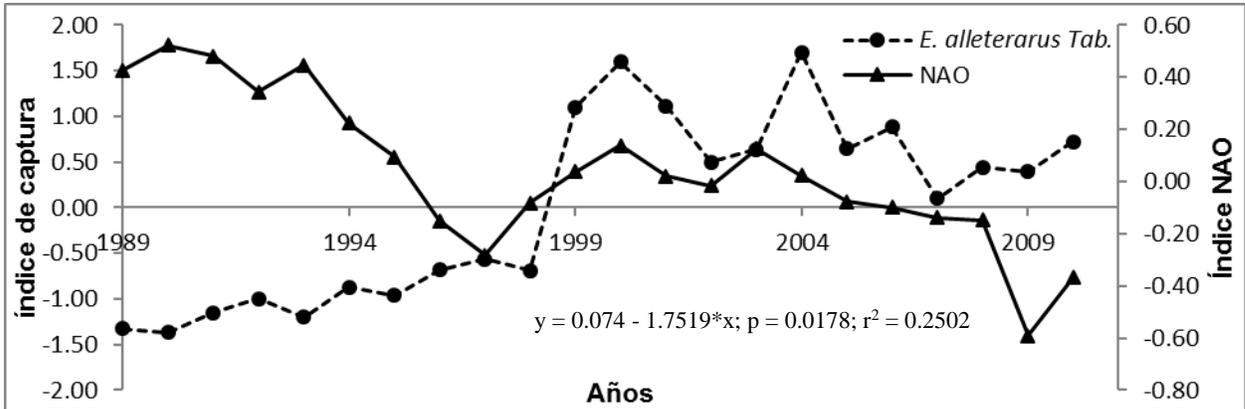
**ANEXO 1:** Especies seleccionadas para analizar en el presente estudio.

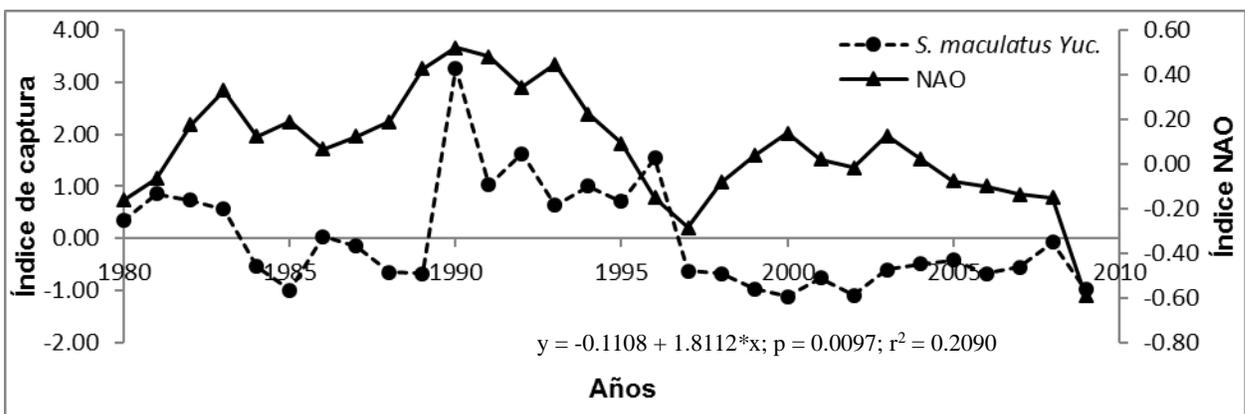
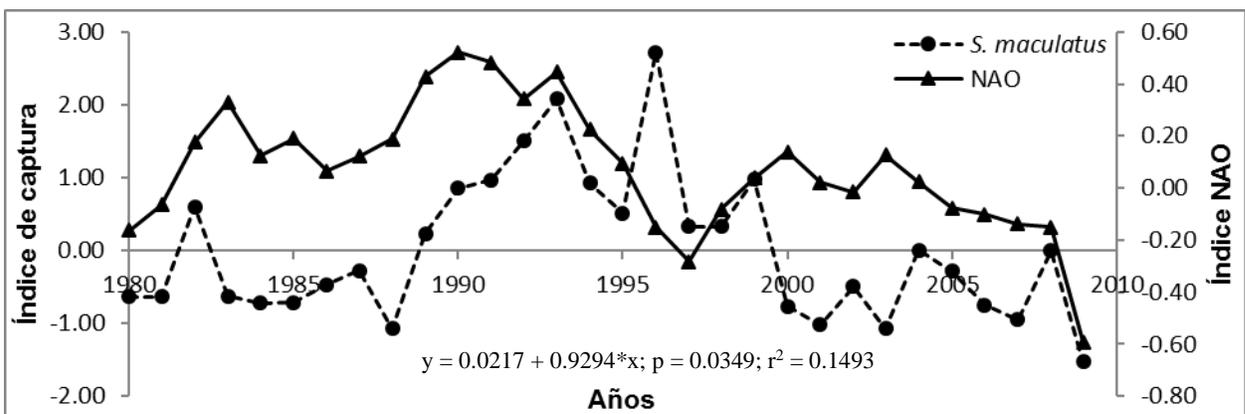
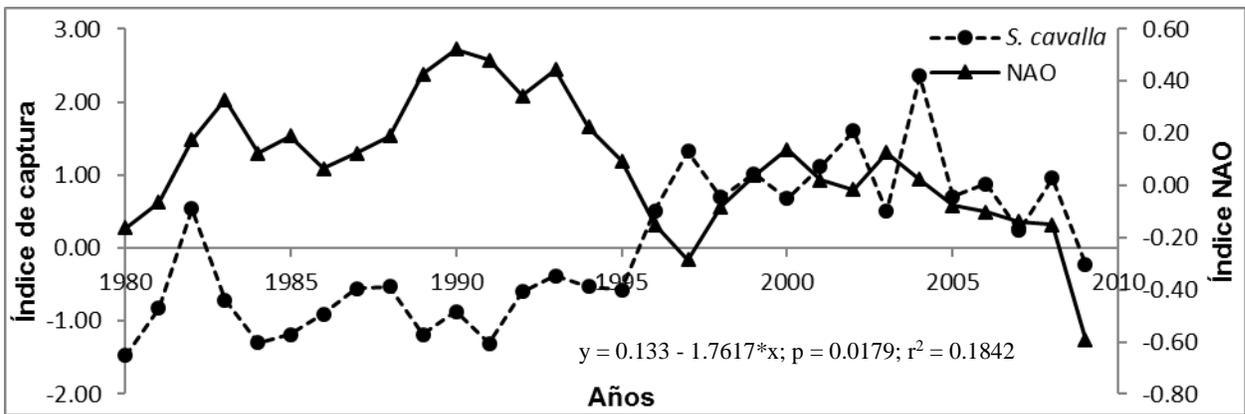
ESPECIE	NOMBRE COMÚN EN ESPAÑOL	NOMBRE COMÚN EN INGLÉS	NIVEL TRÓFICO	DOMINIO	SISTEMA O PROVINCIA
<i>Euthynnus alletteratus</i>	<b>Bonito</b>	<b>Little tunny</b>	<b>4.50</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Oceánica</b>
<i>Istiophorus albicans</i>	Pez vela	Atlantic sailfish	4.50	Pelágico	Oceánica
<i>Megalops atlanticus</i>	Sábalo real	Tarpon	4.50	Pelágico	Estuario / nerítica
<i>Sarda sarda</i>	<b>Bonito del atlántico</b>	<b>Atlantic bonito</b>	<b>4.50</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Nerítica / oceánica</b>
<i>Scomberomorus cavalla</i>	<b>Peto</b>	<b>King mackerel</b>	<b>4.50</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Oceánica</b>
<i>Scomberomorus maculatus</i>	<b>Sierra</b>	<b>Atlantic spanish mackerel</b>	<b>4.50</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Oceánica</b>
<i>Thunnus obesus</i>	Patudo	Bigeye tuna	4.50	Pelágico	Oceánica
<i>Xiphias gladius</i>	Pez espada	swordfish	4.50	Pelágico	Oceánica
<i>Centropomus undecimalis</i>	Robalo blanco	Common snook	4.40	Demersal	Estuario / nerítica
<i>Coryphaena hippurus</i>	Lampuga	Common dolphinfish	4.40	Pelágico	Nerítica
<i>Thunnus thynnus</i>	<b>Atún aleta azul</b>	<b>Atlantic bluefin tuna</b>	<b>4.40</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Oceánica</b>
<i>Katsuwonus pelamis</i>	Listado	Skipjack tuna	4.30	Pelágico	Oceánica
<i>Thunnus albacares</i>	Atun aleta amarilla	Yellowfin tuna	4.30	Pelágico	Oceánica
<i>Cynoscion nebulosus</i>	Trucha pinta	Spotted weakfish	4.00	Demersal	Nerítica / oceánica
<i>Lutjanus campechanus</i>	<b>Huachinango</b>	<b>Northern red snapper</b>	<b>4.00</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Nerítica / oceánica</b>
<i>Ocyurus chrysurus</i>	Rubia	Yellowtail snipper	4.00	Pelágico	Nerítica
<i>Rachycentron canadum</i>	<b>Cobia o esmedregal</b>	<b>Cobia</b>	<b>4.00</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Estuario / nerítica</b>
<i>Menticirrhus littoralis</i>	Ratón	Gulf kingcroaker	3.90	Demersal	Nerítica / oceánica
<i>Pogonias cromis</i>	Corvina negra	Black drum	3.90	Demersal	Estuario / nerítica
<i>Lutjanus synagris</i>	<b>Biajaiba o pargo biajaiba</b>	<b>Lane snapper</b>	<b>3.80</b>	<b>Demersal</b>	<b>Oceánica</b>
<i>Octopus maya</i>	Pulpo maya	-	3.58	Demersal	Nerítica
<i>Octopus vulgaris</i>	Pulpo común	Common octopus	3.58	Demersal	Nerítica

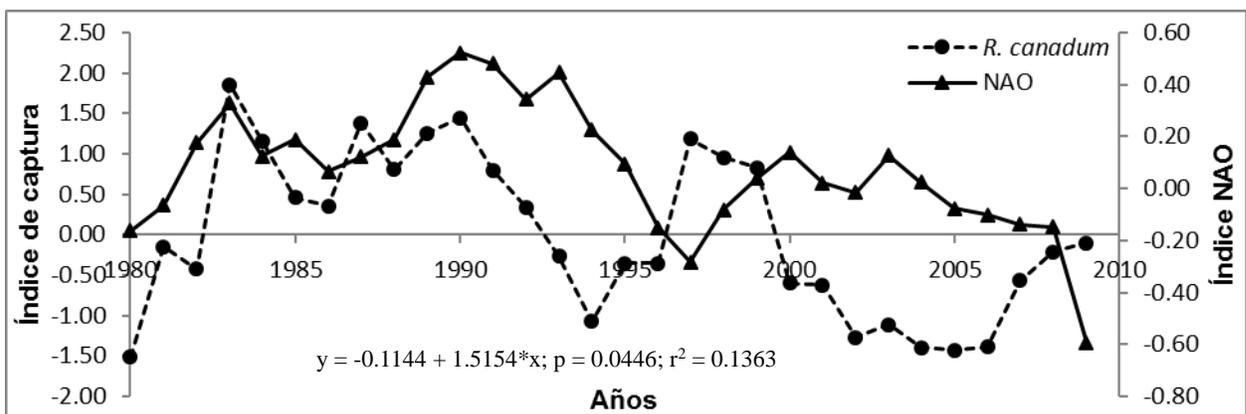
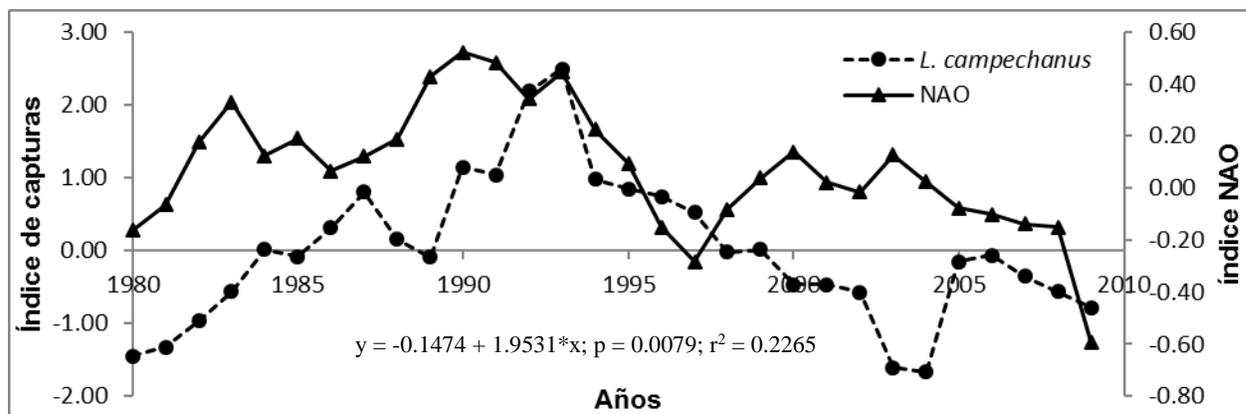
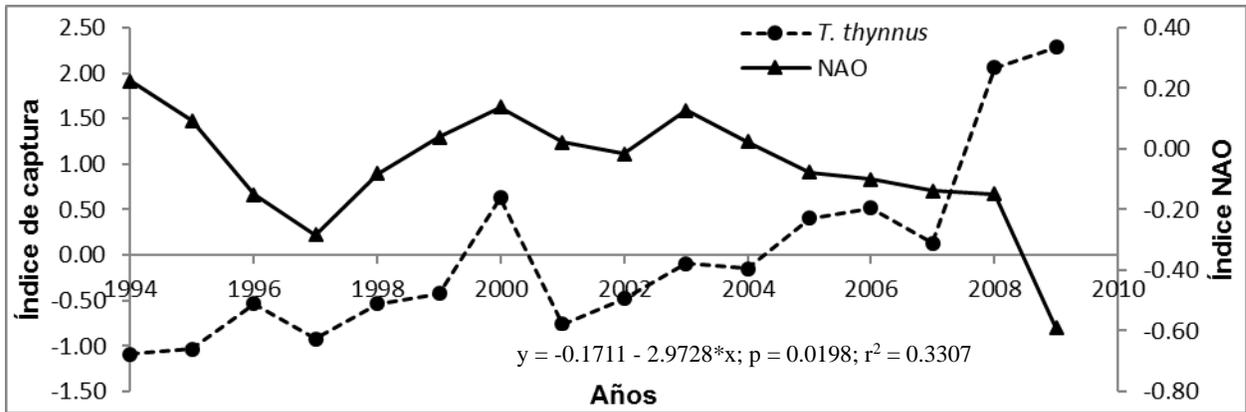
<b><i>Joturus pichardi</i></b>	<b>Bobo, joturo o morón</b>	<b>Bobo mullet</b>	<b>3.46</b>	<b>Pelágico</b>	<b>Estuario / nerítica</b>
<i>Sardinella aurita</i>	Alacha	Round sardinella	3.40	Pelágico	Oceánica
<b><i>Panulirus argus</i></b>	<b>Langosta del Caribe</b>	<b>Caribbean spiny lobster</b>	<b>3.20</b>	<b>Bentónico</b>	<b>Nerítica / oceánica</b>
<b><i>Farfantepenaeus aztecus</i></b>	<b>Camarón café</b>	<b>Northern brownshrimp</b>	<b>2.80</b>	<b>Bentónico</b>	<b>Estuario / nerítica</b>
<i>Litopenaeus setiferus</i>	Camarón blanco	Northern whiteshrimp	2.70	Bentónico	Estuario / nerítica
<i>Callinectes sapidus</i>	Cangrejo azul	Blue crab	2.60	Bentónico	Nerítica / oceánica
<b><i>Menippe mercenaria</i></b>	<b>Cangrejo moro</b>	<b>Black stone crab</b>	<b>2.60</b>	<b>Bentónico</b>	<b>Nerítica / oceánica</b>
<i>Brevoortia tiranus</i>	Sábalo atlántico	Atlantic menhaden	2.25	Pelágico	Nerítica
<i>Brevoortia patronus</i>	Lacha escamuda	Gulfmenhaden	2.20	Pelágico	Nerítica
<b><i>Mugil cephalus</i></b>	<b>Lisa</b>	<b>Flathead grey mullet</b>	<b>2.10</b>	<b>Demersal</b>	<b>Estuario / nerítica</b>
<b><i>Crassostrea virginica</i></b>	<b>Ostión</b>	<b>American cupped oyster</b>	<b>2.00</b>	<b>Bentónico</b>	<b>Estuario</b>
<i>Mugil curema</i>	Lebrancha	White mullet	2.00	Pelágico	Nerítica
<i>Strombus gigas</i>	Caracol reina	Queen conch	2.00	Bentónico	Nerítica

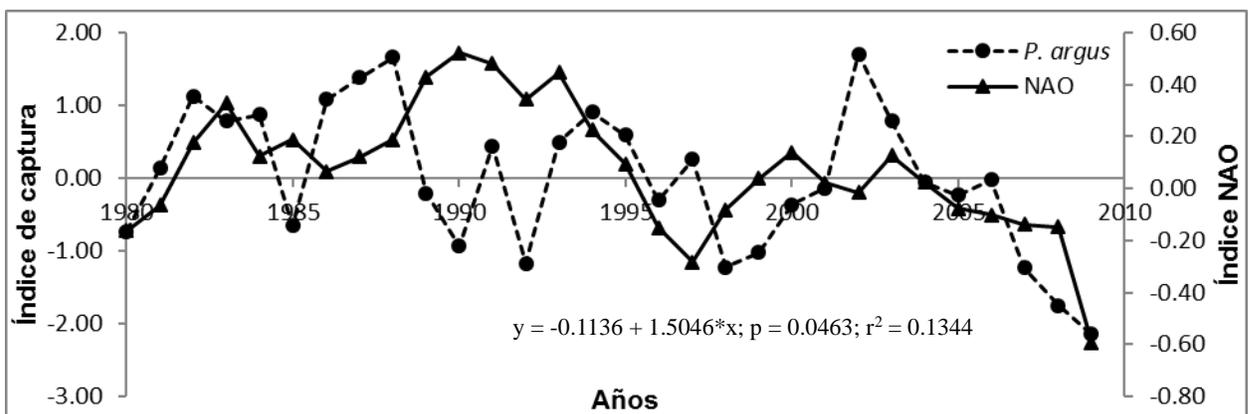
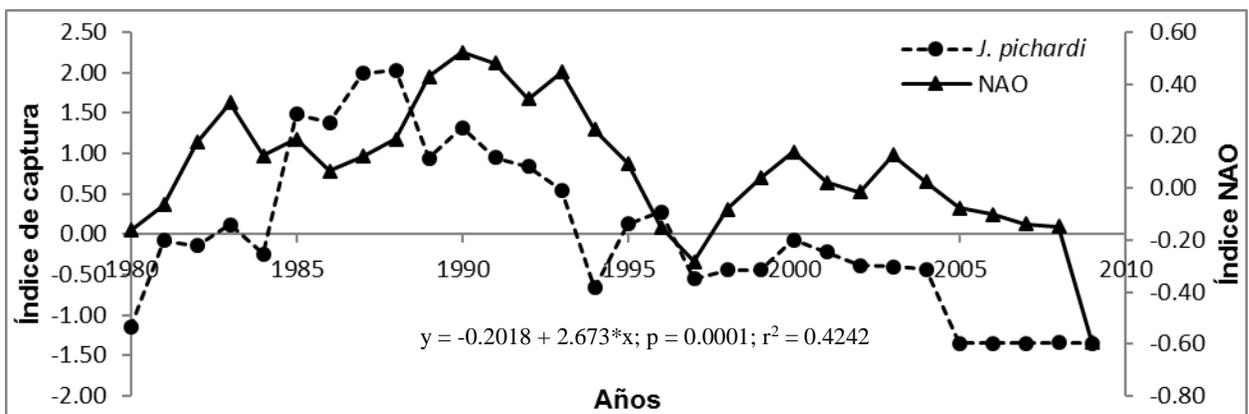
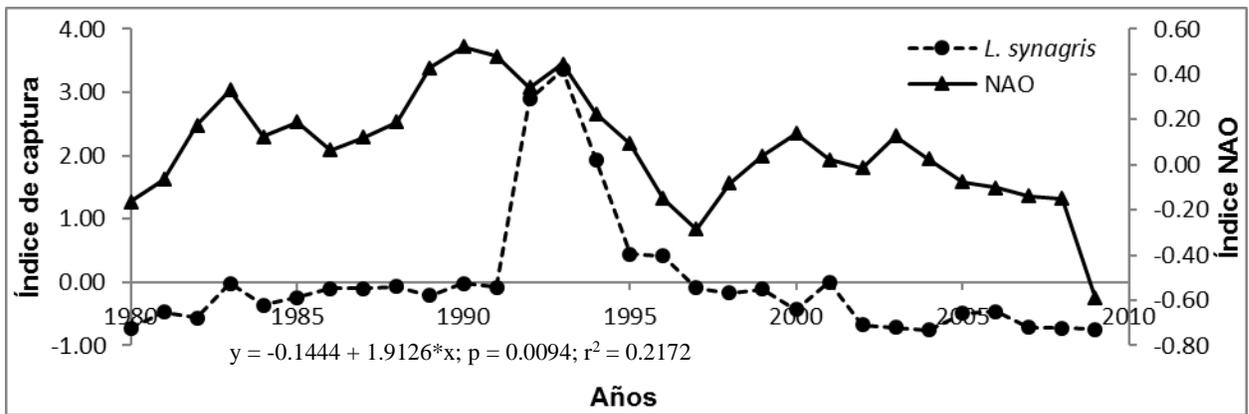
Las especies que mostraron correlación significativa con el índice NAO, están marcadas en negritas.

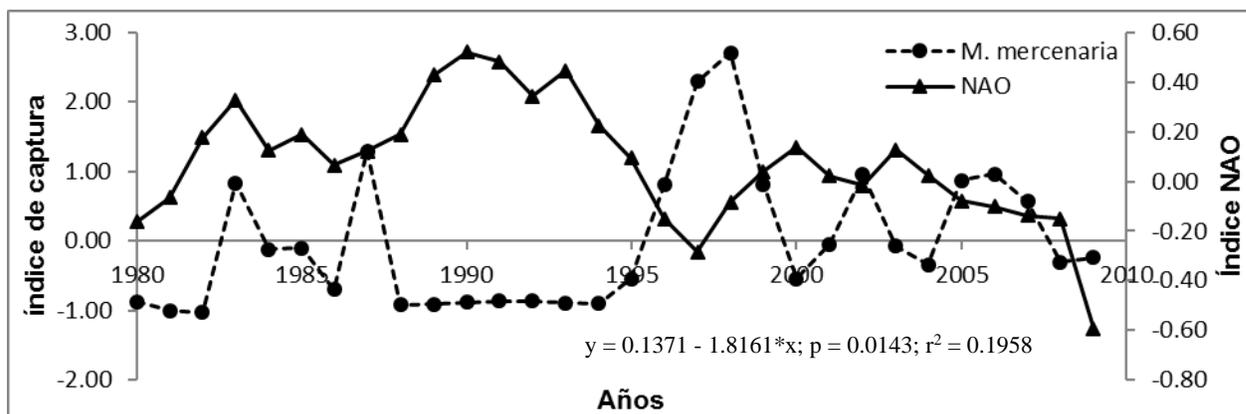
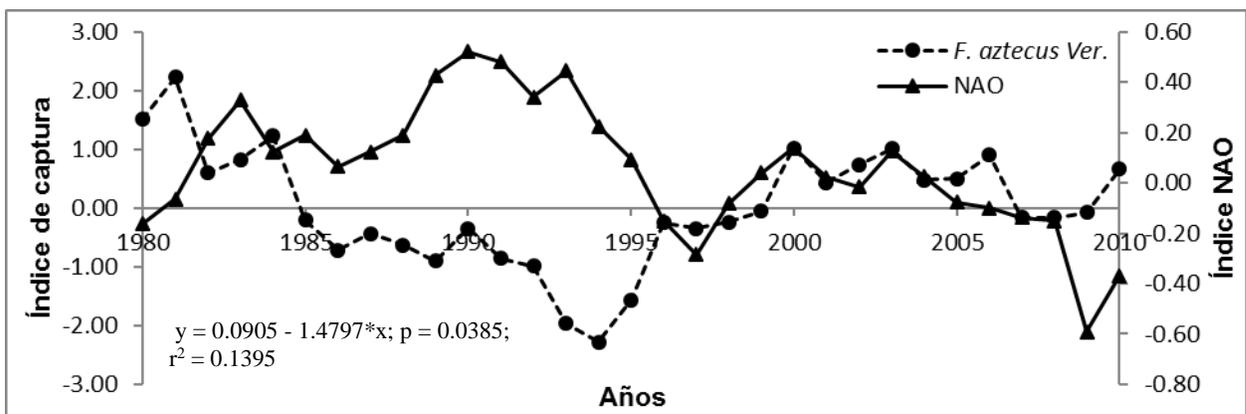
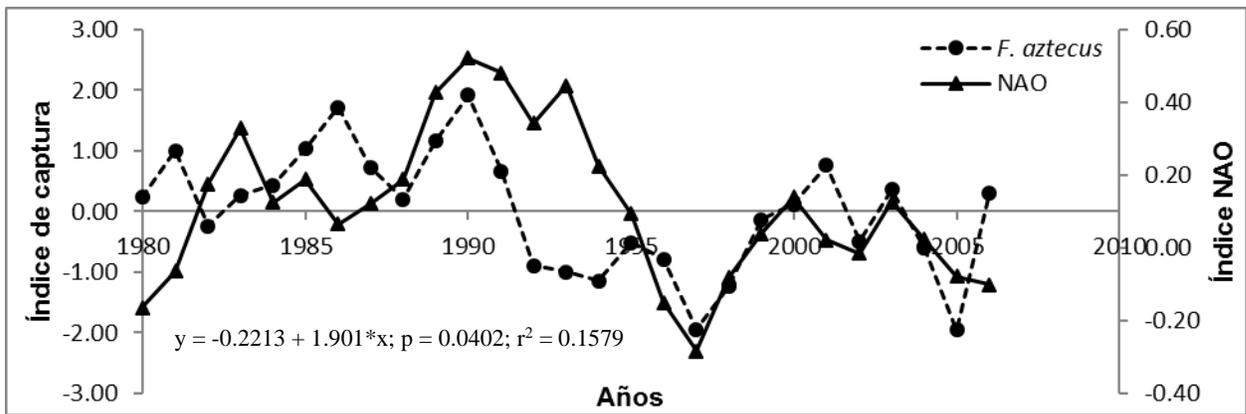
**ANEXO 2: Gráficos de especies que mostraron correlación significativa con el índice NAO.**

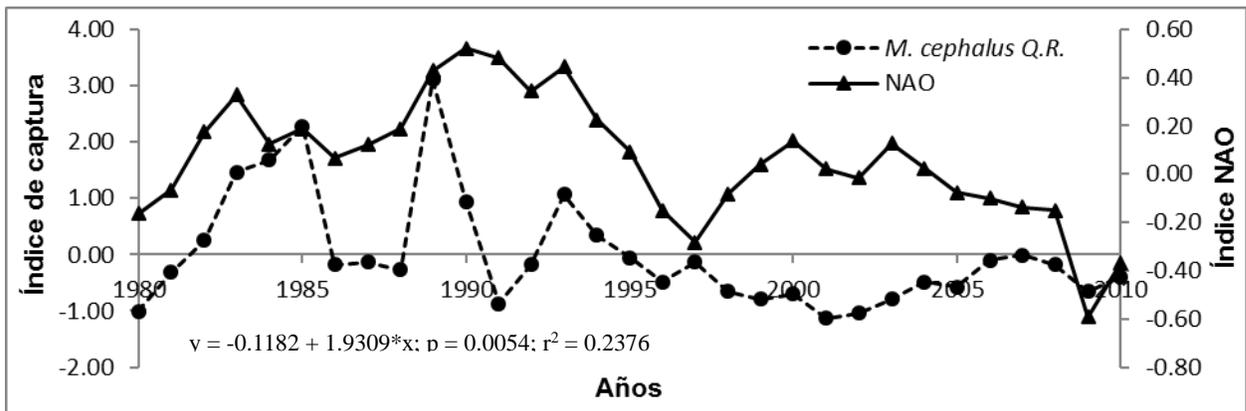
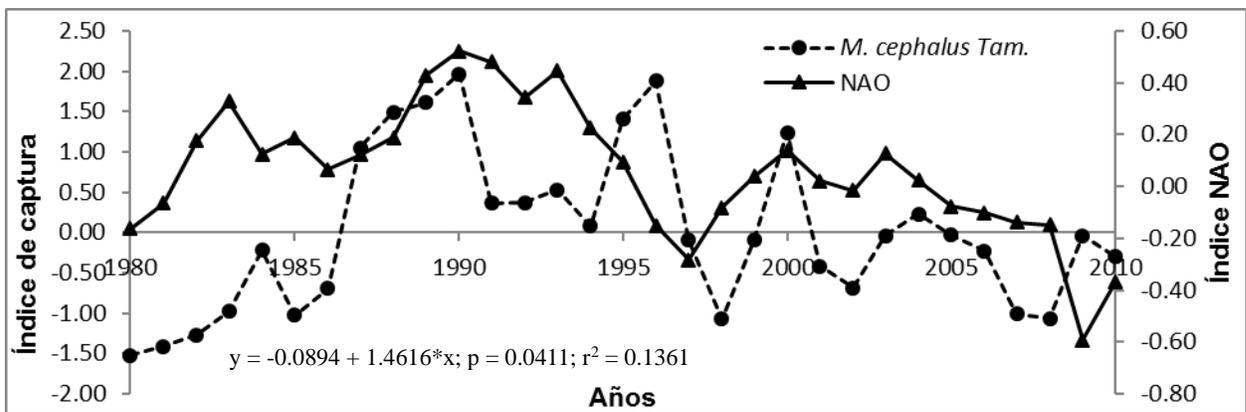
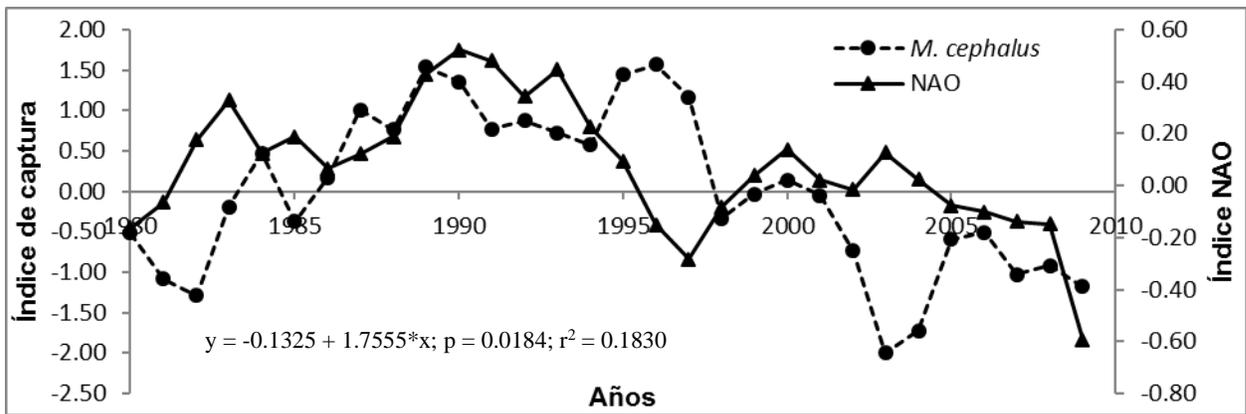


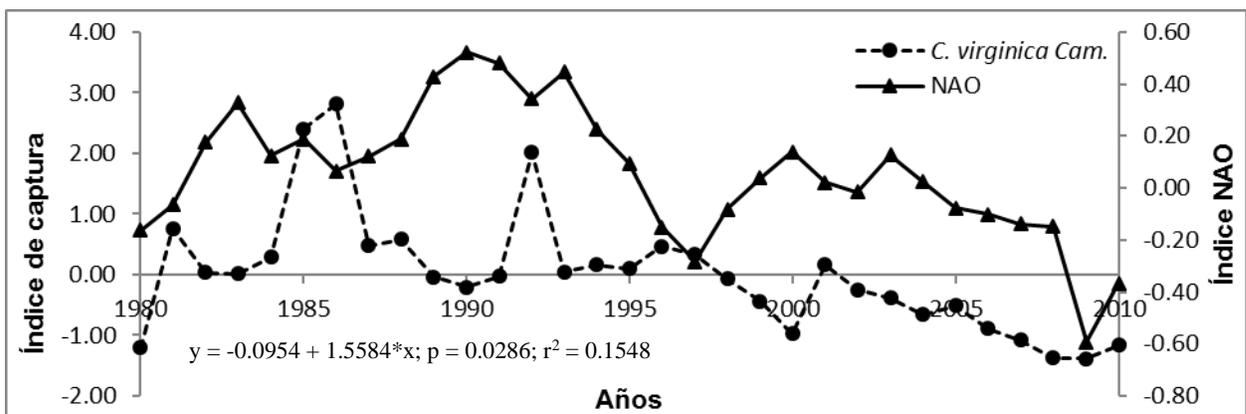
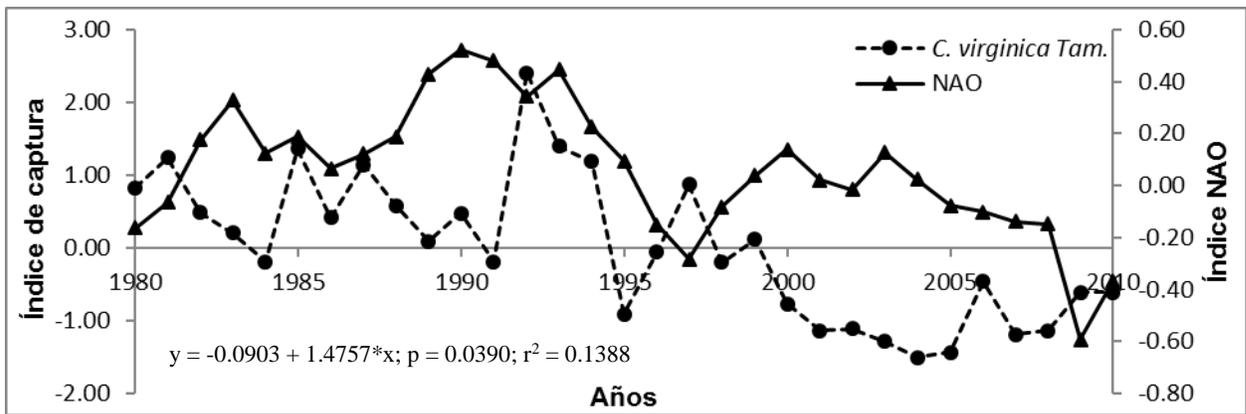












**ANEXO 3:** Periodos de oscilación en fase entre el índice NAO y los índices de capturas.

