



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL
INTERANUAL EN LA DISTRIBUCIÓN Y
ABUNDANCIA DE LARVAS DE DORADO
(*Coryphaena* spp.) EN EL PACÍFICO CENTRAL
ORIENTAL**

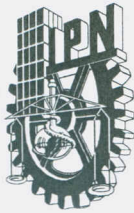
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

ANDRES FELIPE ORTIZ ASTUDILLO

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2013



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 03 del mes de Junio del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"EFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL INTERANUAL EN LA DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA
DE LARVAS DE DORADO (*Coryphaena spp.*) EN EL PACÍFICO CENTRAL ORIENTAL"

Presentada por el alumno:

ORTIZ
Apellido paterno

ASTUDILLO
materno

ANDRÉS FELIPE
nombre(s)

Con registro:

A	1	1	0	5	6	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

DR. RUBEN RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ

DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

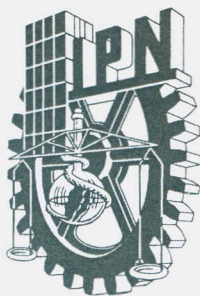
DR. ALAN GIRALDO LÓPEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 7 del mes Junio del año 2013
el (la) que suscribe BIÓL. ANDRÉS FELIPE ORTIZ ASTUDILLO alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro A110561 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. RUBÉN RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EFECTO DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL INTERANUAL EN LA DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA
DE LARVAS DE DORADO (*Coryphaena spp.*) EN EL PACÍFICO CENTRAL ORIENTAL"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: andresortiza@hotmail.com - rrodrig@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Andrés Ortiz

BIÓL. ANDRÉS FELIPE ORTIZ ASTUDILLO

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) del Instituto Politécnico Nacional por las becas otorgadas, las cuales fueron fundamentales para llevar a feliz término este trabajo de investigación.

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por permitirme desarrollar mi formación a nivel de posgrado en México y por proporcionarme un espacio en sus instalaciones.

A toda mi familia, en especial a mis padres Doris y Martín y a mis hermanos Daniel y Sara quienes siempre han creído en mí y me inculcaron los mejores valores y el verdadero significado del esfuerzo y el sacrificio.

Al Dr. Rubén Rodríguez Sánchez por aceptarme como su alumno, por el acompañamiento en el desarrollo de este trabajo, por las enseñanzas dadas y su apoyo.

A mi comité asesor: Dr. Alan Giraldo López, Dr. Héctor Villalobos Ortiz, Dr. René Funes Rodríguez y Dra. Sofía Ortega García, quienes fueron parte fundamental de este trabajo gracias a sus enseñanzas, observaciones y sugerencias para enriquecer esta tesis.

A mis amigos y compañeros quienes me apoyaron de una u otra forma durante todo este proceso y en especial a Toño, Kike, Pablo, Jimena, Jean, Rubén, Carlos, Meli, Julián, Viri, Mili, Cristian, Juan, Chimi, Stephy, Andrés, Paola, Naim, Emigdio y Cris.

Índice

Lista de figuras	iii
Lista de tablas	vii
Glosario	viii
Resumen	x
Abstract	xii
I. Introducción	1
II. Antecedentes	6
III. Justificación	11
IV. Objetivos	12
IV.1. Objetivo general	12
IV.2. Objetivos particulares	12
V. Área de estudio	13
VI. Materiales y métodos	16
VI.1. Información Biológica	16
VI.2 Información Oceanográfica	21
VI.3 Análisis espaciales y modelación	21
VII. Resultados	26
VII.1. Captura total de larvas de dorado	26
VII.2. TSM en las estaciones con larvas de dorado en el PCO	27
VII.3. Mapas de distribución y abundancia de larvas de dorado en el PCO. Comparación entre Kriging y MAGs.	32
VII.3.1. <i>Coryphaena hippurus</i>	32
VII.3.2. <i>Coryphaena equiselis</i>	37
VII.4. Mapas de distribución y abundancia de larvas de dorado en el PCO. Efecto de la temperatura superficial del mar	42
VII.4.1. <i>Coryphaena hippurus</i>	42
VII.4.2. <i>Coryphaena equiselis</i>	47
VIII. Discusión	52
VIII.1. Comportamiento de temperatura superficial del mar en estaciones con larvas de dorado.	53
VIII.2. Distribución y abundancia de larvas de dorado en el Pacífico Central Oriental. Comparación entre Kriging y MAGs	54

VIII.3. Distribución y abundancia de larvas de dorado en el Pacífico Central oriental. Efecto de temperatura superficial del mar.....	57
IX. Conclusiones	63
X. Bibliografía	65
Anexo 1.....	72
Anexo 2.....	73
Anexo 3.....	74
Anexo 4.....	75
Anexo 5.....	76
Anexo 6.....	77
Anexo 7.....	78
Anexo 8.....	79
Anexo 9.....	80
Anexo 10.....	81

Lista de figuras

Figura 1. Publicaciones científicas realizadas desde 1950 que emplean la técnica de interpolación Kriging y los MAGs.....	10
Figura 2. Publicaciones científicas sobre larvas de peces realizadas desde 1950 que emplean la técnica de interpolación Kriging y los MAGs.....	10
Figura 3. Esquema de la circulación oceanográfica del Pacífico Central Oriental en octubre (tomado de Hendrickx, 1995).....	14
Figura 4. Cobertura geográfica con información disponible de recolectas de larvas de las especies del género <i>Coryphaena</i> en el Pacífico Central Oriental.....	15
Figura 5. Abundancia larval de <i>C. hippurus</i> (en logaritmos) por mes en un semestre prototipo representativo de los siete años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000) en el Pacífico Central Oriental.....	18
Figura 6. Abundancia larval de <i>C. equiselis</i> (en logaritmos) por mes en un semestre prototipo representativo de los siete años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000) en el Pacífico Central Oriental.....	18
Figura 7. Serie de tiempo del Índice Multivariado de El Niño Oscilación del Sur (MEI) y la representación temporal de los periodos de muestreo de ictioplancton por barcos de la NOAA en el Pacífico Central Oriental.....	19
Figura 8. Polígono definido para el estudio de la variación interanual de la abundancia y distribución de larvas de <i>C. hippurus</i> en el periodo de septiembre a noviembre de cada año en el Pacífico Central Oriental.....	20
Figura 9. Polígono definido para el estudio de la variación interanual de la abundancia y distribución de larvas de <i>C. equiselis</i> en el periodo de septiembre a noviembre de cada año en el Pacífico Central Oriental.....	20
Figura 10. Histogramas de temperatura superficial del mar registradas en el Pacífico Central Oriental en estaciones con larvas de <i>C. hippurus</i> para los años de los periodos 1987-1990 y 1998-2000.....	28
Figura 11. Histograma de temperatura superficial del mar en todas las estaciones con larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental durante los 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000).....	29
Figura 12. Histogramas de temperatura superficial del mar registradas en el Pacífico Central Oriental en estaciones con larvas de <i>C. equiselis</i> para los años de los periodos 1987-1990 y 1998-2000.....	30

Figura 13. Histograma de temperatura superficial del mar en todas las estaciones con larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental durante los 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000).....	31
Figura 14. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental para un año arquetipo representativo del periodo septiembre-noviembre de 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000), empleando: A) interpolación Kriging; B) predictor lineal del MAG; C) valores predichos por el MAG en función de variables espaciales.....	35
Figura 15. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando de izquierda a derecha: interpolación Kriging; valores del predictor lineal del MAG y valores predichos por el MAG en función de variables espaciales, respectivamente durante condiciones de El Niño (A, B, C); “Normales” (D, E, F) y La Niña (G, H, I).....	36
Figura 16. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental para un año arquetipo que incluye información de septiembre-noviembre de 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000), empleando: A) interpolación Kriging; B) predictor lineal del MAG; C) valores predichos por el MAG en función de variables espaciales.....	40
Figura 17. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando de izquierda a derecha: interpolación Kriging; predictor lineal del MAG y valores predichos por el MAG en función de variables espaciales, respectivamente durante condiciones de El Niño (A, B, C); “Normales” (D, E, F) y La Niña (G, H, I).....	41
Figura 18. Predictor lineal de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones El Niño derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. a) Mapa de isolíneas del predictor lineal, b) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.....	44
Figura 19. Predictor lineal de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones “Normales” derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. a) Mapa de isolíneas del predictor lineal, b) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.....	45
Figura 20. Predictor lineal de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones La Niña derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. a) Mapa de isolíneas del predictor lineal, b) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.....	46
Figura 21. Predictor lineal de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones El Niño derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. a) Mapa de isolíneas del predictor lineal, b) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.....	49

Figura 22. Predictor lineal de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones “Normales” derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. a) Mapa de isolíneas del predictor lineal, b) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.....	50
Figura 23. Predictor lineal de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones La Niña derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. a) Mapa de isolíneas del predictor lineal, b) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.....	51
Figura 24. Análisis variográficos de <i>C. hippurus</i> (A) y <i>C. equiselis</i> (B) en el Pacífico Central Oriental para un año arquetipo representativo del periodo septiembre-noviembre de 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000).....	73
Figura 25. Análisis variográficos de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental en condiciones El Niño (A), “Normales” (B) y La Niña (C).....	74
Figura 26. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones El Niño.....	75
Figura 27. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones “Normales”.....	76
Figura 28. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. hippurus</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones La Niña.....	77
Figura 29. Análisis variográficos de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental en condiciones El Niño (A), “Normales” (B) y La Niña (C).....	78
Figura 30 Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones El Niño.....	79
Figura 31. Distribución de la abundancia de larvas de <i>C. equiselis</i> en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones “Normales”.....	80

Figura 32. Distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones La Niña.....81

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación por categorías ENSO de los años en los que se cuenta con información de larvas de dorado (*Coryphaena* spp) recolectadas de septiembre a noviembre en el Pacífico Central Oriental19

Tabla 2. Captura total de larvas de dorado (*Coryphaena* spp.) durante el segundo semestre y durante el periodo septiembre-noviembre de los siete años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000) en el Pacífico Central Oriental.....26

Glosario

Ambiente pelágico: Se divide en dos partes importantes: 1) La zona nerítica, o masa de agua situada sobre la plataforma continental, extendiéndose lejos de la costa hasta una profundidad aproximadamente de 200 metros. 2) Zona oceánica, situada más allá de la plataforma continental con una profundidad mayor a los 200 metros.

Anomalía: Diferencia entre el valor de una variable en un lugar determinado y su promedio a largo plazo en ese mismo sitio.

Distribución espacial: Disposición geográfica de los componentes de una población en un área determinada.

Dorado: Nombre común al grupo de organismos que incluye a las dos especies de dorado (*Coryphaena hippurus* y *Coryphaena equiselis*).

Ictioplancton: Fracción del plancton compuesta por huevos y larvas de peces.

Isoterma: Línea que une puntos en un mapa de igual temperatura o de valor constante.

Juvenil: Individuo en fase pre-reproductiva, morfológicamente similar a un adulto, con todas las aletas y sus radios completamente formadas y con presencia de escamas.

Larva: Estadio seguido a la eclosión de los peces.

MAG o modelo aditivo generalizado: Son descritos como una generalización de los modelos lineales generalizados, en el cual parte del predictor lineal es especificado como una suma de funciones.

Peces pelágicos: Categoría asignada a los organismos de nado libre de acuerdo a su ubicación en los ecosistemas acuáticos.

Pacífico Central Oriental: Porción del Océano Pacífico próxima a la costa del continente americano.

Población: Grupo de organismos de la misma especie que habitan en un área geográfica restringida y que tienen la capacidad de reproducirse con cualquier otro miembro de dicho grupo.

Reclutamiento: Ingreso de individuos jóvenes hacia la población adulta.

Reproducción: Proceso mediante el cual las especies se perpetúan (Hempel, 1979).

Surgencia: Movimiento vertical de agua más profunda rica en nutrientes hacia la superficie.

Termoclina: Estrato o capa de la columna de agua cuya temperatura decrece rápidamente con la profundidad, por lo que el gradiente de temperatura en esta zona es muy fuerte (cambios de 1 °C o más por metro). Separa masas de aguas superficiales menos densas, y masas de aguas más profundas de mayor densidad.

TSM: Temperatura Superficial del Mar.

Resumen

El objetivo del presente estudio es conocer las principales áreas de crianza del dorado (*Coryphaena hippurus* y *C. equiselis*) en el Pacífico Central Oriental (PCO), analizando el efecto de la variabilidad interanual de la temperatura superficial del mar (TSM) en la distribución y abundancia de las larvas. La información de larvas provino de cruceros de investigación de la NOAA en el PCO realizados en siete años (de 1987 a 1990 y de 1998 a 2000) durante los meses de julio a diciembre. Del análisis mensual de las abundancias estandarizadas de larvas (AEL, número de larvas estandarizadas por 100 m³ de agua filtrada) en un año tipo, la mayor disponibilidad ocurrió de septiembre a noviembre, en coincidencia con la época reproductiva reportada para las especies. Para estos tres meses fueron acotados los análisis interanuales de este trabajo, los que a su vez fueron clasificados con base en información del MEI (Índice Multivariado ENSO) para construir años representativos de condiciones anómalas El Niño, La Niña y no anómalos. Para cada localidad de muestreo incluida en los análisis fue utilizada la TSM promedio mensual del sensor satelital AVHRR. Las larvas de las dos especies fueron recolectadas en aguas entre los 19 y 31 °C, ambas con moda entre los 27 y 28 °C. Los mapas de distribución de la AEL fueron realizados con dos métodos para fines comparativos. Uno, con el método de interpolación Kriging, sobre la base de previos análisis variográficos en los que no se encontró correlación espacial en los datos en ningún de los tipos de años analizados, para ninguna de las especies. El segundo método a través de Modelos Aditivos Generalizados (MAGs) considerando solamente la interacción de las variables espaciales (longitud y latitud). Para las dos especies en la mayoría de periodos, los mapas de las áreas de crianza que resultaron de las dos metodologías mostraron distribuciones geográficamente consistentes, pero con AEL cuantitativamente diferentes. Finalmente, utilizando los MAGs fueron construidos otros mapas que incluyeron el efecto de la interacción de las variables espaciales más el efecto de la TSM sobre la AEL de dorado, resultando un incremento significativo en la explicación de la devianza de los modelos construidos. Los centros de mayor abundancia de larvas de *C. hippurus* ocurrieron en aguas relativamente cercanas a la costa, mientras que los de *C. equiselis* ocurrieron principalmente en

aguas oceánicas del PCO durante los periodos de estudio. La ubicación de los centros de crianza de las dos especies varió de forma interanual en el PCO, pero en ambos casos los mayores registros se presentaron en aguas cálidas, por encima de los 24 °C.

Abstract

The aim of this study was to know the main nursery areas of dolphinfish (*Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*) in the Eastern Central Pacific (ECP), analyzing the effect of the interannual variability of sea surface temperature (SST) on the distribution and abundance of larvae. The information of larvae comes from research cruises that the NOAA made in the ECP during seven years (from 1987 to 1990 and from 1998 to 2000) in the months of July to December. From monthly analysis of the standardized abundances of larvae (SAL, standardized number of larvae per 100 m³ of filtered water) in a representative year, an increased availability of larvae was found from September to November, coinciding with the breeding season reported for these species. In this study the interannual analyses were limited to the information in these months and these in turn were classified based on the MEI (Multivariate ENSO Index) information to build a representative year of anomalous El Niño condition, La Niña conditions and no anomalous conditions. The monthly average of SST for each station included in the analysis was obtained from the AVHRR satellite sensor. The larvae of both species were collected in waters between 19 and 31 °C, with mode between 27 and 28 °C for both species. The distribution maps of the SAL were performed with two methods for comparative purposes. One, with the interpolation method Kriging, whose previous variographic analyses did not show spatial correlation in the data of any period, in any of the species. The second method through Generalized Additive Models (GAMs) considering only the interaction of spatial variables (longitude and latitude). The resulting maps from the two methods were consistent for both species in most typical years. Finally, other maps were constructed for each specie using the GAMs, now including the interaction of the spatial variables plus the SST effect on the SAL of dolphinfish larvae, resulting in a significant increase in the explained deviance of the models constructed. The centers of higher larval abundance of *C. hippurus* occurred in waters relatively close to the coast, while those of *C. equiselis* occurred primarily in oceanic waters of the PCO during the study periods. The location of the nursery areas of the two species varied interannually in the ECP, but in both cases the highest records were in warm waters, above 24 °C.

I. Introducción

Los peces conocidos comúnmente como dorados, pertenecen a la familia Coryphaenidae, la cual cuenta con un solo género y dos especies: *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758) y *C. equiselis* (Linnaeus, 1758). En términos generales el dorado tiene distribución circuntropical (Gibbs y Collete, 1959), habitando los mares tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Palko *et al.*, 1982), entre los 41° N y los 35° S (Aguilar-Palomino, 1993). Estos peces se encuentran limitados en su distribución por la isoterma de los 20 °C, por lo cual es común encontrarlos nadando en aguas superficiales y cálidas (Norton, 1999; Oro, 1999). Usualmente *C. equiselis* es capturada en aguas más oceánicas, mientras que *C. hippurus* es más costera (Rose y Hassler, 1968). Sin embargo, a pesar de ser un recurso de amplia distribución mundial, trabajos relacionados con la distribución de sus primeras etapas de vida y de su relación con las variables ambientales son escasos.

La amplitud de su distribución las ubica como un objetivo importante tanto para las pesquerías comerciales a nivel industrial (Peralta, 2006), como para la pesca artesanal y la pesca deportiva (Martínez-Rincón, 2008). En el Océano Atlántico Oriental las flotas de pesca artesanal usualmente utilizan objetos flotantes ya que estos peces se ven atraídos hacia ellos (Massutí *et al.*, 1999); en el Atlántico Occidental existe una fuerte presión de la pesca comercial, específicamente en el estado de la Florida, convirtiéndose en una de las pesquerías más importantes de la zona (Rose y Hassler, 1968).

En el Océano Pacífico Occidental este recurso es explotado a nivel comercial por las flotas japonesas (Kojima, 1965), mientras que en Hawái se ha desarrollado el cultivo de dorado en encierros marinos (Benetti, 1995). En el Pacífico Oriental, en las costas de Centro y Sudamérica es aprovechado principalmente por flotas palangreras de Costa Rica, Panamá, Colombia, Ecuador y Perú (Campos *et al.*, 1993; Oro, 1999; Lasso y Zapata, 1999; Zúñiga-Flores,

2009), básicamente para su exportación. En México estas especies están reservadas para uso exclusivo de la pesca deportiva dentro de las primeras 50 millas náuticas desde la línea de costa, actividad que aporta divisas importantes (SAGARPA, 2012).

Biológicamente, el dorado es un depredador tope dentro de las redes tróficas pelágicas y es un representante importante de los pelágicos mayores en todo el mundo (Nelson, 2006; Palko *et al.*, 1982). Los dorados son nadadores activos y alcanzan velocidades altas, pero quizá una de sus características principales es que son altamente migratorios (Palko *et al.*, 1982). También se ha reportado que la distribución de los peces adultos de estas especies es afectada directamente por los cambios físicos que ocurren en el océano, particularmente en el Pacífico Oriental (Norton, 1999; Martínez-Rincón, 2008).

En términos generales los sistemas oceánicos son dinámicos en escalas espaciales y temporales diferentes, y las modificaciones y cambios en el comportamiento de los factores y procesos oceanográficos pueden explicar directa o indirectamente los cambios en la distribución de las especies marinas (Sabatés, 1990; Mariani *et al.*, 2010). Es así que se ha demostrado que la variabilidad ambiental tiene impacto en la distribución, migración y abundancia de peces, entre otras formas de vida marina (Fischer *et al.*, 1995). De tal manera que si se dispone de información biológica y de las características físicas del hábitat, pueden inferirse relaciones hábitat-especie, para intentar deducir cómo los patrones de distribución y abundancia están ligados a la dinámica del océano (Ballance *et al.*, 2006).

Se han reportado repercusiones de las corrientes marinas y de procesos de macroescala sobre la supervivencia de huevos y larvas de peces a través de la advección, apartándolas de las regiones o áreas de crianza a zonas no favorables, y probablemente causando el desplazamiento de los adultos fuera de la región donde normalmente desovan (Funes-Rodríguez *et al.*, 2009). Estos

desplazamientos afectan directamente el proceso de reclutamiento, lo que resulta determinante para el sostenimiento de las poblaciones naturales (Fischer *et al.*, 1995). En opinión de algunos autores quizá la variable que mayor efecto ejerce sobre los pelágicos mayores y su distribución es la temperatura superficial del mar (Clemens, 1957; Kojima, 1961; Shchervachev, 1973; Palko *et al.*, 1982; y Compagno *et al.*, 1995), la cual además de desencadenar cambios en la distribución y abundancia de los peces, también puede ocasionar cambios en las tallas de captura de los mismos, repercutiendo en las pesquerías, con diferente impacto económico y social en quienes dependen de los recursos afectados (Massutí y Morales-Nin, 1991).

En las últimas décadas se han incrementado los estudios que buscan relacionar la variabilidad ambiental oceánica con los cambios en espacio y tiempo de la distribución de las poblaciones de peces (Simms *et al.*, 2010). Dentro de esos estudios destacan los realizados con larvas de peces, etapa de vida que puede ser útil para cuantificar el nivel de desove de las poblaciones (Richardson *et al.*, 2009), identificar áreas de crianza (zonas de desarrollo de los primeros estadios de vida), y definir su relevancia en el proceso de reclutamiento y posterior mantenimiento de las poblaciones (García *et al.*, 2009). Históricamente, para entender las relaciones que existen entre las especies y su medio ambiente, los estudios de larvas de peces han utilizado diversas técnicas estadísticas dentro de las que destacan los modelos de regresión lineal (McGurk, 1986), los modelos de regresión múltiple (Somarakis *et al.*, 2002), los modelos lineales generalizados (Franco-Gordo *et al.*, 2004), mismos que fueron utilizados para describir dichas relaciones, acompañados en la mayoría de veces de herramientas geoestadísticas complementarias (e.g. Kriging) para representar en mapas la distribución de las especies analizadas y de las variables ambientales de manera independiente. Estudios recientes han demostrado que en la naturaleza las relaciones del tipo lineal raramente se presentan en la naturaleza (Cury y Roy, 1989). Sobre esta base, recientemente las técnicas estadísticas más utilizadas son métodos que exploran relaciones del tipo no lineal, y que además no están

limitadas por algún supuesto estadístico, como por ejemplo que los datos tengan distribución “normal” o “Gausiana”. Un ejemplo de estas nuevas técnicas son los modelos aditivos generalizados (MAGs). Estos modelos además de explorar relaciones del tipo no lineal, permiten reunir diferentes variables independientes que afectan a la variable dependiente (referente en muchos casos de estudio a la abundancia de una especie o a la presencia de la misma), para posteriormente visualizar gráficamente el efecto de estas mediante mapas.

También existen los métodos geoestadísticos, los cuales tratan fenómenos espaciales y su principal interés es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Journel & Huijbregts, 1978). Estos constituyen una herramienta para describir la continuidad espacial, característica esencial de muchos fenómenos naturales, y que adicionalmente proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión (Petitgas, 2001). En el mismo sentido el Kriging realiza predicciones espaciales que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción (Armstrong *et al.*, 1992), permitiendo realizar interpolaciones que también pueden ser visualizadas a través de mapas.

En la sección de Antecedentes de este trabajo, se mencionan algunos estudios que abordan temáticas como la distribución y abundancia de adultos de las especies de dorado, de aspectos reproductivos, los realizados sobre los primeros estadios de desarrollo de estas especies, y se denota la escases de trabajos sobre la abundancia-distribución de estos estadios del dorado en relación con variables ambientales. En esa sección, además se muestra la evolución de dos metodologías comúnmente utilizadas en la literatura relativa al ictioplancton para definir y representar geográficamente la distribución de los niveles de abundancia de huevos, larvas o ambos. Uno, el método de interpolación Kriging (Krige, 1951) y el otro los modelos aditivos generalizados (Hastie y Tibshirani, 1986). Como resultado de esa revisión no se encontró ningún trabajo que evaluara comparativamente los resultados que produce uno y otro método. En la primera parte de este trabajo comparamos la representación geográfica de la distribución

de los niveles de abundancia de larvas de las dos especies de dorado producto de utilizar el Kriging y los MAGs para evaluar las posibles diferencias, resultado que pretendemos coadyuvará a entender el resultado de los MAGs desarrollados en la segunda parte de este trabajo de tesis, en los que además de las variables geográficas se adiciona el efecto de la temperatura superficial del mar.

En otras palabras, el objetivo principal de este trabajo es conocer las principales áreas de crianza de larvas de dorado en el Pacífico Central Oriental, la variabilidad interanual que presentan esas áreas de crianza, tanto en su ubicación geográfica como en la importancia relativa de ellas. Para lograrlo, un primer paso es evaluar si los métodos comúnmente utilizados para representar la distribución espacial tienen un efecto en los resultados, y por consecuencia afectar la interpretación de los patrones de distribución, es por ello que en este trabajo inicialmente se comparan los resultados de dos métodos. Posteriormente se introduce el efecto de la TSM en la variabilidad espacial y en la AEL de las especies de dorado. Considerando los diferentes resultados se pretende contribuir con el conocimiento de los primeros estadios de vida de las especies del genero *Coryphaena*, de tal forma que esta información pueda posteriormente ser utilizada para la conservación y adecuado manejo de este recurso.

II. Antecedentes

Considerando que las especies de dorado tienen un amplio rango de distribución alrededor del planeta, un número importante de publicaciones científicas acerca de estos organismos han sido publicadas. Más de 700 publicaciones entre 1956 y 2013 están registradas por la base de datos Proquest Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts. Desde la década de los años 1950s hasta el presente existe una tendencia de incremento en el número de estudios que abordan diferentes tópicos de estos pelágicos, como su biología y ecología, destacando los realizados por Gibbs y Collette (1959), Rose y Hassler (1974), Palko *et al.* (1982) y Compagno *et al.* (1995); de entre los relacionados con su distribución destacan los trabajos de Clemens (1957), Walker (1960), Briggs (1960), Kojima (1961), Tibbo (1962), Shchervachev (1973), Palko *et al.* (1982) y Compagno *et al.* (1995); y sobre aspectos poblacionales, genéticos y pesqueros Palko *et al.* (1982), Tripp-Valdéz (2009), Beltrán (1995), Klett *et al.* (1996), Ortega-García (2000) y Santana (2001), entre muchos otros. Sin embargo trabajos relacionados con las etapas de vida temprana (larvas y juveniles) son escasos, aunque son importantes para comprender el ciclo de vida de estas especies.

En el trabajo realizado por Palko *et al.* (1982) se recopiló la información sobre las dos especies de dorado, abordando su identificación, reproducción y ciclo de vida, características morfológicas, distribución, ecología trófica e incluso información pesquera. Massutí y Morales-Nin (1995) y Massutí *et al.* (1999) publicaron una serie de estudios sobre el dorado donde analizan aspectos ecológicos y reproductivos principalmente en el Océano Atlántico. Para el Pacífico destacan los estudios realizados por Zúñiga-Flores (2009) sobre aspectos de edad, crecimiento y reproducción, el de Norton (1999) quien propone la extensión del hábitat de *C. hippurus* como consecuencia de cambios climáticos transitorios en la Corriente de California y el de Kraul (1999) referente a la abundancia estacional del dorado en Hawái y en el Pacífico Tropical.

Quizá una de las principales razones de la escases de estudios relativos a larvas y juveniles es que estas especies presentan un desarrollo ontogénico rápido, adquiriendo una rápida capacidad natatoria (Aoki y Ueyanagi, 1989), permitiéndoles escapar de las redes de arrastre que comúnmente son empleadas en los estudios oceanográficos (Sánchez, 2008), lo cual también pudiera explicar el reducido número de larvas de estas especies en estudios zooplanctónicos publicados.

Respecto a los estudios ictioplanctónicos, Shcherbachev (1973) analizó la distribución de las larvas y huevos de dorado en el Índico y en el Pacífico Occidental, reportando que el desove ocurre de forma intermitente durante todo el año en aguas tropicales. También reportó que en ciertas zonas los desoves solo ocurrieron en épocas cálidas, cuando la temperatura superficial del mar se incrementó significativamente. Johnson (1978) realizó en el Atlántico Central un trabajo similar al de Shcherbachev, encontrando que el desove de *C. hippurus* se puede presentar durante todo el año y que el pico máximo se presentó en los meses de verano boreal. También reportó una relación positiva entre el aumento de la temperatura superficial del mar y el desove de esta especie.

Por su parte Uchiyama *et al.* (1986) reportaron larvas de *C. hippurus* en aguas costeras de Hawái, mientras que *C. equiselis* estuvo asociada en la mayoría de los casos con aguas oceánicas. En contraste, Ditty *et al.* (1994) reportaron que las larvas de las dos especies fueron recolectadas en aguas oceánicas al norte del Golfo de México.

Otro trabajo similar a los dos anteriores fue realizado por Aoki y Ueyanagi (1989), en aguas del Pacífico Central Oriental y el Atlántico Occidental. En ese estudio la presencia de larvas de las dos especies de dorado fue registrada en las dos zonas de estudio, pero con una abundancia mayor de *C. equiselis* en aguas oceánicas del Pacífico mexicano. También reportaron que las larvas de las dos

especies en los dos océanos fueron más abundantes en aguas cálidas con temperaturas mayores a los 24 °C.

Para el Pacífico mexicano dos trabajos reportan aspectos reproductivos del dorado. Barcelata *et al.* (1990) sobre la base de estudios ictioplanctónicos reportaron que la mayoría de los eventos de desove en las costas de Mazatlán, Sinaloa ocurrieron entre mayo y septiembre, periodo que se caracteriza por la presencia de aguas cálidas, especialmente durante el último mes. Por su parte García (1995) trabajó en el área de Los Cabos, B.C.S. México, y a partir de estudios histológicos reportó la presencia de dos picos reproductivos, uno en invierno y otro en verano, lo que coincide con lo reportado en otras regiones del mundo.

Zúñiga-Flores (2009) basándose en estudios sobre la estacionalidad de las tasas de captura de adultos, sugirió la existencia de varias poblaciones en el Pacífico mexicano y posibles movimientos migratorios como respuesta a cambios ambientales. Este autor concluyó que *C. hippurus* presentó mayores abundancias en los meses de septiembre, octubre y noviembre en la región sur del Golfo de California en aguas con temperaturas superiores a los 24 °C.

Diversos estudios afirman que las especies de peces pelágicos se encuentran altamente asociados a su entorno ambiental, tanto por condiciones climáticas como por características físico-químicas del océano (Martínez-Rincón, 2012). No obstante, la temperatura superficial del mar (TSM) es la variable ambiental más estudiada y que ha sido asociada a los cambios que se presentan en las poblaciones de peces (De Sylva, 1989), similar a lo observado en otros organismos marinos como crustáceos, moluscos y mamíferos (Ballance *et al.*, 2006). Para el caso del dorado, fue sugerido que su distribución y disponibilidad está influenciada por la TSM, principalmente porque son especies de hábitos superficiales y que se encuentran asociados a aguas cálidas (Palko *et al.*, 1982; Norton, 1999, Martínez-Rincón, 2012).

Dos metodologías son comúnmente utilizadas en la literatura relativa al ictioplancton para definir y representar geográficamente la distribución de los diferentes niveles de abundancia de huevos, larvas o ambos. Uno, el método de interpolación Kriging (Krige, 1951) y el otro los modelos aditivos generalizados (Hastie y Tibshirani, 1986). Como se evidenciará en los párrafos siguientes de esta misma sección, no se encontró algún trabajo que evalué comparativamente los resultados que produce uno u otro método. Para soportar esta aseveración, una búsqueda avanzada en la base de datos ProQuest Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts fue realizada. La extensión temporal de la búsqueda fue a partir de 1950, considerando las fechas de publicación de los métodos (Krige, 1951; Hastie y Tibshirani, 1986). Para observar la tendencia del uso de estos dos métodos en las publicaciones, primeramente fueron realizadas las búsquedas sin hacer distinción de algún grupo biológico en particular, y utilizando las palabras: Kriging y “generalized additive models”. Las búsquedas fueron restringidas de la siguiente manera. Tipo de fuente: Libros, Revistas científicas, Revistas profesionales y Tesis doctorales y tesinas; Tipo de documento: artículo, capítulo de libro, disertación/tesis y libro; Idioma: Todos.

Resultado de la búsqueda, en la figura 1 se muestra la tendencia del número de publicaciones que usaron esas metodologías, el número de registros mayor ocurrió entre el año 2000 y el 2010. También se observa que el número de estudios empleado el método de interpolación Kriging es mayor que el de los MAGs.

Una búsqueda similar pero con énfasis en trabajos relacionados con larvas de peces fue realizada utilizando las siguientes combinaciones de palabras: “Kriging Fish Larva” y “Generalized Additive Models Fish Larva”. El número de publicaciones sobre larvas de peces que emplearon los MAGs fue mayor y con tendencia creciente en la última década en comparación a los estudios que usan el Kriging , con tendencia decreciente durante los años más recientes (Fig. 2). La búsqueda utilizando las palabras “Kriging GAMs Fish Larva” resultó con 2 trabajos,

en ellos las dos metodologías fueron utilizadas de manera complementaria, no de forma comparativa.

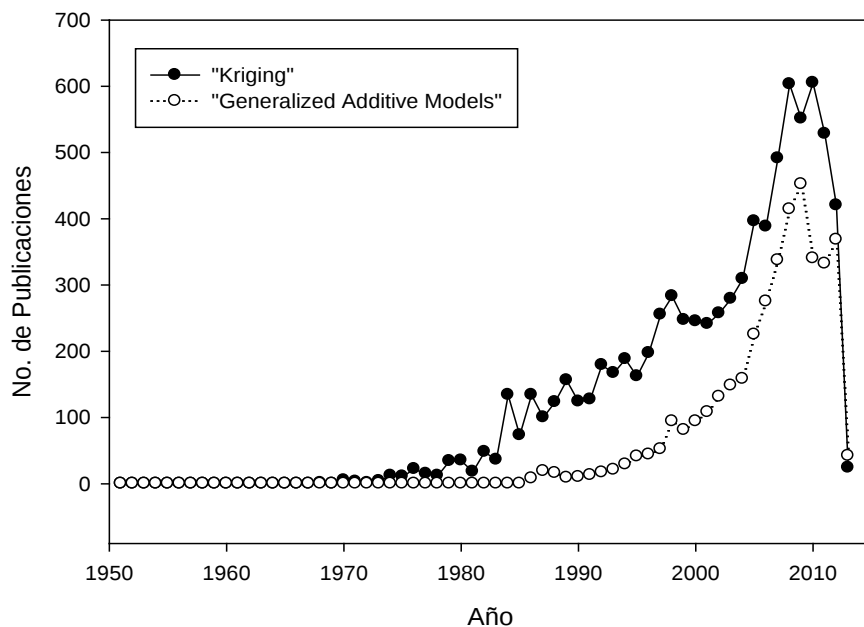


Figura 1. Publicaciones científicas realizadas desde 1950 que emplean la técnica de interpolación Kriging y los MAGs.

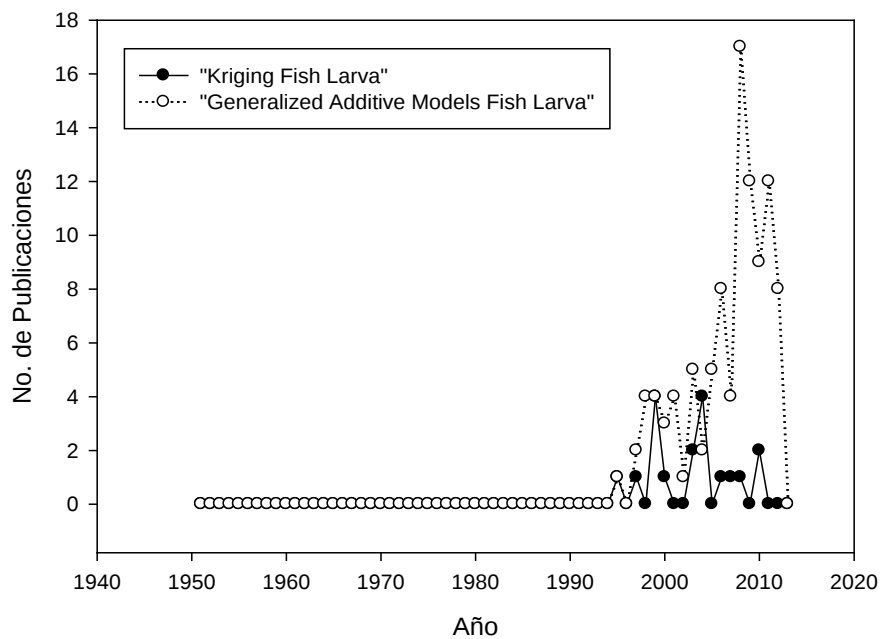


Figura 2. Publicaciones científicas sobre larvas de peces realizadas desde 1950 que emplean la técnica de interpolación Kriging y los MAGs .

III. Justificación

Los estudios de huevos y larvas de peces son determinantes en el entendimiento de los aspectos reproductivos de las especies (Lasker, 1981), estos son utilizados para cuantificar el nivel del desove de una población en particular, y son fundamentales para abordar los objetivos básicos de investigación de las pesquerías, como lo es determinar y describir la estructura de las poblaciones y evaluar la abundancia de poblaciones (Richardson *et al.*, 2009). Basándose en la revisión de literatura científica disponible para especies de peces pelágicos mayores, incluyendo a las especies de dorados, se puede afirmar que son escasos los estudios realizados sobre los primeros estadios de vida de estos organismos (Sánchez, 2008).

Debido a la importancia del dorado en las capturas incidentales, comerciales y en la pesca turística-recreativa, en este trabajo se pretende explicar el efecto de la TSM en las variaciones interanuales de la Abundancia Estandarizada de Larvas (AEL) y en la distribución de las larvas en el Pacífico Central Oriental (PCO) en un periodo de siete años (1987-1990 y 1998-2000), bajo la suposición de que al lograr entender los cambios interanuales de las áreas de crianza y las AEL, este conocimiento pueda ser utilizado posteriormente en otros estudios para buscar alguna asociación con las variaciones de las capturas en diferentes regiones del PCO o para entender las variaciones del ecosistema donde habitan las especies de dorado.

IV. Objetivos

IV.1. Objetivo general

Inferir el efecto de la variabilidad interanual de la temperatura superficial del mar en la distribución y abundancia de larvas del dorado *C. hippurus* y *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental.

IV.2. Objetivos particulares

- Identificar geográficamente las principales áreas de crianza de las especies de dorado en el Pacífico Central Oriental.
- Caracterizar las condiciones de temperatura superficial del mar de las principales áreas de crianza del dorado dentro del Pacífico Central Oriental.
- Establecer si existe consistencia interanual en la ocurrencia geográfica de las áreas de crianza, en la importancia relativa entre ellas, así como en las preferencias térmicas de las especies.
- Establecer las posibles relaciones causales de cambios en las áreas de crianza debido a la variación de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Central Oriental.
- Modelar matemáticamente el efecto de la temperatura superficial del mar en la distribución y abundancia estandarizada de las larvas de dorado.

V. Área de estudio

El Pacífico Central Oriental (PCO) (Fig. 3) se extiende desde el límite sur de Colombia (1°25' N), hasta la costa occidental de la Península de Baja California (24°30' N), en el norte de México. Comprende más de 9,000 km de costas continentales de Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala y México. El PCO forma parte de la región zoogeográfica del Pacífico Oriental, que se extiende desde El estrecho de Magallanes, a lo largo de la costa occidental de América hasta Punta Barrow (Hendrickx, 1995).

Las condiciones ambientales en el PCO se relacionan de forma directa con los patrones climáticos locales, y con las corrientes oceánicas y costeras. La circulación oceánica está influenciada principalmente por la actividad de los vientos alisios del norte y del sureste, los cuales convergen al norte del Ecuador entre los 5° y 10° N, formando la Zona de Convergencia Intertropical (Fiedler, 1992). Los límites norte y sur del PCO se localizan en dos zonas de mezcla de agua de origen ecuatorial y templado. Al sur colinda con la corriente del Perú (una prolongación de la corriente de Humboldt) y al norte con la corriente de California (Hendrickx, 1995). El impacto de estas dos corrientes frías, así como la intensidad de la contracorriente Norecuatorial, varían según el periodo del año. En el PCO, la contracorriente Norecuatorial presenta su máxima intensidad en septiembre-octubre, cuando su extensión hacia el este sobrepasa la longitud de 90° O y contrarresta el avance de la corriente de California hacia el sur, más allá de Bahía Magdalena (Hendrickx, 1995); al mismo tiempo se desarrolla la corriente costera de Costa Rica, la cual se intensifica (incluso hasta diciembre), extendiéndose hasta la boca del Golfo de California, y finalmente la corriente de California gira hacia el oeste, para así intensificar la corriente Norecuatorial (Kessler, 2006).

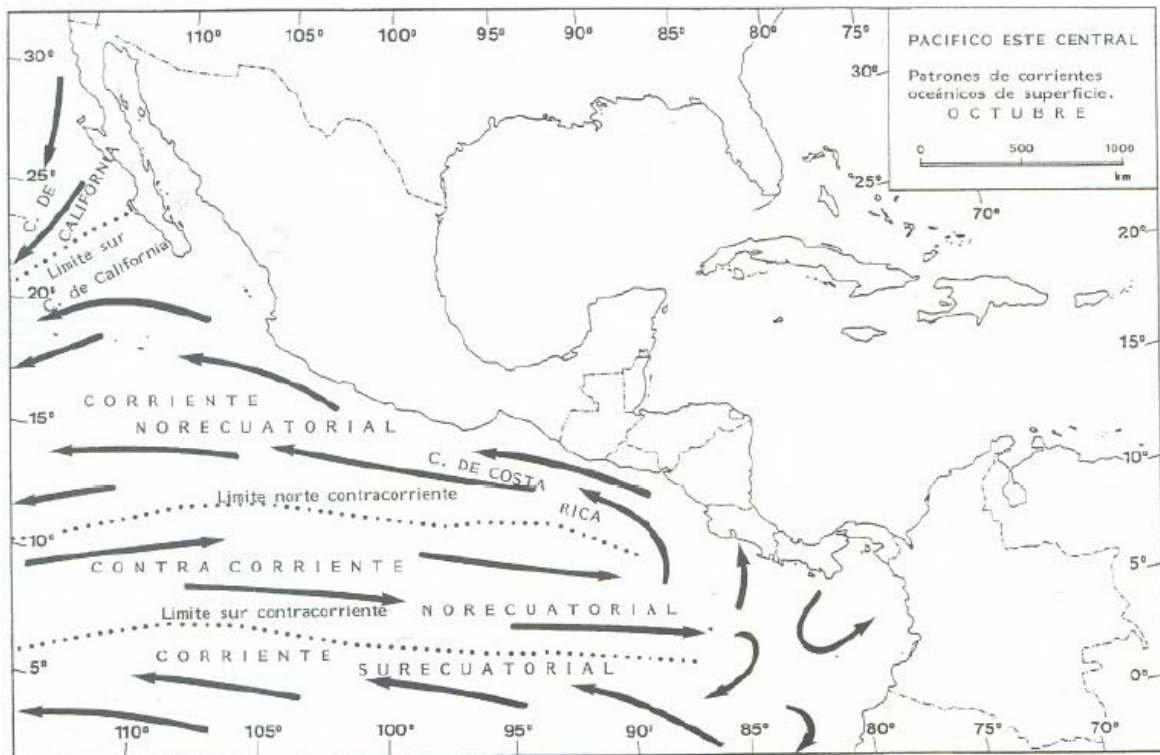


Figura 3. Esquema de la circulación oceanográfica del Pacífico Central Oriental en octubre (tomado de Hendrickx, 1995).

La cobertura geográfica total dentro de la cual existe información documentada de la recolecta de larvas de las especies del género *Coryphaena* en el Pacífico Central Oriental (ver relación bibliográfica en Anexo 1), comprende latitudinalmente entre los 33° N (limite costero entre Estados Unidos y México) y 14° S (costa de Perú), y longitudinalmente desde la costa occidental del continente Americano hasta el meridiano de los 155° O (Hawái) (Fig. 4). En la sección de Materiales y Métodos de este trabajo son definidos los criterios y la extensión de los polígonos dentro de los cuales fueron realizados los análisis para cada especie.

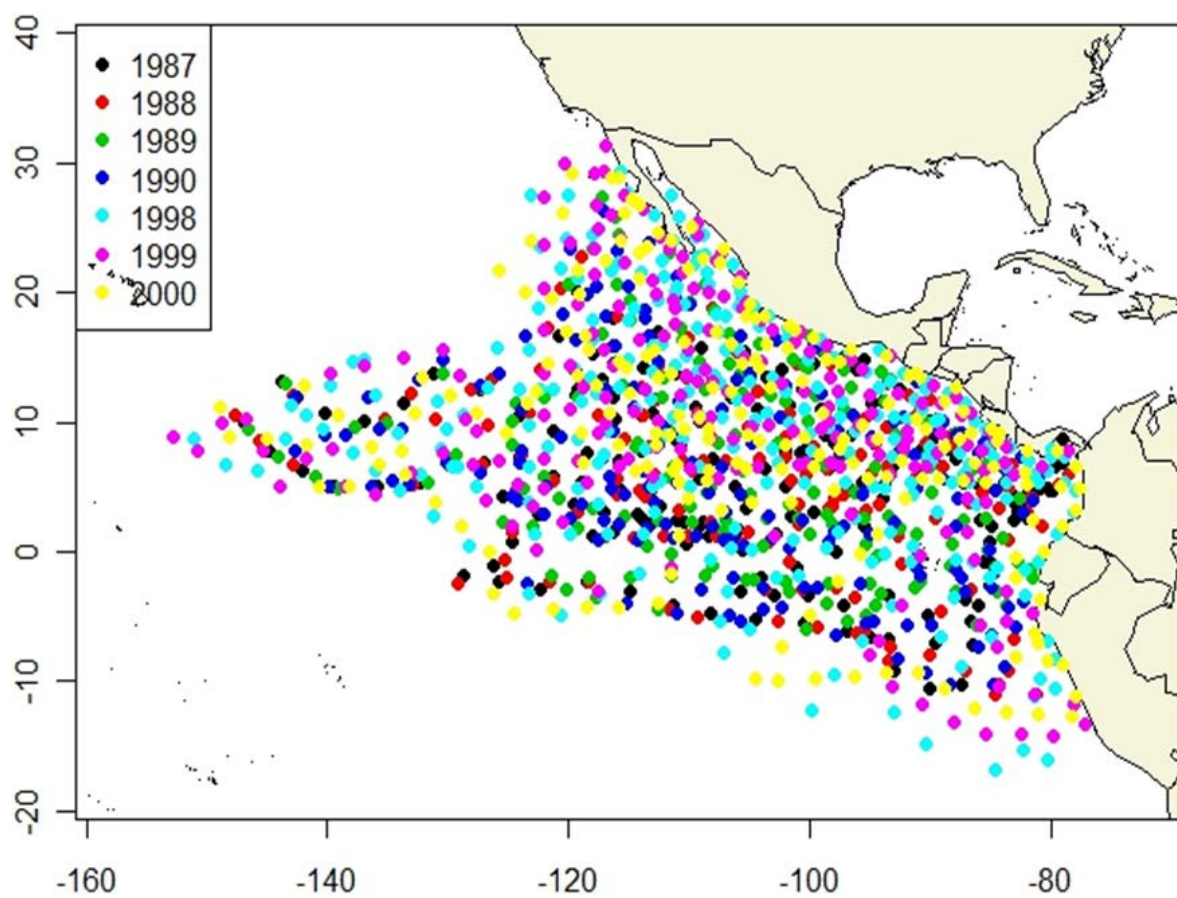


Figura 4. Cobertura geográfica con información disponible de recolectas de larvas de las especies del género *Coryphaena* en el Pacífico Central Oriental.

VI. Materiales y métodos

VI.1. Información Biológica

En el área de estudio (Fig. 4), los barcos de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos realizaron 13 cruceros oceanográficos durante siete años, divididos en dos periodos (1987-1990 y 1998-2000), cuya duración usual fue de seis meses (de julio a diciembre) y durante los cuales se realizaron transectos itinerantes. El objetivo principal de esos cruceros fue el estudio de delfines en el Pacífico Oriental Tropical (Eastern Tropical Pacific Dolphin Survey). En un total de 1317 estaciones fueron realizadas recolectas de larvas, en 387 de las cuales fueron registradas larvas de dorado. Para la recolección fue utilizada una red de arrastre superficial tipo Manta modificada con apertura de malla de 333 μm y con apertura de boca de 15 cm x 86 cm. Para calcular el volumen de agua filtrada durante los arrastres zooplanctónicos fue utilizado un flujometro *General Oceanics*® suspendido en el centro de la base de la red. Los arrastres tuvieron una duración de 15 minutos a una velocidad de 0.77m.s^{-1} . Posteriormente las muestras fueron preservadas en formalina, etiquetadas y almacenadas.

La identificación a nivel de especie de las larvas recolectadas fue realizada por expertos en ictioplancton del Southwest Fisheries Science Center, NOAA. Los resultados de cada campaña fueron publicados en la serie denominada NOAA Technical Reports (anexo 1). Con la información de estos reportes fue construida una base de datos en el Laboratorio de Biología y Oceanografía Pesquera del CICIMAR. Para cada estación de muestreo se registró la fecha y la posición geográfica y para cada especie recolectada el número estandarizado de larvas por volumen de agua filtrado (100 m^3).

Escala temporal

Para definir el periodo dentro del cual pudieran realizarse comparaciones interanuales consistentes fue examinada la disponibilidad de larvas durante los meses de muestreo en un semestre prototipo (incluyendo información de julio-diciembre de los 7 años). Tanto para *C. hippurus* (Fig. 5) como para *C. equiselis* (Fig. 6) se observó un incremento en la disponibilidad de larvas en los meses de septiembre a noviembre, periodo que fue seleccionado dentro de cada año para los análisis siguientes. Los meses seleccionados coinciden con uno de los picos reproductivos reportados para estas especies en el PCO (Zúñiga-Flores, 2009).

Para contextualizar los análisis interanuales de este trabajo, en la figura 7 se presentan gráficamente los siete años en que se realizaron las recolectas de larvas dentro de una escala temporal más amplia representada a través de la climatología a nivel de cuenca, utilizando la serie de tiempo del Índice Multivariado de El Niño Oscilación del Sur (MEI), la cual se encontró disponible en la página oficial de la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>).

Sobre la base de este índice, cada uno de los siete años fue tipificado dentro de las categorías de años con condiciones anómalas El Niño, La Niña, o con condiciones no anómalas (tabla 1). Al año característico construido con aquellos que ocurrieron en condiciones no anómalas será denominado con el término de año “normal”.

Escala espacial

Para definir la escala espacial dentro de la cual fuera factible realizar comparaciones interanuales con los métodos de Kriging y MAGs, dos polígonos fueron trazados, uno para *C. hippurus* (Fig. 7) y otro para *C. equiselis* (Fig. 8), de tal forma que en cada uno se incluyeran las estaciones muestreadas dentro del periodo septiembre a noviembre de cada uno de los siete años de muestreo.

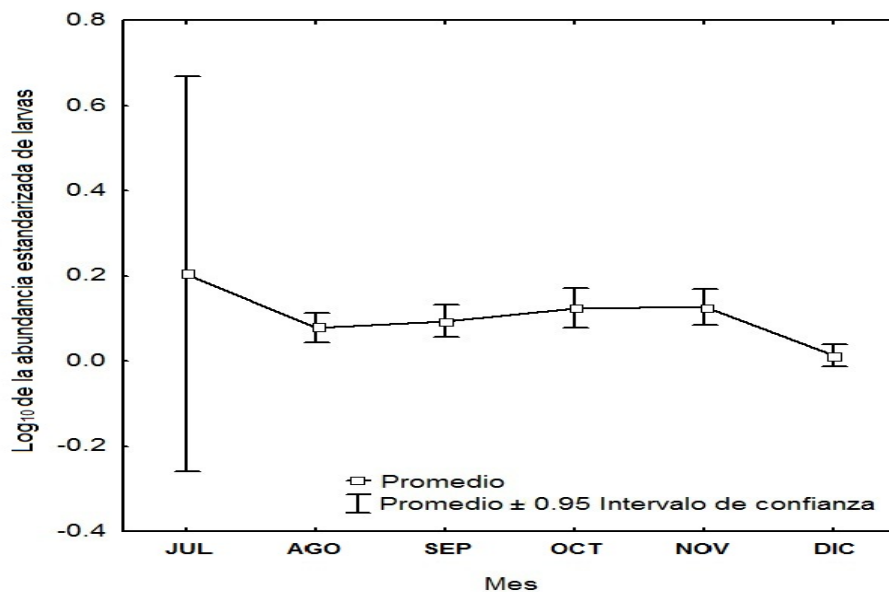


Figura 5. Abundancia larval de *C. hippurus* (en logaritmos) por mes en un semestre prototipo representativo de los siete años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000) en el Pacífico Central Oriental.

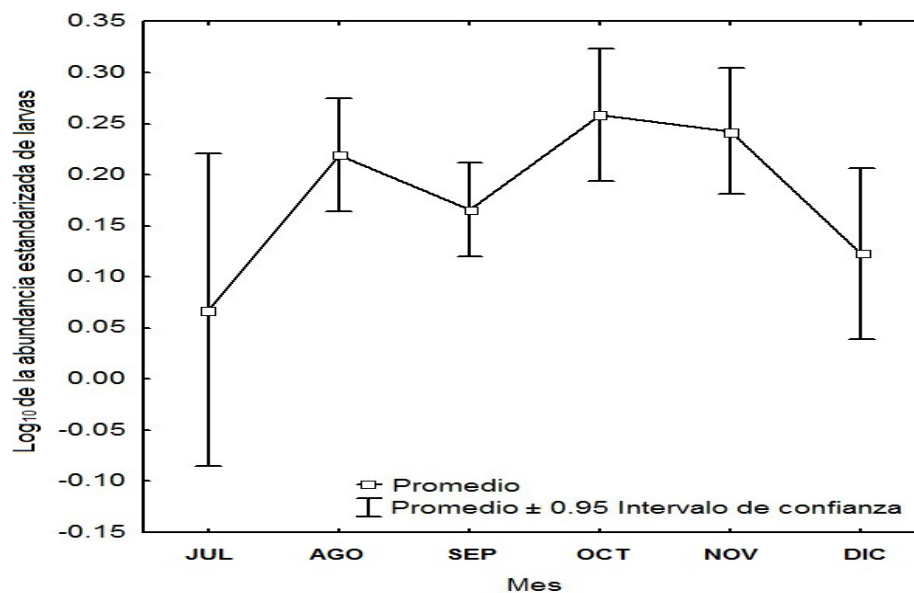


Figura 6. Abundancia larval de *C. equiselis* (en logaritmos) por mes en un semestre prototipo representativo de los siete años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000) en el Pacífico Central Oriental.

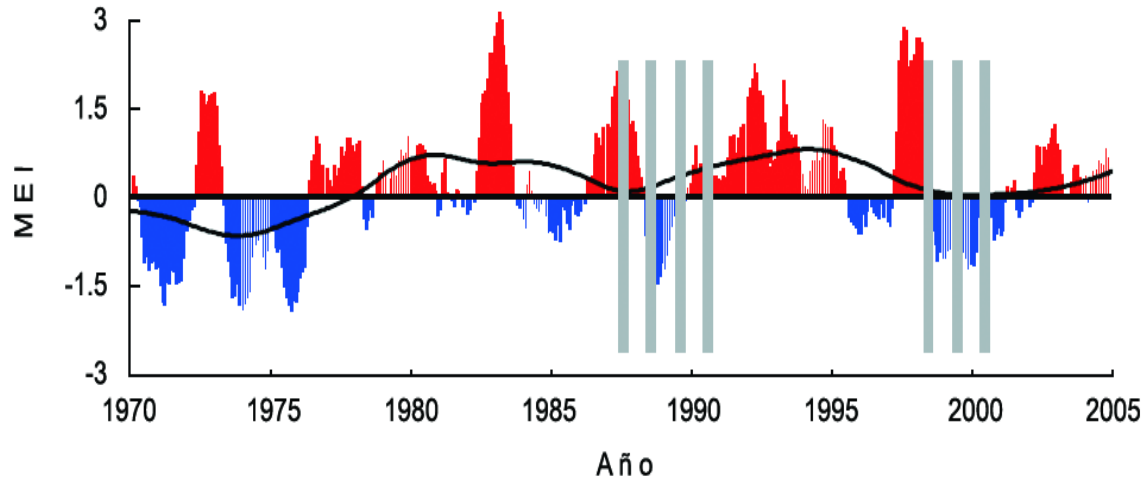


Figura 7. Serie de tiempo del Índice Multivariado de El Niño Oscilación del Sur (MEI) y la representación temporal de los periodos de muestreo de ictioplancton por barcos de la NOAA en el Pacífico Central Oriental.

Tabla 1. Clasificación por categorías ENSO de los años en los que se cuenta con información de larvas de dorado (*Coryphaena* spp) recolectadas de septiembre a noviembre en el Pacífico Central Oriental.

	Categorías ENSO		
	El Niño	"Normal"	La Niña
Año	1987	1988	1989
		1998	1990
		1999	2000

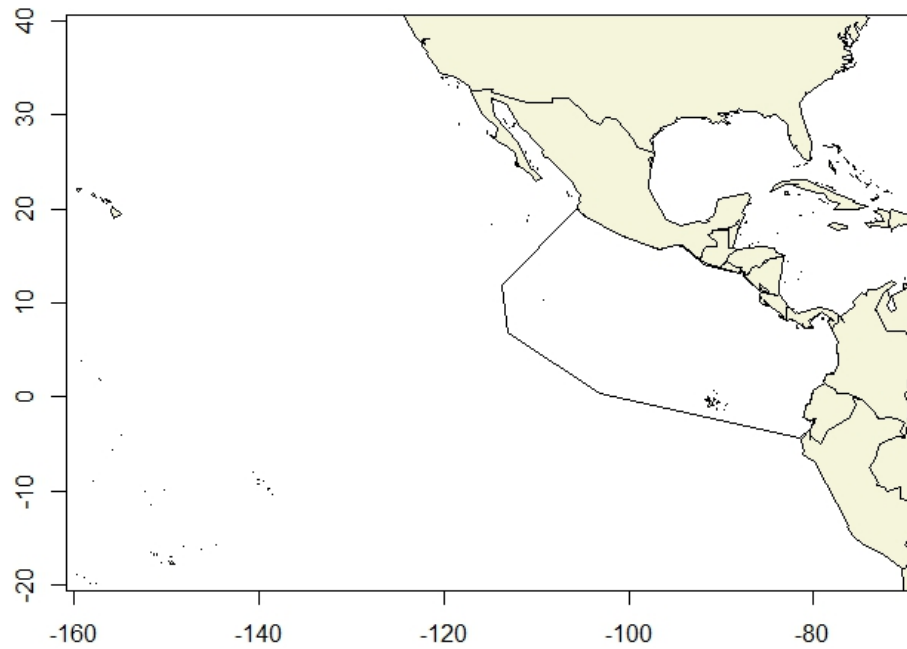


Figura 8. Polígono definido para el estudio de la variación interanual de la abundancia y distribución de larvas de *C. hippurus* en el periodo de septiembre a noviembre de cada año en el Pacífico Central Oriental.

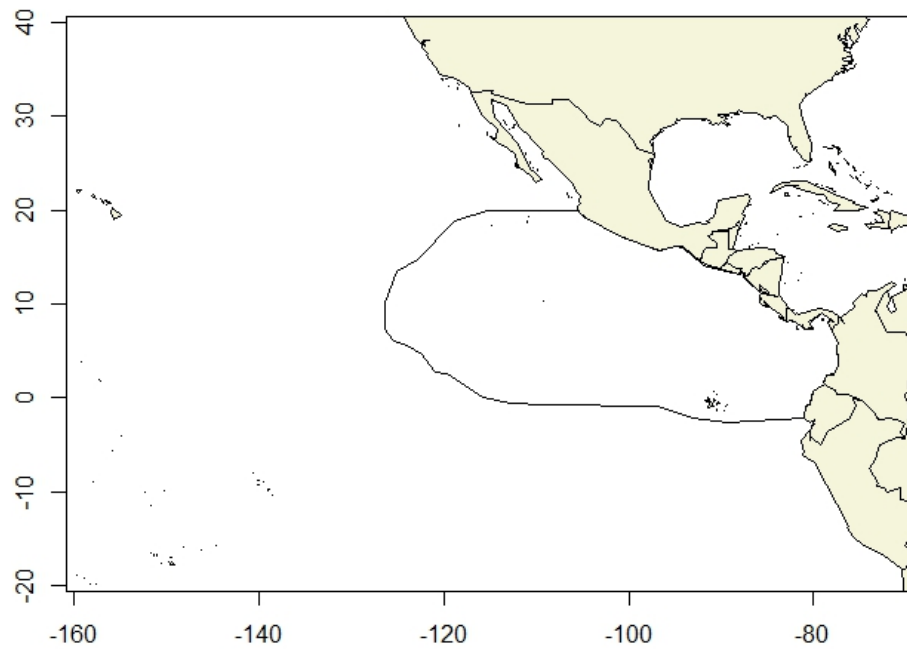


Figura 9. Polígono definido para el estudio de la variación interanual de la abundancia y distribución de larvas de *C. equiselis* en el periodo de septiembre a noviembre de cada año en el Pacífico Central Oriental.

VI.2 Información Oceanográfica

Como información ambiental se utilizó la Temperatura Superficial del Mar (TSM) promedio mensual, proveniente del sensor satelital AVHRR con una resolución de 4 km², por ser la única variable disponible en la misma escala espacial y temporal que los datos de abundancia de larvas de dorado.

De la información mensual de TSM disponible dentro de los polígonos, solo la información correspondiente a las estaciones muestreadas fue seleccionada para el desarrollo de este trabajo.

VI.3 Análisis espaciales y modelación

Para representar la distribución geográfica de las abundancias de larvas de las especies de dorado durante condiciones El Niño, La Niña y “Normales”, se construyeron mapas con isolíneas de los valores de la abundancia estandarizada que fueron generadas utilizando dos métodos: con la técnica de interpolación “Kriging”, y con los Modelos Aditivos Generalizados (MAGs).

a) Técnica de interpolación Kriging

Dentro del análisis geoestadístico es primordial la determinación de la estructura de autocorrelación entre los datos y su uso para la predicción a través de la técnica de Kriging (Rivoirard *et al.*, 2000). A través de los análisis variográficos se logra identificar de manera experimental (con base en datos muestrales) la estructura de autocorrelación espacial (Kulka *et al.*, 2003), una vez detectada, el siguiente paso es la predicción en sitios de la región de estudio donde no se realizaron las mediciones o donde no se obtuvieron datos de la variable de interés por medio de la técnica Kriging (Armstrong *et al.*, 1992; Rivoirard *et al.*, 2000). El Kriging es un proceso que calcula un promedio ponderado de las observaciones muestrales. Los pesos asignados a los valores muestrales son apropiadamente determinados por la estructura espacial de correlación establecida en la primera etapa (análisis variográfico) y por la configuración de muestreo (Petitgas, 2001).

El Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie (Petitgas, 2001). Ésta herramienta ajusta una función matemática o modelo a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio o distancia específica para determinar el valor de salida para cada ubicación, lo que permite estimar o predecir valores desconocidos inicialmente (Naoum y Tsanis, 2004). Esta técnica es altamente recomendable cuando se sabe que existe una influencia direccional en los datos (Naoum y Tsanis, 2004).

De forma general todos los variogramas tienen tres parámetros: el “efecto pepita” o “nugget”, la “meseta” o “sill” y el “rango” o “range”, los que continuación se describen:

Efecto Pepita

Se denota como C_0 y representa una discontinuidad puntual del variograma en el origen o simplemente es definida como la parte de la semivarianza no explicada dentro del variograma. Esto se puede deber a errores de medición en la variable o a la escala de la misma. En algunas ocasiones puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas (Cressie, 1993).

Meseta

Es la parte superior del variograma. También puede definirse como el límite del variograma cuando la distancia h tiende a infinito. La meseta se denota por C_1 o por $(C_0 + C_1)$ cuando la pepita es diferente de cero. Si se interpreta la pepita como un error en las mediciones, esto explica porque se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, la pepita no debe representar más del 50% de la meseta (Cressie, 1993).

Rango

En términos prácticos corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes o dicho de otra forma indica hasta donde podría haber correlación espacial de los datos. El rango se interpreta como la zona de influencia. Entre más pequeño sea el rango, más cerca se está del modelo de independencia espacial (Cressie, 1993; Carratala *et al.*, 1997).

Para disminuir la varianza en los análisis variográficos, los valores de la abundancia estandarizada fueron analizados utilizando la transformación $\log(x+1)$ donde x representa el número de larvas estandarizadas por volumen de agua filtrada de la especie seleccionada. La suma de 1 al número estandarizado de larvas permite la transformación logarítmica cuando dicho número es cero.

Para cada especie en un año arquetipo (incluyendo información de septiembre-noviembre de los 7 años), y en años tipo con características de El Niño, La Niña y “Normal”, fueron realizados análisis variográficos (incluyendo el variograma experimental y el variograma teórico ajustado a ojo). En todos los casos el modelo teórico ajustado fue del tipo esférico, que pertenece al grupo de los modelos acotados, los que garantizan que la varianza de los incrementos sea finita (Warrick *et al.*, 1986), una ventaja por la cual son ampliamente usados. La expresión matemática del modelo esférico es la siguiente:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases}$$

En donde C_1 representa la meseta, a el rango y h la distancia.

Con base a los parámetros obtenidos para cada especie-año, los mapas de isolíneas de abundancia larval fueron contruidos utilizando la técnica de interpolación Kriging.

b) Modelos Aditivos Generalizados

Los MAGs fueron propuestos a finales de la década de los 1980s por Hastie y Tibshirani (1986) y surgieron como una generalización de las regresiones múltiples; es decir, son una alternativa no paramétrica de los Modelos Lineales Generalizados (MLGs). El uso de estos modelos se justifica sobre la base de reportes previos en los que las variables biológicas no siempre guardan relaciones directas y/o lineales con el ambiente (Guisan *et al.*, 2002).

La forma general de un MAG es:

$$g(\mu_i) = \mu + \sum_{j=1}^p f_j(X_i),$$

dónde g es la función monotónica de enlace μ_i es valor ajustado, x_i son las variables predictivas, y f_j es una función de suavizado (Hastie & Tibshirani, 1986).

Como fue indicado en la Introducción de este trabajo, inicialmente se evalúan comparativamente el Kriging y los MAGs como técnicas para representar la distribución espacial, con el propósito de conocer si las técnicas tienen un efecto en los resultados y por ende pudiera afectar la interpretación de los patrones de distribución. Posteriormente, se construyen los MAGs en los que se introduce el efecto de la TSM en la variabilidad espacial y en la AEL de las especies de dorado.

En la primera parte, para construir los mapas de distribución de las especies de dorado utilizando los Modelos Aditivos Generalizados (MAGs), la información básica utilizada fue la abundancia estandarizadas de larvas por especie y las coordenadas geográficas de las estaciones de recolecta. Dos tipos de mapas son generados en la construcción de estos modelos. Uno donde las funciones suavizadoras de los MAGs se presentan en la escala del predictor lineal, y no en la escala de respuesta (i.e. no en términos de la abundancia

estandarizada de larvas). El segundo mapa corresponde a las predicciones de la abundancia estandarizada de larvas de dorado estimadas con el modelo obtenido en función de la interacción de las variables espaciales en la zona de estudio.

En la segunda parte, para analizar el efecto de la TSM en la distribución de las larvas de dorado en el PCO, la abundancia estandarizada de larvas fue utilizada como variable de respuesta, en tanto que la TSM y la latitud-longitud como variables predictivas. A partir de los modelos MAGs construidos solo se generaron los mapas en función del predictor lineal. Es decir, en la segunda parte de este trabajo no se construyeron los mapas con las predicciones correspondientes debido a la falta de los registros de TSM completos para las zonas o polígonos de estudio en los siete años analizados.

VII. Resultados

VII.1. Captura total de larvas de dorado

Un total de 1097 larvas de la familia Coryphaenidae fueron recolectadas en 387 estaciones durante los dos periodos de muestreo, 1987-1990 y 1998-2000. De ellas 798 larvas pertenecieron a *C. equiselis* y 298 a *C. hippurus*, El número de larvas totales capturadas por especie en cada año se presentan en la tabla 2, denotándose una captura mayor de ambas especies en el segundo periodo.

Tabla 2. Captura total de larvas de dorado (*Coryphaena* spp.) durante el segundo semestre y durante el periodo septiembre-noviembre de los siete años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000) en el Pacífico Central Oriental.

Año	Numero de larvas capturadas de			
	<i>C. hippurus</i>		<i>C. equiselis</i>	
	Semestre	sept.-nov.	Semestre	sept.-nov.
1987	14	10	118	92
1988	2	2	141	113
1989	29	28	57	32
1990	9	7	106	45
1998	51	21	178	145
1999	68	59	141	119
2000	125	117	57	23
Total	298	244	798	569

Durante el periodo de estudio seleccionado (septiembre-noviembre) fue capturado un número mayor de larvas de *C. equiselis* en comparación con su congénere (Tabla 2, Figs. 5 y 6).

VII.2. TSM en las estaciones con larvas de dorado en el PCO

La temperatura superficial del mar promedio para las estaciones con registros de larvas de *C. hippurus* mostró diferencias entre los promedios de los años analizados ($F = 14.556$, $p < 0.05$). No obstante, la distribución de las frecuencias de la TSM en cada uno de los siete años fue en aguas con temperatura mayor a los 24°C (Fig. 10). En la figura 11 se presenta la distribución de frecuencias de TSM correspondientes a todas las estaciones positivas con larvas de *C. hippurus* en los 7 años de estudio, donde se observa una moda entre los 27 y 28 °C y muestra que solo en dos casos se colectaron larvas en aguas con temperaturas inferiores a los 24 °C.

La temperatura superficial del mar promedio para las estaciones con registros de larvas de *C. equiselis* en los años analizados (Fig. 12) también mostró diferencias entre los promedios ($F = 54.606$, $p < 0.05$). En los siete años la mayoría de las estaciones con registros de larvas de *C. equiselis* presentaron TSM mayores a los 24 °C. En la figura 13 se presenta la distribución de frecuencias de TSM correspondientes a todas las estaciones con larvas de *C. equiselis* en los 7 años de estudio, la que presenta una moda entre los 27 y 28 °C, similar que en el caso de su congénere.

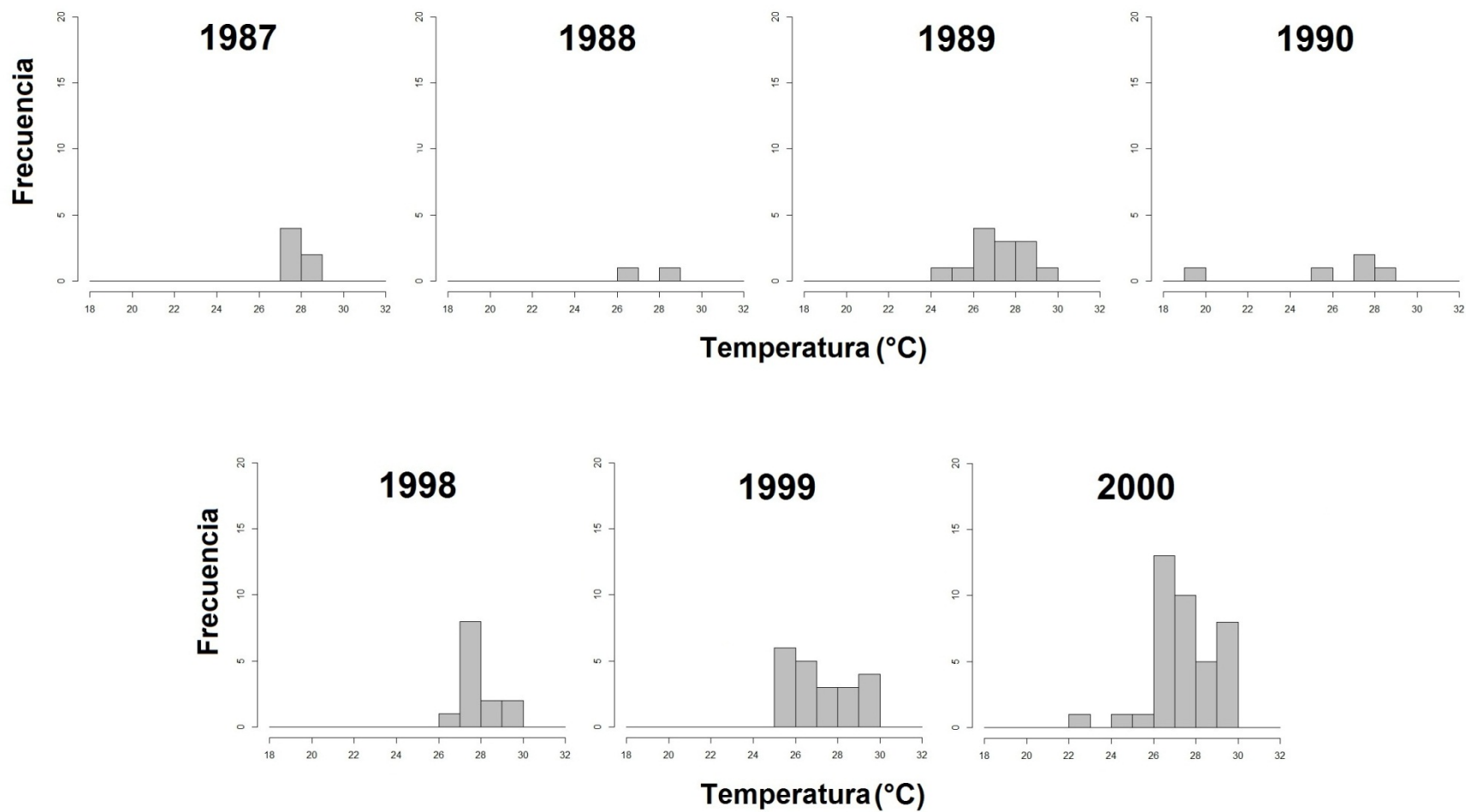


Figura 10. Histogramas de temperatura superficial del mar registradas en el Pacífico Central Oriental en estaciones con larvas de *C. hippurus* para los años de los periodos 1987-1990 y 1998-2000.

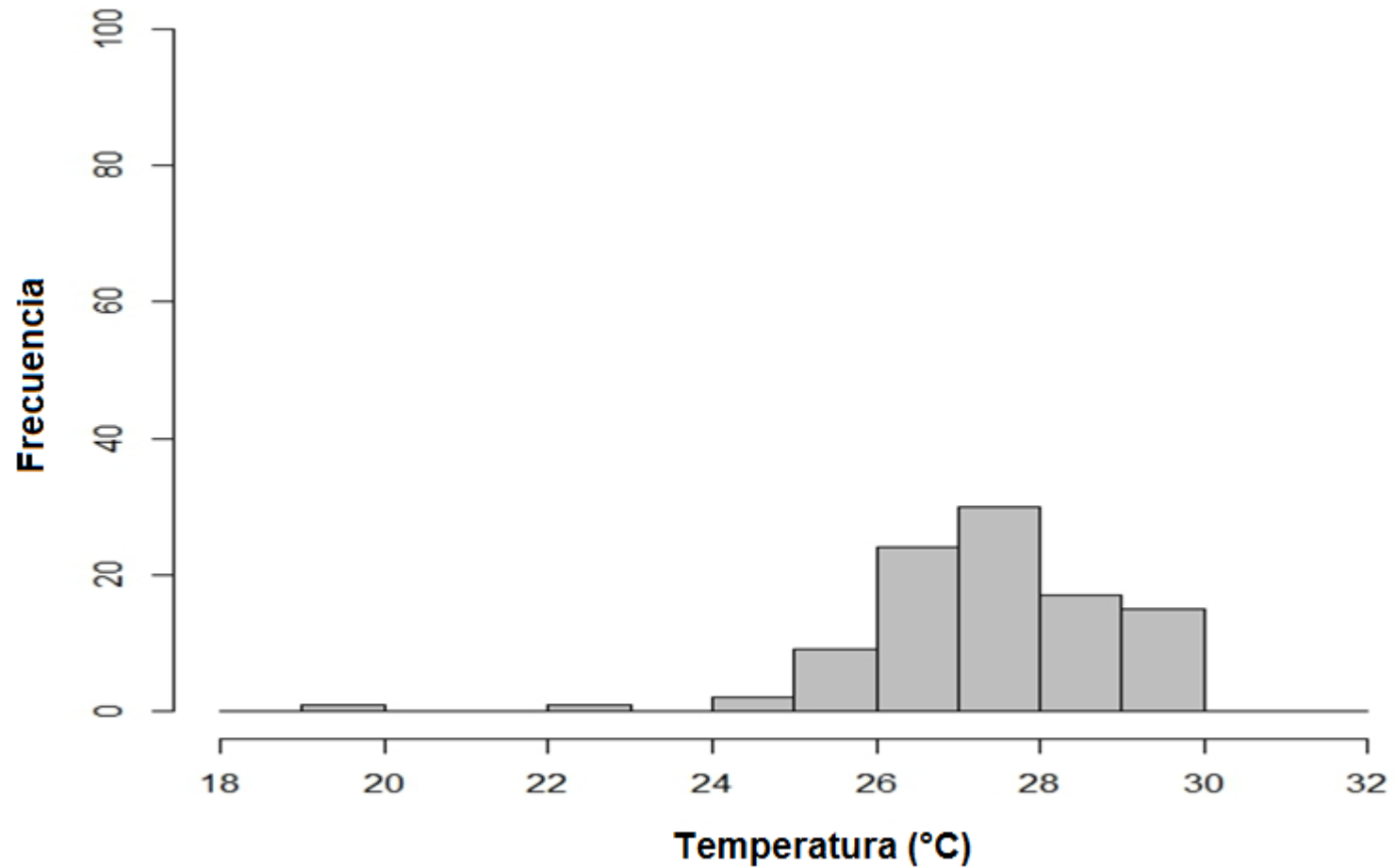


Figura 11. Histograma de temperatura superficial del mar en todas las estaciones con larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental durante los 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000).

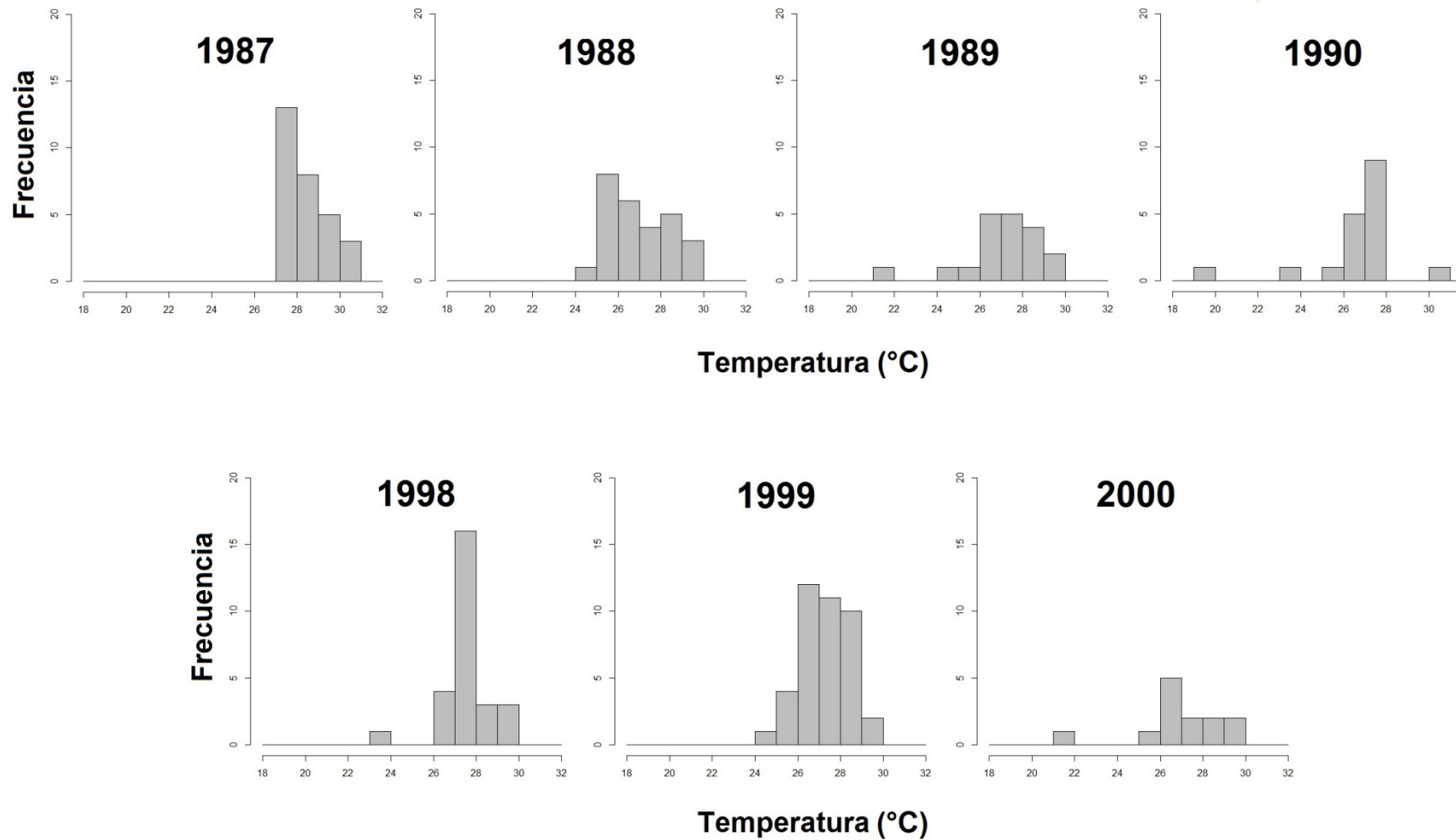


Figura 12. Histogramas de temperatura superficial del mar registradas en el Pacífico Central Oriental en estaciones con larvas de *C. equiselis* para los años de los periodos 1987-1990 y 1998-2000.

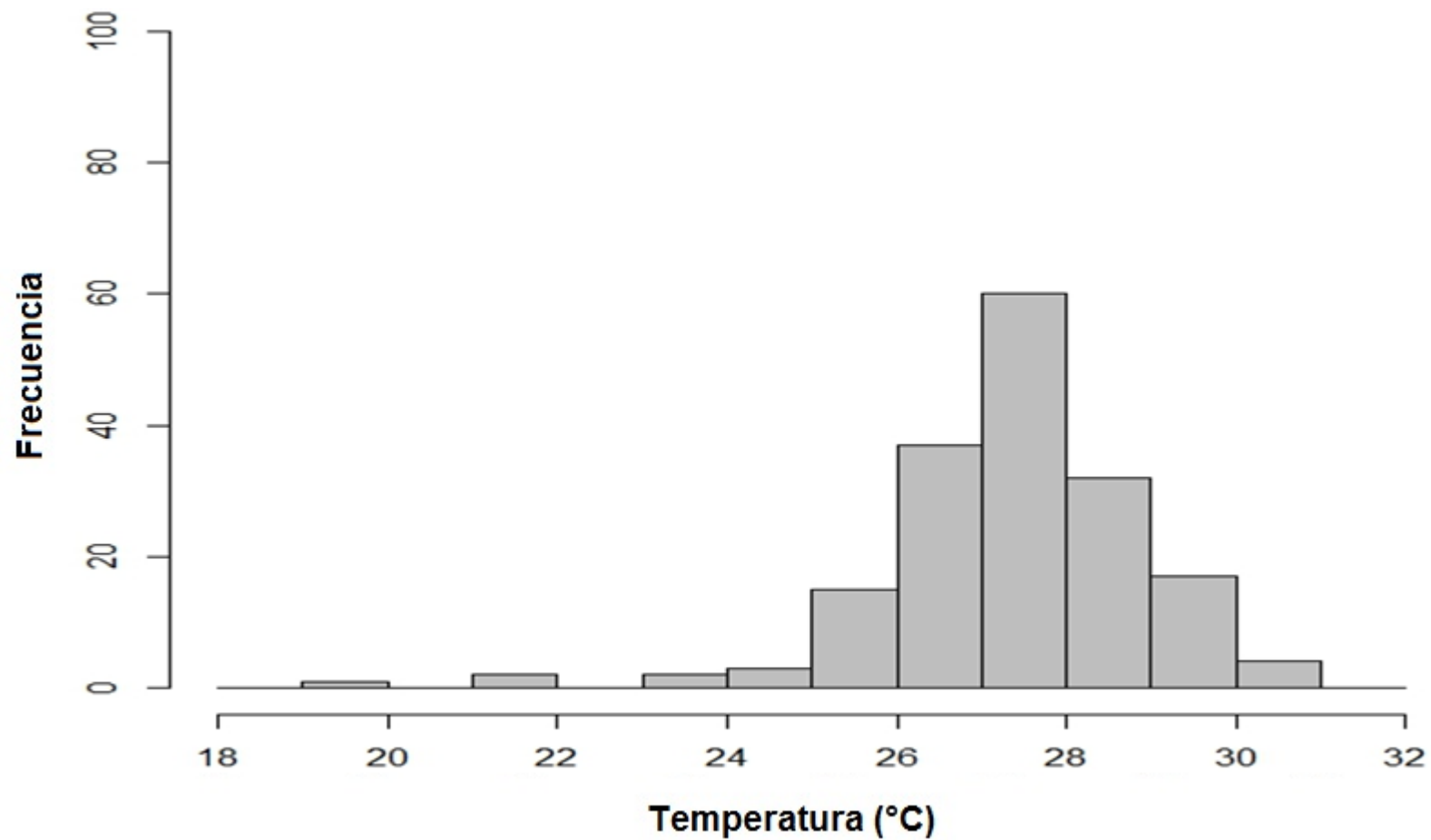


Figura 13. Histograma de temperatura superficial del mar en todas las estaciones con larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental durante los 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000).

VII.3. Mapas de distribución y abundancia de larvas de dorado en el PCO.

Comparación entre Kriging y MAGs.

Para cada especie en un año arquetipo (incluyendo información de septiembre-noviembre de los 7 años) y para cada uno de los años en que se realiza el análisis interanual (años tipo El Niño, la Niña y “Normal”) se realizó un análisis geoestadístico representado por un variograma, los que se reportan en Anexos y por el mapa de isolíneas de la abundancia estandarizada generado a través de la técnica de interpolación Kriging. Este mapa se presenta en esta sección comparativamente con dos mapas obtenidos mediante la modelación con los MAGs. De estos últimos, uno en términos del predictor lineal y otro en términos de los valores predichos por cada modelo.

VII.3.1. *Coryphaena hippurus*

Año arquetipo

El análisis variográfico (incluyendo el variograma experimental y el variograma teórico ajustado a “ojo” o por “observación directa”) correspondiente al año arquetipo se presentan en el anexo 2 (Fig. 24A). Los coeficientes obtenidos fueron utilizados en la técnica de interpolación Kriging para generar las isolíneas y representar la distribución y abundancia de larvas de *C. hippurus* en mapas.

El mapa de distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* para el año arquetipo, construido con la técnica de interpolación Kriging se muestra en la figura 14A, donde pueden identificarse dos centros de concentración larval, el más grande en aguas costeras frente a las costas del suroeste de México, Guatemala y El Salvador. La segunda concentración de larvas se presentó en aguas relativamente costeras entre Colombia y Panamá. Por último, se detecta una región oceánica, entre los 112° y 108° O, y 6° y 11° N, con abundancia estandarizada de aproximadamente de 1 larva por cada 100 m³ de agua filtrada.

En el mapa con valores del predictor lineal (Fig. 14B) generado a través del uso de los MAGs, se observa la misma tendencia en la distribución de la

abundancia de larvas de *C. hippurus*, aunque no es posible detectar con la misma claridad los principales centros de abundancia.

El mapa con los valores predichos de abundancia larval generado con el MAG (Fig. 14C) presenta un patrón de distribución consistente con el observado en la figura 14A, sin embargo en este caso los valores predichos de la abundancia larval estandarizada son mayores que en el primer caso, de tal manera que las mismas regiones estarían representando un mayor número de larvas.

Años tipo El Niño, “Normal” y La Niña

Los análisis variográficos (incluyendo el variograma experimental y el variograma teórico ajustado a ojo) para generar los mapas de distribución y abundancia de larvas de *C. hippurus*, usando la técnica de interpolación Kriging para los años tipo El Niño, “Normal” y La Niña son representados en el anexo 3 (Fig. 25A, B y C, respectivamente).

El mapa de distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en condiciones El Niño, construido con la técnica Kriging se muestra en la figura 15A, donde pueden identificarse dos centros de concentración larval, uno de ellos en aguas oceánicas al suroeste de México y el segundo en aguas relativamente costeras entre Colombia y Panamá.

En el mapa con los valores del predictor lineal generado a través del MAG (Fig. 15B), no se observan claramente los centros de concentración larval, aunque se puede observar una distribución similar a la de la figura 15A. En el mapa con los valores predichos de abundancia larval por el MAG (Fig. 15C) no se logra identificar ningún centro de concentración de larvas.

El mapa de distribución de larvas de esta especie en condiciones “Normales” usando la técnica Kriging se muestra en la figura 15D, mostrando centros de abundancia larval en aguas costeras de Colombia, Panamá y Costa

Rica, y también una zona de concentración menos importante en aguas oceánicas aproximadamente a los 110° O, entre los 5° y 10° N. Los mapas del predictor lineal generado con el MAG (Fig. 15E), así como el de los valores predichos por el modelo (Fig. 15F) representan una distribución de la abundancia de larvas similar al de la figura 15D. Sin embargo, las abundancias representadas en el mapa predicho por el modelo MAG son aproximadamente el doble que las representadas con el Kriging.

La distribución de los centros de abundancia larval de *C. hippurus* en condiciones La Niña es representada en el mapa generado a través de la técnica Kriging (Fig. 15G). El mapa muestra dos centros de concentración larval: uno en aguas costeras al suroeste de México, y el otro en aguas costeras de Panamá. En este caso los mapas obtenidos con el predictor lineal del MAG (Fig. 15H) y con los valores predichos por el modelo (Fig. 15I) representan una distribución de la abundancia de larvas similar al obtenido a través del Kriging; sin embargo, en el mapa 15H no es posible discriminar claramente los centros de mayor abundancia.

Cabe resaltar que aunque en la mayoría de los casos los patrones de distribución descritos por el Kriging y por los MAGs son similares, los valores predichos por los MAGs en todos los casos son mayores que los observados en los mapas que emplean el Kriging.

Para observar los detalles de cada panel de la figura 15, en el anexo 4 se presentan de un tamaño más amplio los mapas de distribución y abundancia de larvas de *C. hippurus* en condiciones El Niño, empleando: interpolación Kriging, los valores del predictor lineal y los valores predichos por el MAG (Fig. 26 A, B y C, respectivamente). De manera similar en el anexo 5 se presentan los mapas para el año con condiciones “Normales” (Fig. 27A, B, y C, respectivamente), y el anexo 6 para condiciones La Niña (Fig. 28A, B, y C, respectivamente).

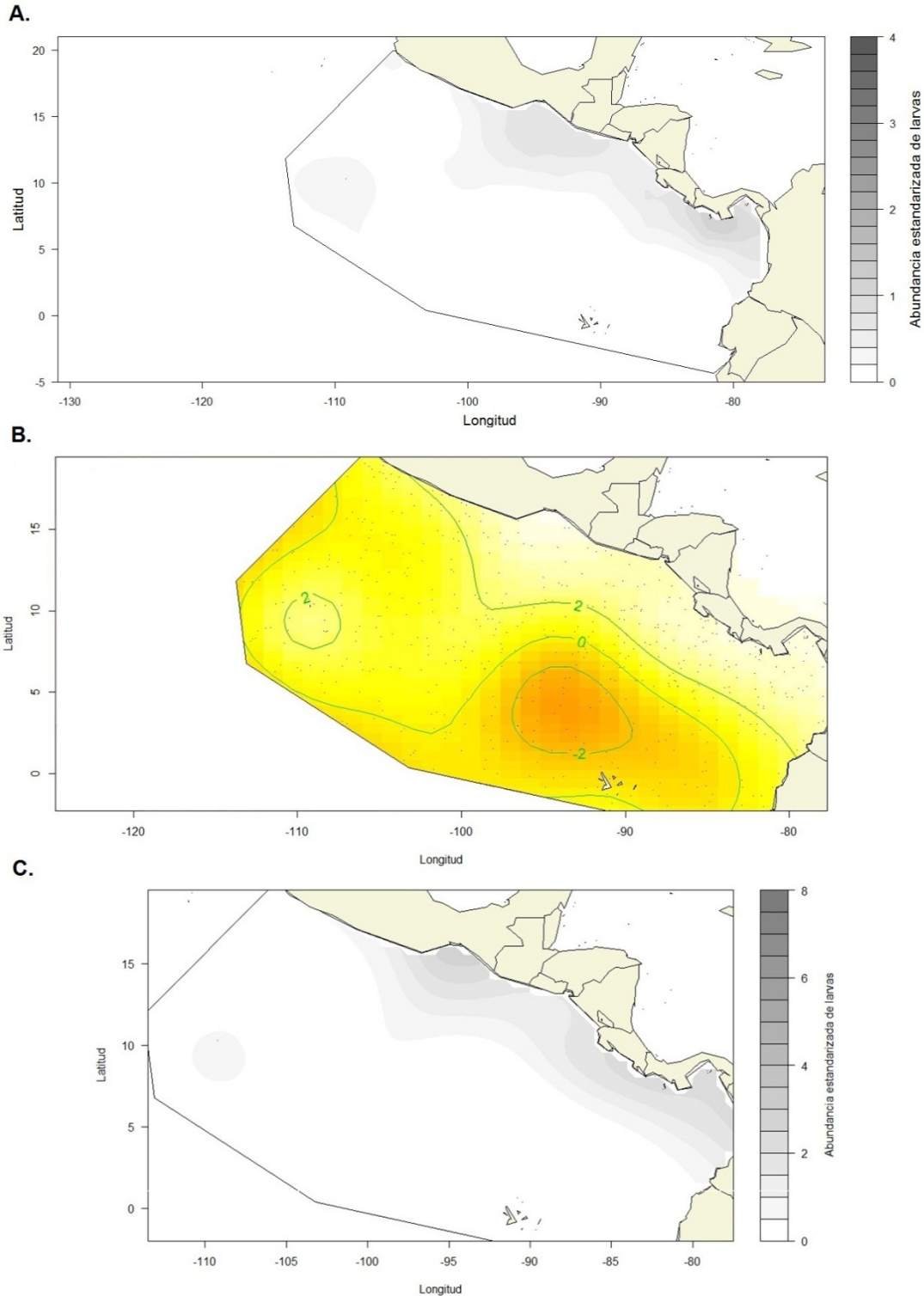


Figura 14. Distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental para un año arquetipo representativo del periodo septiembre-noviembre de 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000), empleando: A) interpolación Kriging; B) predictor lineal del MAG; C) valores predichos por el MAG en función de variables espaciales.

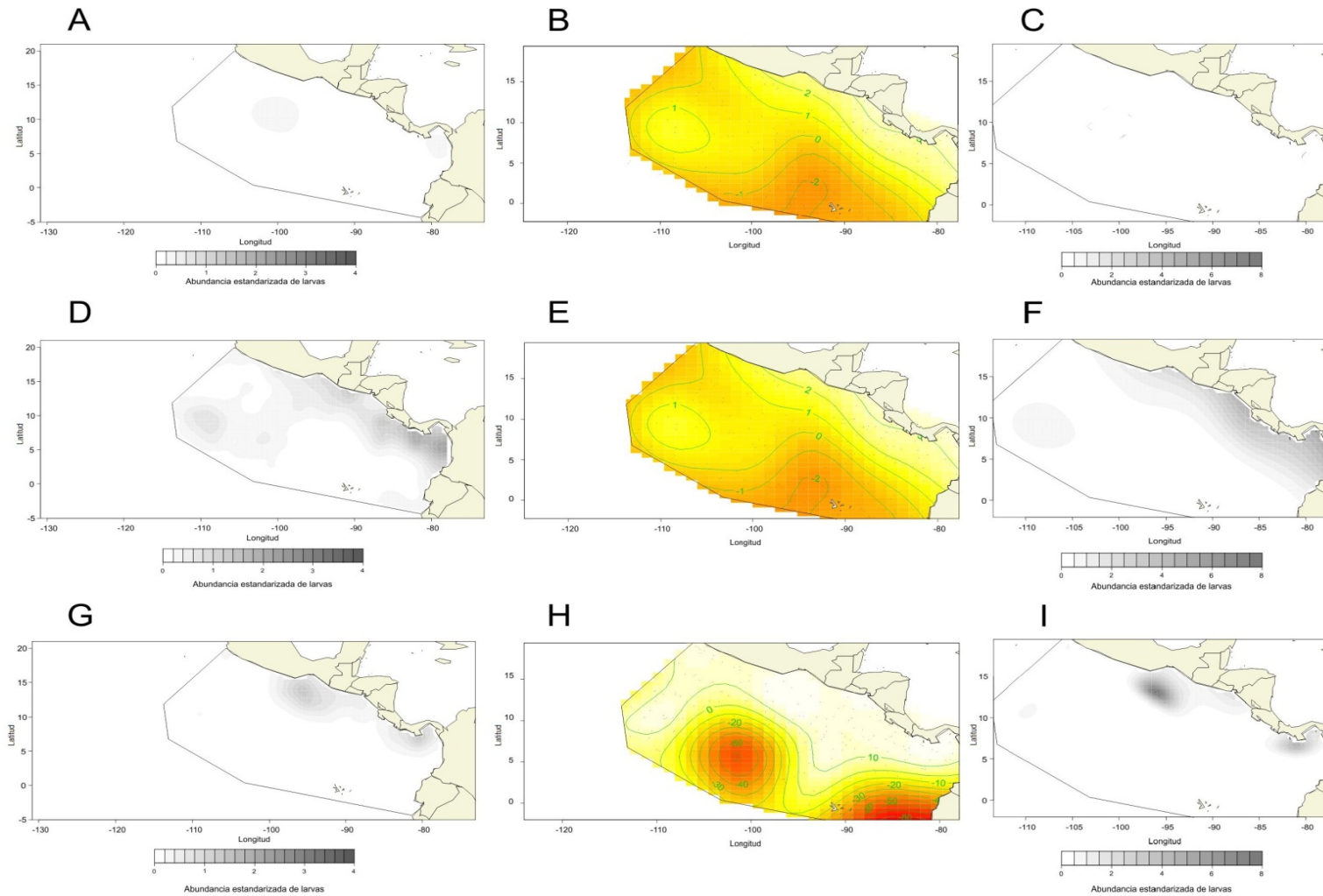


Figura 15. Distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental, empleando de izquierda a derecha: interpolación Kriging; valores del predictor lineal del MAG y valores predichos por el MAG en función de variables espaciales, respectivamente durante condiciones de El Niño (A, B, C); “Normales” (D, E, F) y La Niña (G, H, I).

VII.3.2. *Coryphaena equiselis*

Año arquetipo

El análisis variográfico (incluyendo el variograma experimental y el variograma teórico ajustado a ojo) correspondiente a un año arquetipo se presentan en el anexo 2 (Fig. 24B). Los coeficientes obtenidos fueron utilizados en la técnica de interpolación Kriging para generar las isolíneas y representar la distribución y abundancia de larvas de *C. equiselis* en un mapa.

El mapa de distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* para el año arquetipo, construido con la técnica de interpolación Kriging se muestra en la figura 16A, donde pueden identificarse tres centros de concentración larval, el primero de ellos ampliamente distribuido en aguas oceánicas al suroeste de México, el segundo es con una distribución en forma de lengüeta paralela a las costas de Nicaragua, Costa Rica y el noroeste de Panamá, atravesando el domo de Costa Rica, y otro de menor concentración en aguas costeras y oceánicas frente a las costas del Pacífico colombiano.

El mapa con valores del predictor lineal generado a través del uso de los MAGs (Fig. 16B), muestra en lo general el mismo patrón anteriormente descrito de distribución de las abundancias de larvas de *C. equiselis*, pero además se definen claramente la ubicación de los centros de concentración larval.

El mapa con los valores predichos de abundancia larval generado con el MAG (Fig. 16C) presenta un patrón de distribución consistente con los observados en las figuras 16 A y B, sin embargo no se aprecia conectividad entre los centros de abundancia larval como en los mapas anteriores, y predice un número de larvas sobreestimado.

Años tipo El Niño, “Normal”, y La Niña

Los análisis variográficos (incluyendo el variograma experimental y el variograma teórico ajustado a ojo) para generar los mapas de distribución y

abundancia de larvas de *C. equiselis*, usando la técnica de interpolación Kriging en años con condiciones tipo El Niño, “Normales” y La Niña son representados en el anexo 7 (Fig. 29A, B y C, respectivamente).

El mapa de distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en condiciones El Niño, construido con la técnica Kriging se muestra en la figura 17A, donde pueden identificarse dos centros de concentración larval, uno de ellos es amplió y extendido en aguas oceánicas al suroeste de México entre 117° y 102° O, y entre 5° y 17° N. El segundo en aguas adyacentes al domo de Costa Rica. Este patrón de distribución es muy similar al que se muestra en el mapa construido a partir del predictor lineal del MAG (Fig. 17B) y en el mapa con los valores predichos por el modelo (Fig. 17C).

El mapa de distribución de larvas de esta especie en condiciones “Normales” generado con la técnica Kriging se muestra en la figura 17D. En este caso se observan cuatro zonas de concentración de larvas, la más importante es una región amplia al oeste de México en aguas oceánicas aproximadamente en las coordenadas 112° O, y 18° N, la segunda zona extendida desde aguas costeras del suroeste de México hacia el sur a aguas oceánicas; el tercer centro se encontró sobre el domo de Costa Rica, y el de menor concentración se ubicó en aguas costeras de Colombia.

El mapa construido con el MAG en términos del predictor lineal (Fig. 17E) es consistente con el generado a través del Kriging (Fig. 17D), localizando los mismos centros de abundancia larval, sin embargo el mapa construido con los valores predichos por el modelo (Fig. 17F) sólo logra identificar a 3 de los 4 centros de abundancia observados en los mapas anteriores, no presentándose en este último mapa la zona extendida desde aguas costeras del suroeste de México hacia el sur a aguas oceánicas.

La distribución de los centros de abundancia larval de *C. equiselis* en condiciones La Niña en un mapa generado a través de la técnica Kriging se presenta en la figura 17G. El mapa muestra cuatro centros de concentración larval. El más importante de ellos en aguas oceánicas al oeste de México; otro en una región extendida entre los 95° y 100° O, y los 5° y 15° N, uno más ubicado en una zona adyacente al domo de Costa Rica, y otro en aguas oceánicas entre Colombia y Panamá. En el mapa generado por el MAG con valores del predictor lineal (Fig. 17H) se observa un patrón descrito anteriormente, sin embargo este último presenta diferencias en cuanto a la definición de los centros de abundancia y la conectividad entre ellos, situación similar que se observa en el mapa con los valores de abundancia larval de *C. equiselis* predichos por el MAG (Fig. 17I).

Similar que en el caso de *C. hippurus*, la mayoría de los patrones de distribución descritos por el Kriging y por los MAGs son similares, sin embargo, en todos los casos los valores predichos por los MAGs son mayores que los observados en los mapas que emplean el Kriging.

Para observar los detalles de cada panel de la figura 17, en el anexo 8 se presentan de un tamaño más amplio los mapas de distribución y abundancia de larvas de *C. equiselis* en condiciones El Niño, empleando: interpolación Kriging, los valores del predictor lineal y los valores predichos por el MAG (Fig. 30A, B y C, respectivamente). De manera similar, en el anexo 9 se presentan los mapas para el año con condiciones “Normales” (Fig. 31A, B y C, respectivamente), y el anexo 10 para condiciones La Niña (Fig. 32A, B y C, respectivamente).

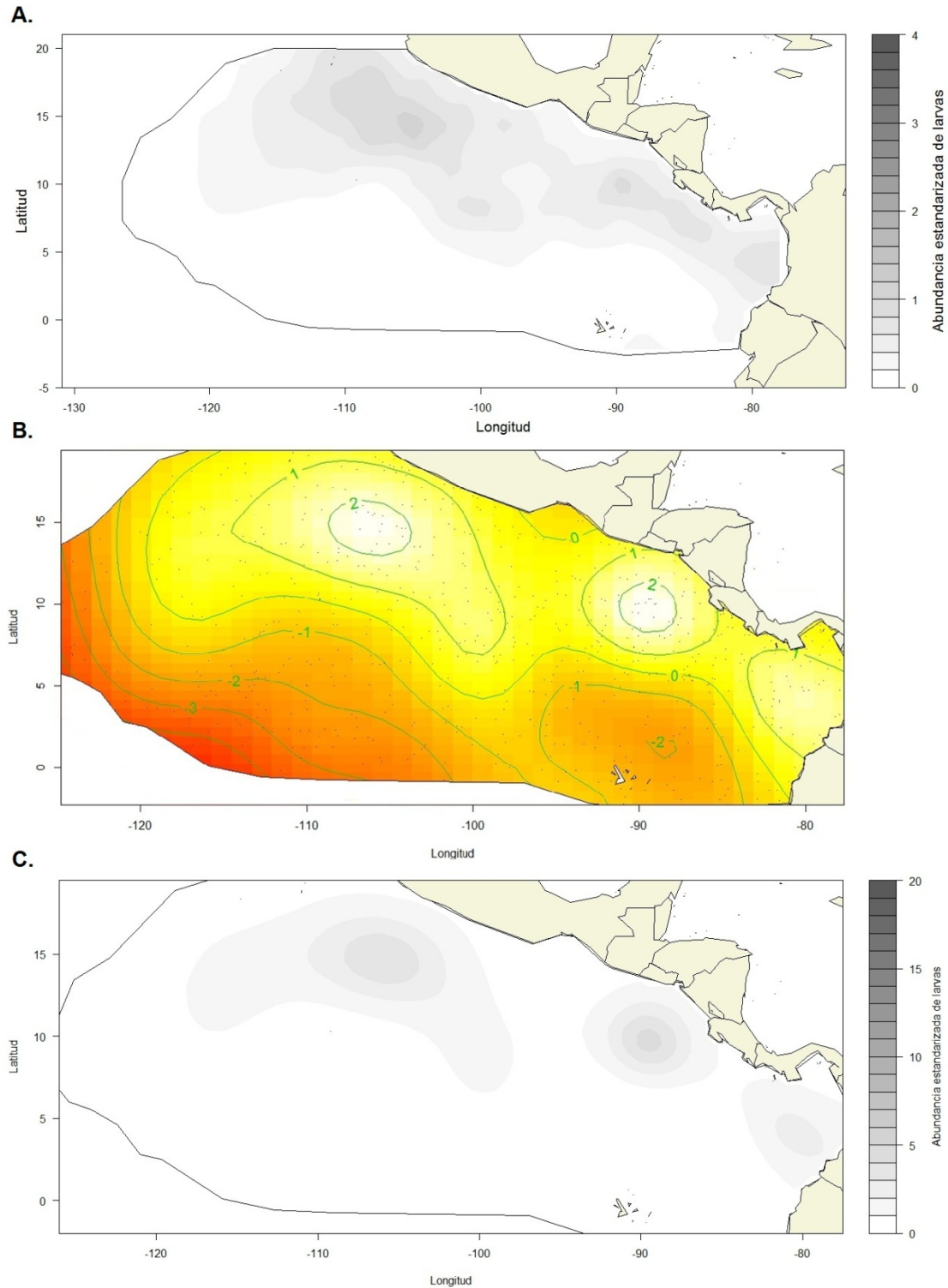


Figura 16. Distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental para un año arquetipo que incluye información de septiembre-noviembre de 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000), empleando: A) interpolación Kriging; B) predictor lineal del MAG; C) valores predichos por el MAG en función de variables espaciales.

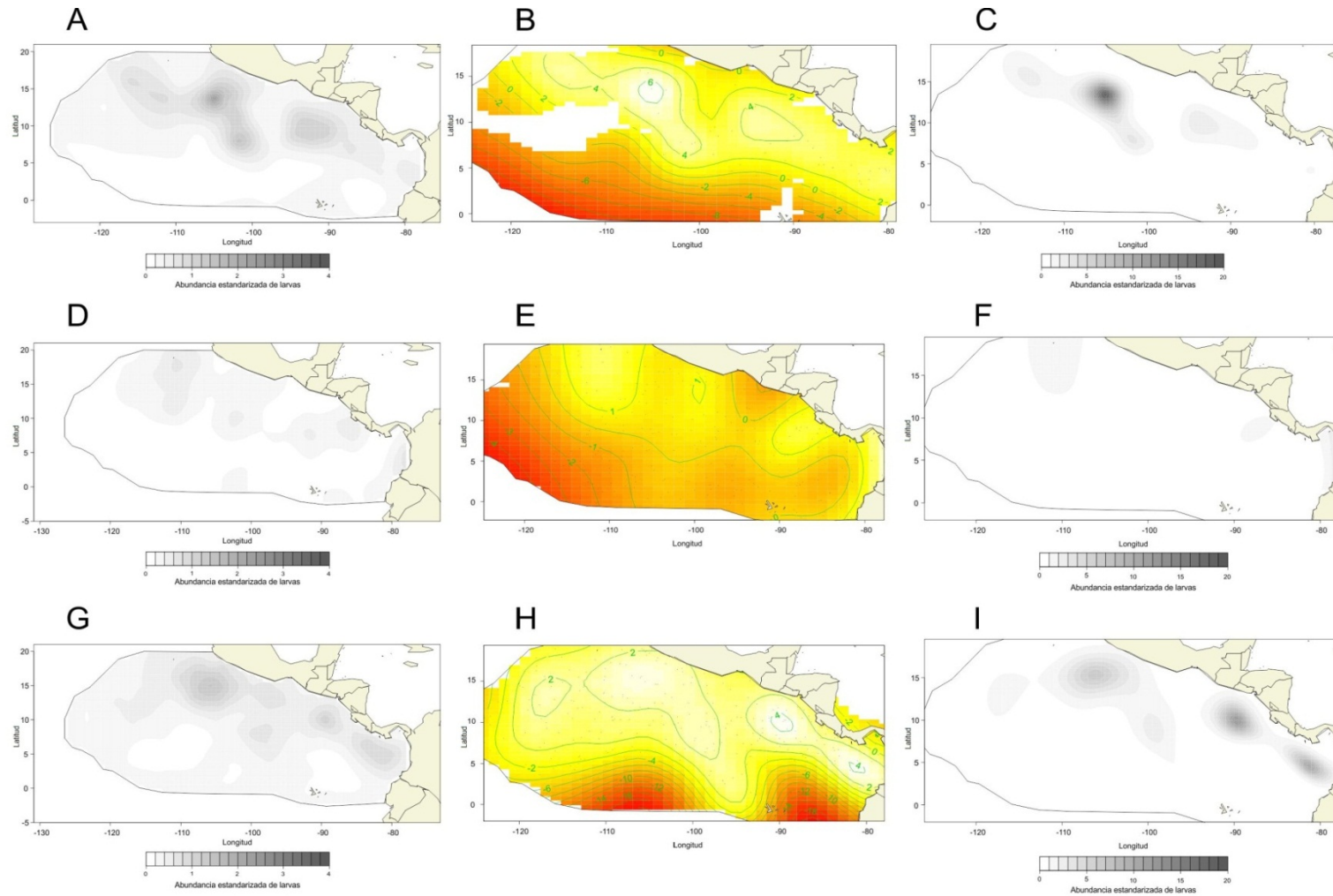


Figura 17. Distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental, empleando de izquierda a derecha: interpolación Kriging; predictor lineal del MAG y valores predichos por el MAG en función de variables espaciales, respectivamente durante condiciones de El Niño (A, B, C); “Normales” (D, E, F) y La Niña (G, H, I).

VII.4. Mapas de distribución y abundancia de larvas de dorado en el PCO.

Efecto de la temperatura superficial del mar

VII.4.1. *Coryphaena hippurus*

Derivado del MAG construido para estimar la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el PCO en un año tipo El Niño, en el que fueron utilizadas como variables predictivas el efecto interactivo de la longitud y la latitud más el efecto de la TSM, fueron estimados valores del predictor lineal de la abundancia, cuyo comportamiento espacial se muestra en la figura 18A. Este mapa muestra que las mayores abundancias larvales se esperarían en aguas oceánicas tropicales entre los 105° y 95° O, así como en aguas costeras de Colombia. El efecto de la temperatura en la abundancia larval muestra una tendencia positiva (Fig. 18B), con registros de larvas aproximadamente entre 24 y 30 °C, pero con el mayor número de observaciones aproximadamente entre 26 y 29 °C.

En la figura 19A se muestra el comportamiento del predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el PCO en un año tipo “Normal”, derivado del MAG en el que fueron utilizadas como variables predictivas el efecto interactivo de la longitud y la latitud más el efecto de la TSM. En este caso se logra identificar una homogeneidad dentro del polígono de estudio y solo una zona que podría presentar una abundancia de larvas mayor en aguas costeras de Colombia. El efecto de la temperatura en la abundancia larval (Fig. 19B) muestra una tendencia positiva entre los 25 y 29 °C aproximadamente, intervalo de temperaturas en el que se dispuso del mayor número de registros de larvas de esta especie. En valores menores y mayores de ese intervalo de temperaturas, la tendencia del predictor es negativa.

La figura 20A representa el comportamiento del predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el PCO en un año tipo La Niña, derivado del MAG en el que fueron utilizadas como variables predictivas el efecto interactivo de la longitud y la latitud más el efecto de la TSM. En esta figura es posible

identificar una amplia zona que podría registrar altos valores de abundancia larval en aguas oceánicas y principalmente costeras del suroeste de México, Centroamérica y el noroeste de Colombia. Por otra parte se logran identificar 2 regiones donde no se encontrarían estas larvas en condiciones “Niña”: una de ellas frente a costas ecuatorianas y la otra en aguas oceánicas entre los 110° y 95° O, y entre los 0° y 10° N. El efecto de la temperatura en la abundancia larval muestra una tendencia levemente positiva (Fig. 20B), con registros de larvas aproximadamente entre 20 y 30 °C, con el mayor número de ellas aproximadamente entre 25 y 29 °C.

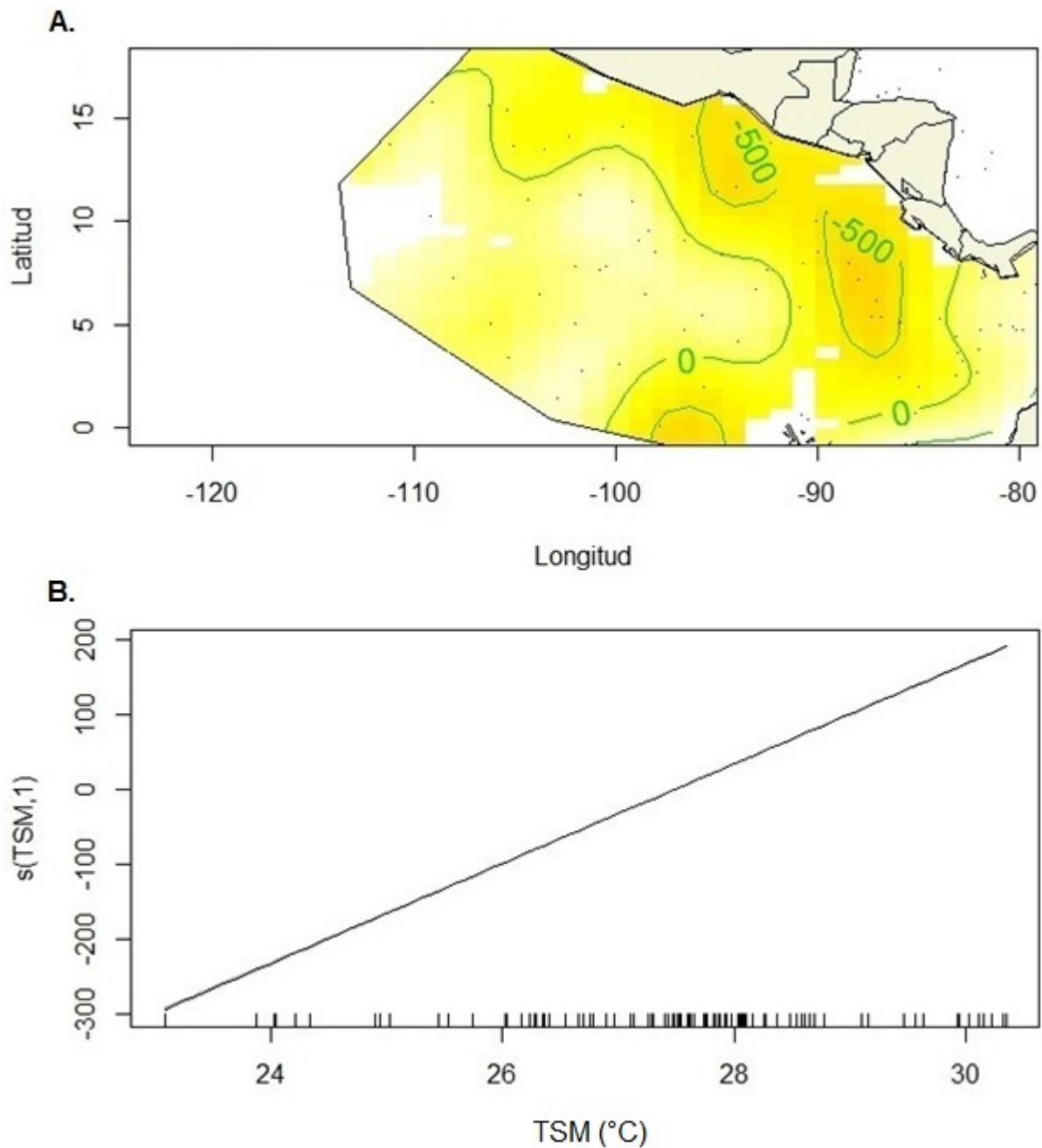


Figura 18. Predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones El Niño derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. A) Mapa de isolíneas del predictor lineal, B) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.

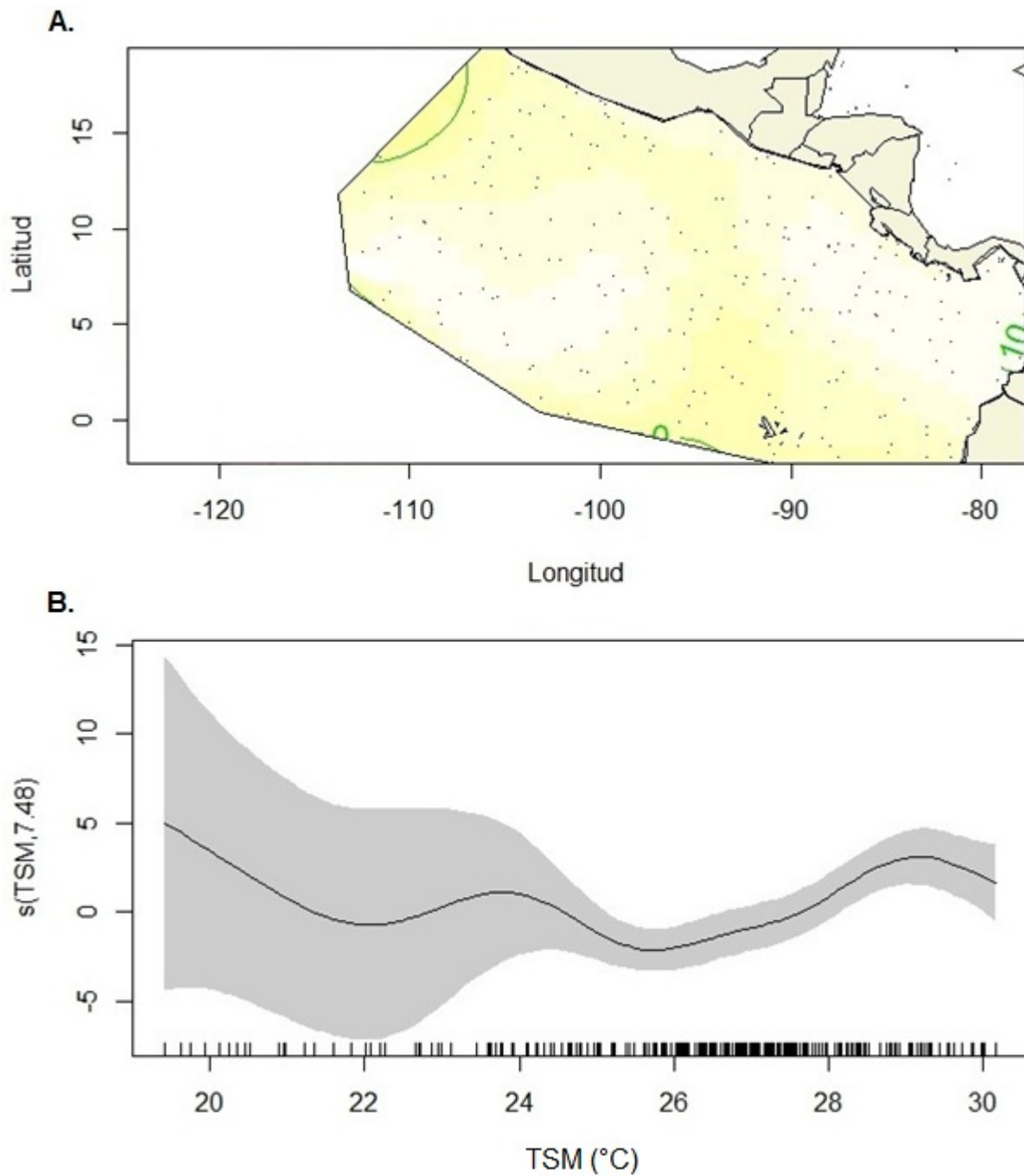


Figura 19. Predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones “Normales” derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. A) Mapa de isolíneas del predictor lineal, B) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.

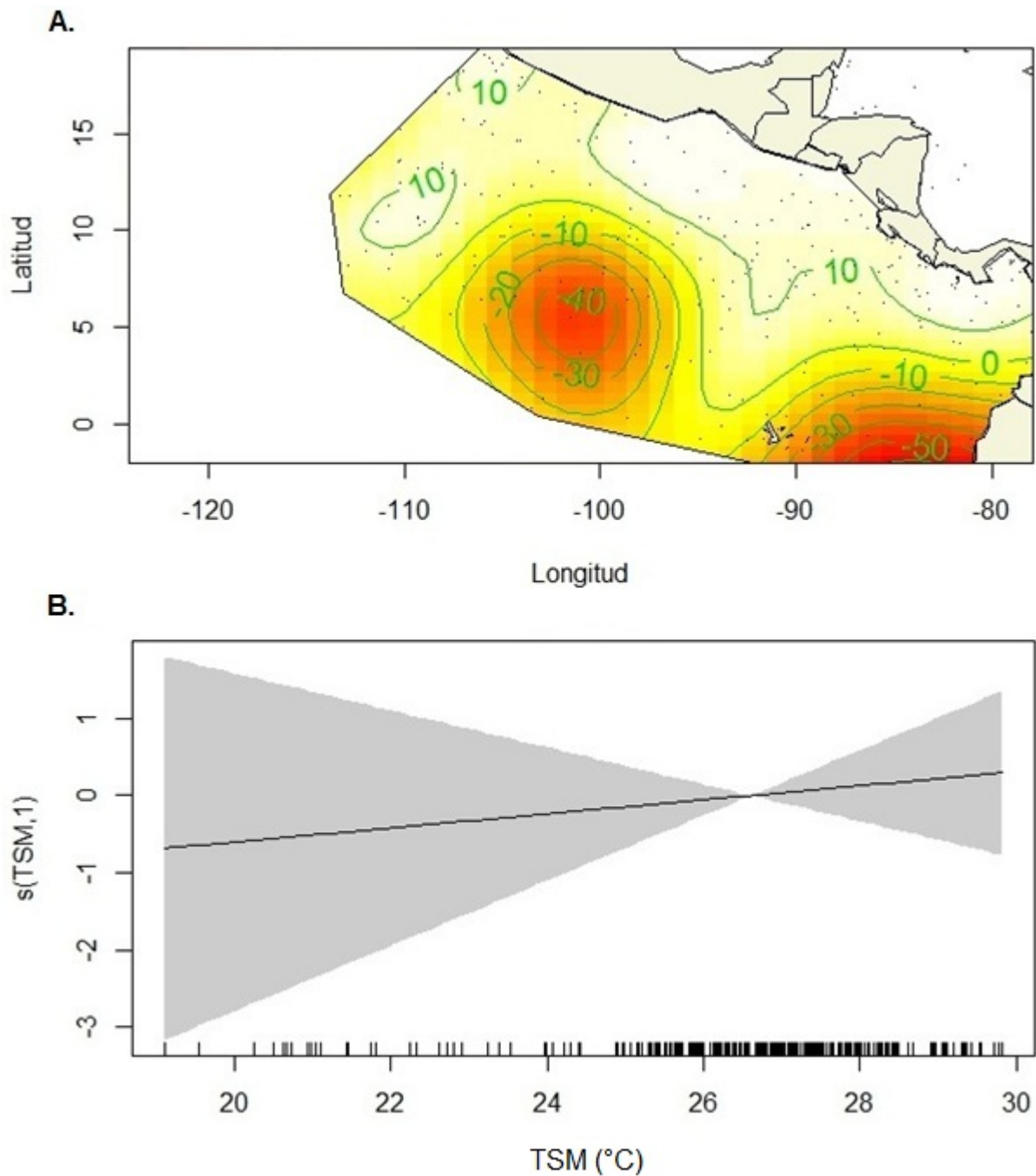


Figura 20. Predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones La Niña derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. A) Mapa de isolíneas del predictor lineal, B) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.

VII.4.2. *Coryphaena equiselis*

Derivado del MAG construido para estimar la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el PCO en un año tipo El Niño, en el que fueron utilizadas como variables predictivas el efecto interactivo de la longitud y la latitud más el efecto de la TSM, fueron estimados valores del predictor lineal de la abundancia, cuyo comportamiento espacial se muestra en la figura 21A. Este mapa muestra que las mayores abundancias ocurrieron en lo que se podría definir como una gran lengüeta en aguas oceánicas, paralela a las costas que va desde Colombia y Ecuador, subiendo hacia el domo de Costa Rica y prolongándose hacia aguas oceánicas al suroeste de México. El efecto de la temperatura en la abundancia estandarizada de larvas (Fig. 21B) muestra una tendencia ligeramente positiva entre los 24 y los 30° C, intervalo de temperatura en el que la mayoría de los registros observados ocurrieron entre los 26 y 29 °C.

En la figura 22A se muestra el comportamiento del predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el PCO en un año tipo “Normal”, derivado del MAG en el que fueron utilizadas como variables predictivas el efecto interactivo de la longitud y la latitud más el efecto de la TSM. En este caso se identifican 2 regiones que podrían presentar una mayor abundancia larval. La primera y más grande de ellas en aguas costeras y oceánicas del suroeste de México, y la segunda en aguas costeras de Colombia y Panamá. El efecto de la temperatura en la abundancia larval muestra registros de larvas entre los 20 y 30 °C, (Fig. 22B). El mayor número de registros de larvas ocurrieron aproximadamente entre los 25 y 29 °C, donde el predictor lineal muestra un comportamiento similar al de una campana gaussiana, alcanzando su valor más alto aproximadamente en los 27 °C.

La figura 23A representa el comportamiento del predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el PCO en un año tipo La Niña derivado del MAG en el que fueron utilizadas como variables predictivas el efecto interactivo de la longitud y la latitud más el efecto de la TSM. En esta figura es posible

identificar 3 regiones con mayor abundancia larval. Una de ellas incluye aguas costeras del suroeste mexicano que se extiende a aguas oceánicas hacia el suroeste; la segunda es una lengüeta que va desde aguas costeras de Colombia y se prolonga hacia el noroeste del Domo de Costa Rica; y por último la región más pequeña en aguas oceánicas entre los 115° y 120° O, y entre los 10° y 15° N. El efecto de la temperatura en la abundancia larval indica una leve tendencia positiva (Fig. 23B), con registros de larvas entre 20 y 30 °C, pero con el mayor número de registros aproximadamente entre 25 y 29 °C.

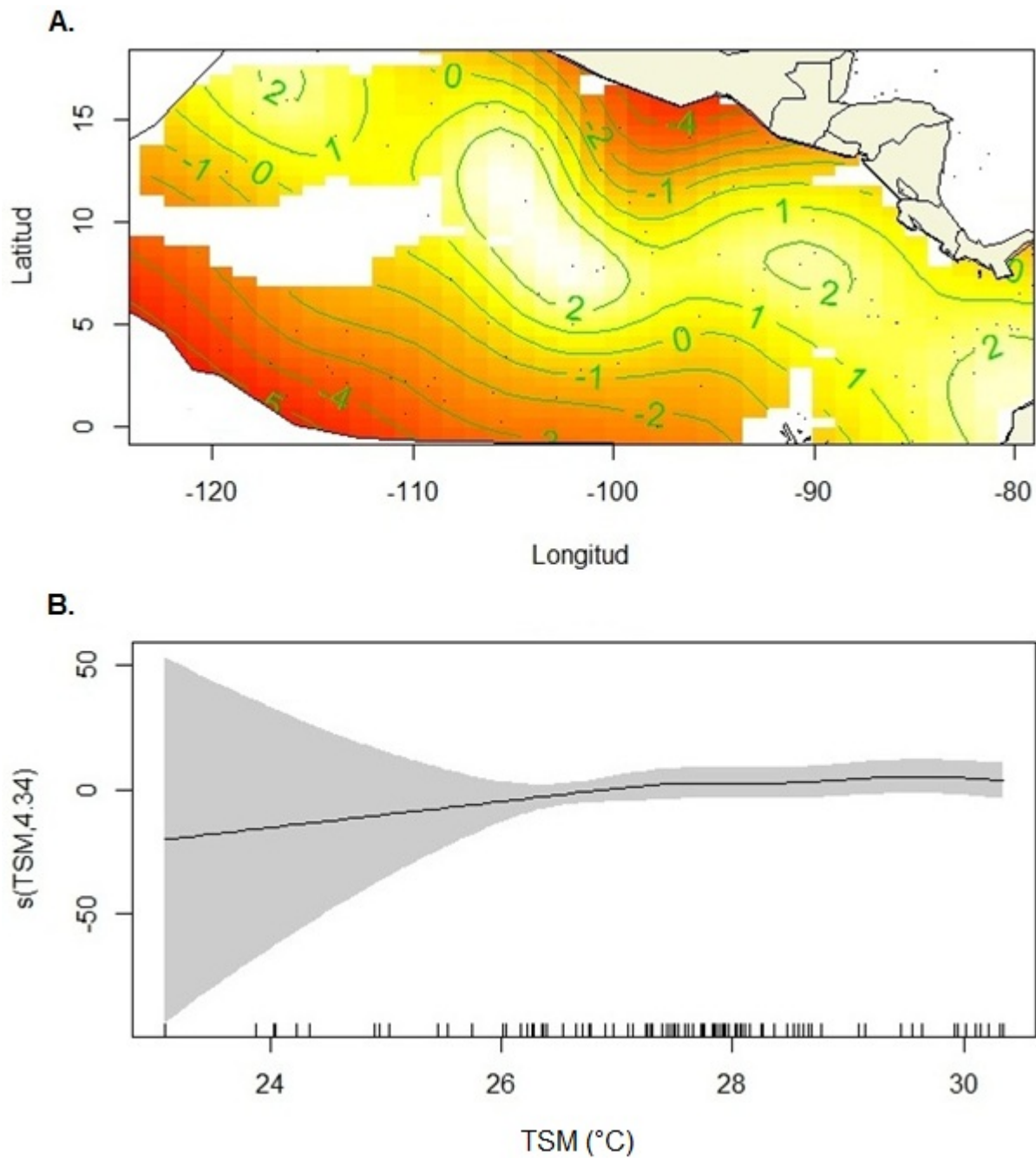


Figura 21. Predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones El Niño derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. A) Mapa de isolíneas del predictor lineal, B) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.

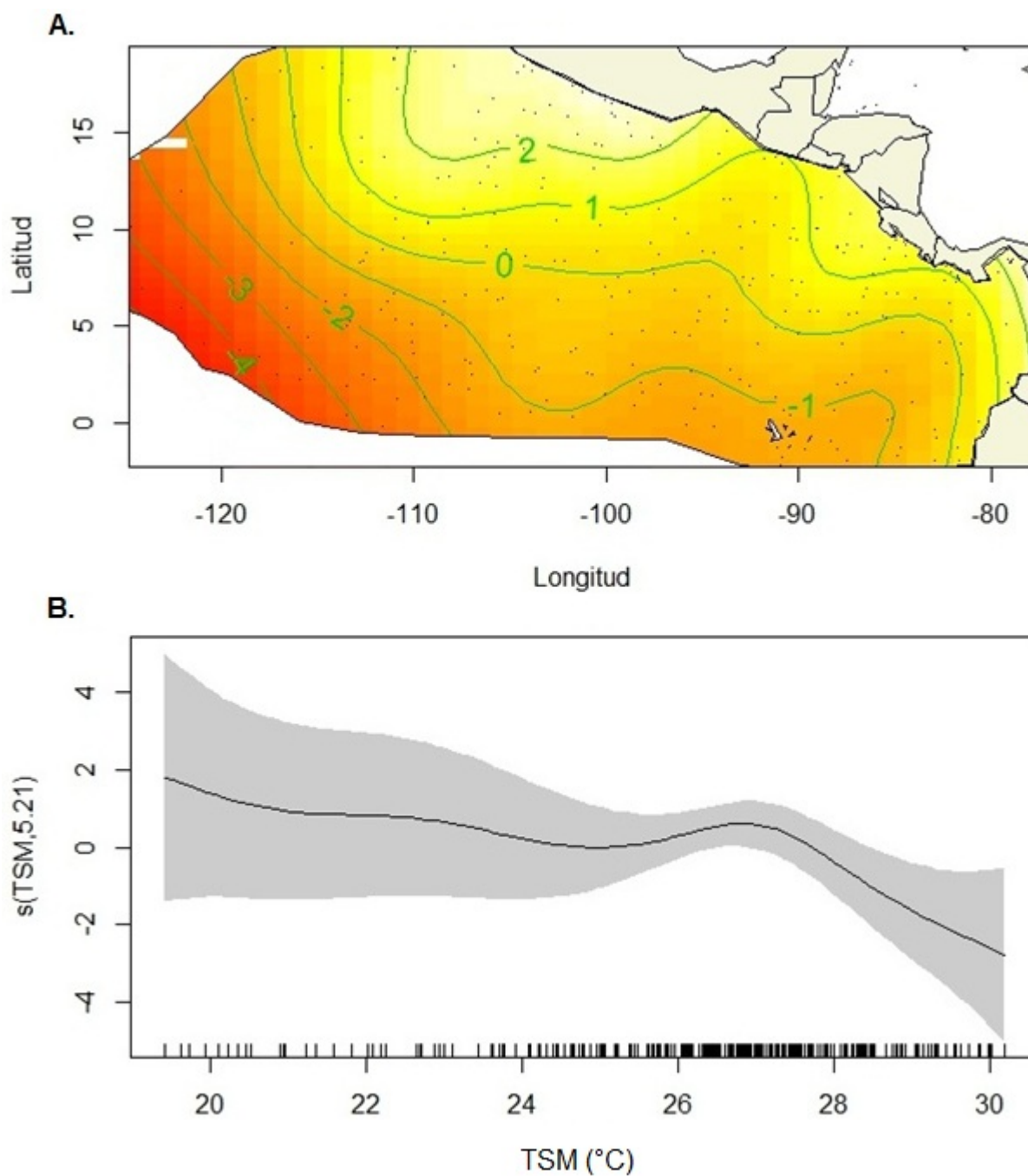


Figura 22. Predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones “Normales” derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. A) Mapa de isolíneas del predictor lineal, B) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.

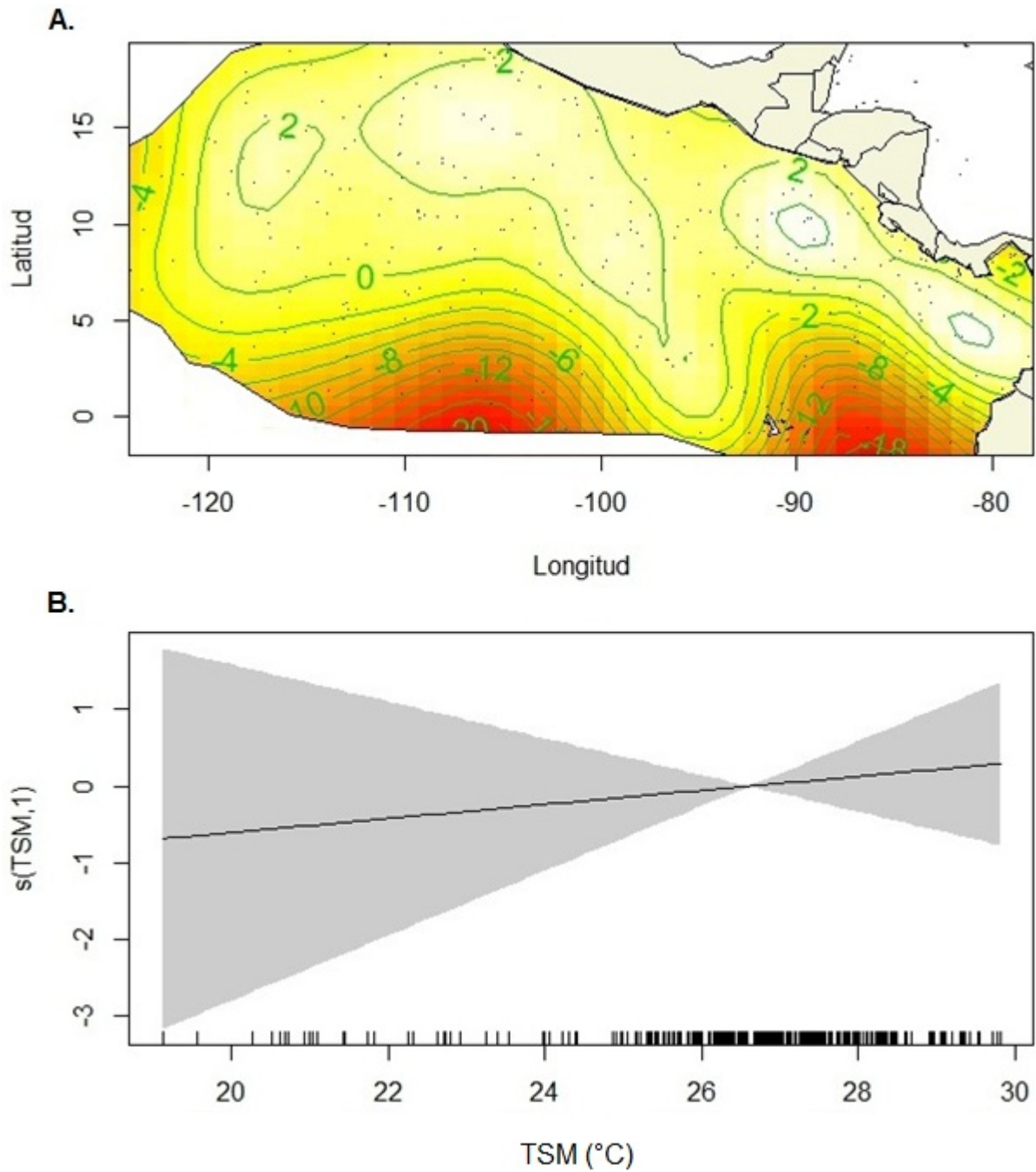


Figura 23. Predictor lineal de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental durante un año tipo con condiciones La Niña derivado de un Modelo Aditivo Generalizado. A) Mapa de isolíneas del predictor lineal, B) Pronóstico de la abundancia de larvas por efecto de la temperatura superficial del mar.

VIII. Discusión

La dificultad de capturar larvas de dorado, incluso de otras especies de pelágicos mayores, ha sido reportada previamente por Shchervachev (1973) y Ditty *et al.* (1994), lo cual puede explicar que las zonas que en este trabajo se detectan como centros de concentración larval registren números de larvas relativamente bajos en comparación con los números altos que se registran para especies de pelágicos menores como las sardinas y las anchoas (Rilling *et al.*, 1999; Sinovčić *et al.*, 2008).

El número reducido de larvas de dorado en cada uno de los siete años con que se cuenta con información fue el motivo principal para categorizarlos y agruparlos en años tipo. El ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) se presenta en el Pacífico y define la climatología de gran parte de este océano a nivel de cuenca. La inclusión de cada año en las categorías de condiciones anómalas El Niño y La Niña, y condiciones no anómalas o “Normales” fueron basadas en los valores del MEI, de tal manera que el año 1987 se encontró en una fase positiva de este índice y correspondió a condiciones El Niño, periodo en el cual la TSM del Pacífico Oriental aumentó y la profundidad donde se presentó la termoclina fue mayor, especialmente en regiones costeras del continente americano (Fiedler, 2002, Fiedler y Talley, 2006). Por otra parte los años 1988, 1998 y 1999 correspondieron a fases negativas de este índice, o dicho de otra forma estuvieron en una fase de enfriamiento conocida como el Fenómeno de La Niña, con características opuestas al Niño, con intensificación de los vientos alisios sobre las aguas superficiales del Pacífico, lo cual promovió las surgencias costeras en los bordes orientales del Pacífico (Wang y Fiedler, 2006). Finalmente los años de 1989, 1990 y 2000 fueron catalogados bajo las condiciones de “normalidad”, ya que están en periodos de transición entre fases negativas y positivas (Wang y Fiedler, 2006).

VIII.1. Comportamiento de temperatura superficial del mar en estaciones con larvas de dorado.

En el Pacífico Central Oriental las larvas de las dos especies de dorado (*C. hippurus* y *C. equiselis*) fueron capturadas en aguas superficiales con temperaturas entre los 19 y 31 °C; así mismo, el valor de la moda de la TSM para las dos especies estuvo entre los 27 y 28 °C, indicando que la mayoría de ellas abundaron en aguas cálidas. Ballance *et al.* (2006) afirman que los organismos marinos presentan límites de resistencia a diversas variables medioambientales y que las estrategias varían entre las especies, basándose en sus capacidades fisiológicas. Los dorados pertenecen al grupo de los pelágicos mayores, los que se caracterizan por ser euritermos (Palko *et al.*, 1982), lo que les permite soportar un amplio intervalo de temperaturas y que su distribución ocurra en todos los mares tropicales y subtropicales del mundo (Nelson, 2006); no obstante el rango térmico de cada especie presenta límites que varía de acuerdo a lo reportado en diversos estudios (Kojima, 1961; Massutí y Morales-Nin, 1995).

Cualquier especie en lo particular es capaz de habitar entre los límites específicos de diferentes variables ambientales específicas, lo que define sus preferencias y los patrones de distribución y abundancia de las especies, dado que los organismos tienden a congregarse en aquellas regiones que reúnen las mejores condiciones para su desarrollo ontológico o éxito reproductivo (Gaston y Blackburn, 2000). Si bien las larvas de dorado fueron encontradas en aguas desde templadas a cálidas, la mayoría de ellas abundaron en aguas típicamente cálidas por encima de los 24 °C, lo cual coincide con lo reportado por Sánchez (2008) respecto a la distribución de larvas de dorado en el Pacífico Mexicano, con lo reportado por Massutí y Morales-Nin (1995) en el Mar Mediterráneo, y por Ditty *et al.*, (1994) en el Atlántico Occidental.

VIII.2. Distribución y abundancia de larvas de dorado en el Pacífico Central Oriental. Comparación entre Kriging y MAGs

No se observó correlación espacial en los datos de distribución y abundancia estandarizada de las larvas de dorado en el PCO en ninguno de los años tipo analizados a través de los análisis variográficos. Aunque a través de los variogramas se pretendió modelar la dependencia espacial de los datos y con el uso del Kriging proporcionar estimaciones de locaciones no registradas o sin datos (Rossi *et al.*, 1992), sí consideramos la amplitud del área de muestreo, la falta de estructura en los datos observados a través de los variogramas pudo ser consecuencia del número escaso de larvas recolectadas de cada especie en cada año, así como del número bajo de estaciones muestreadas con larvas de dorado, lo que ocasionó distancias grandes entre algunas estaciones de muestreo con una implicación directa sobre las isolíneas de abundancia en los mapas en los que se utilizó la técnica de interpolación Kriging.

Cressie (1989) afirma que el número reducido de individuos colectados en un muestreo puede influir drásticamente en el comportamiento de los pares de puntos en los análisis variográficos, por su parte Petitgas (1996) señala que grandes distancias entre los puntos o localidades de muestreos también afecta el comportamiento general del variograma, conduciendo a la no estructura de los datos.

A pesar de que no se encontró correlación espacial en los datos de abundancia estandarizada de larvas de dorado en el PCO, en general los variogramas contruidos para *C. equiselis* presentaron mayor estabilidad que los contruidos para *C. hippurus*, lo cual se puede atribuir a que hubo un número mayor de larvas de *C. equiselis*, lo cual resultó en una mejor estructura espacial de los datos en su análisis variográfico (Rossi *et al.*, 1992; Rivoirard *et al.*, 2000).

En los análisis variográficos, las razones por las cuales se seleccionó el modelo esférico para realizar los ajustes fueron sus atributos de crecimiento y que

garantiza que la varianza de los incrementos sea finita (Díaz, 1993). Además, este modelo de crecimiento fue el más apropiado teniendo en cuenta el comportamiento de los puntos en todos los variogramas y que tuvieron un crecimiento rápido cerca del origen, además de que los incrementos marginales fueron decreciendo a distancias mayores, hasta que para distancias superiores al rango, dichos incrementos son nulos (Cressie, 1993).

Los tres parámetros que definen a los variogramas rango, meseta y el efecto pepita (Rossi *et al.*, 1992, Petitgas, 2001) variaron para cada uno de los años tipo analizados en cada especie, como resultado de las diferentes recolectas en diferentes localidades en cada año. En términos generales, los valores del “efecto pepita” o “nugget” fueron menores para *C. hippurus*, lo cual se debe a que la varianza general representada en sus variogramas fue menor a las de su congénere. Los valores de la “meseta” o “sill” también fueron menores para *C. hippurus*, dado que este depende de la varianza total y del valor del “efecto pepita” (Mello y Rose, 2005). En cuanto al valor del rango, este fue similar en todos los variogramas de las dos especies, debido a que se buscó que el efecto de la distancia de correlación entre el espacio y la abundancia de larvas fuese similar en todos los casos.

Los mapas generados a partir de los MAGs respecto a los mapas en los que fue utilizada la técnica de interpolación Kriging, en la mayoría de los casos fueron consistentes en cuanto a los patrones generales de distribución representados. En términos generales los primeros lograron identificar las mismas regiones de abundancia alta que los segundos, pero el nivel de detalle fue muy bajo, lo cual conllevó incluso a que en algunos casos no fuera posible identificar los centros de concentración larval. Lo anterior supone un inconveniente en el uso de los MAGs para los propósitos de este trabajo, ya que uno de los objetivos es identificar geográficamente las principales áreas de crianza de los dorados en el Pacífico Central Oriental durante el periodo de estudio, y estos en algunos casos no fueron detectados con claridad a través del uso de esta técnica. Otra diferencia

notable entre los mapas que usan la técnica de interpolación Kriging, respecto a los mapas de los valores predichos por los MAGs, es que estos últimos sobreestiman la abundancia estandarizada de larvas de dorado, un resultado contrario a los valores registrados en las recolectas utilizados en este análisis y al de otros estudios que enfatizan en la poca disponibilidad de larvas de peces de esta familia en muestreos oceanográficos.

Brosse *et al.*, (1999) describieron el desarrollo y la validación de redes neuronales artificiales a través de la comparación con métodos estadísticos tradicionales paramétricos y no paramétricos, entre ellos los MAGs. Los autores modelaron la distribución espacial de peces en un lago mesotrófico de Francia. Reportaron que los MAGs a pesar de presentar altos valores de devianza explicada, no fueron la mejor herramienta estadística para detectar las zonas de mayor abundancia de peces en ese lago y que los análisis de las redes neuronales artificiales fueron mucho más precisos en detectar las zonas de interés. Sobre la base de los resultados obtenidos para representar la abundancia estandarizada de larvas de dorado empleando por una parte la interpolación Kriging y por otra la modelación con los MAGs, es preciso afirmar que los primeros lograron detectar para las dos especies y en todos los casos los centros de abundancia larval, mientras que los segundos no lo lograron en todos los casos, además que incluyeron una sobreestimación de la abundancia de larvas esperadas. No obstante la diferencia observada en los valores de abundancia estimados por los MAGs en contraste a las representadas a través del Kriging, en este estudio no se llevó a cabo una comparación cuantitativa de los resultados. Por ejemplo, la información espacial de gran escala que resulta de aplicar una técnica de procesamiento de imágenes satelitales nueva, su precisión es contrastada con respecto a fotografías aéreas de tal forma que los resultados de las imágenes satelitales sean validados (Wiemker *et al.*, 1998; Capodici *et al.*, 2013).

VIII.3. Distribución y abundancia de larvas de dorado en el Pacífico Central oriental. Efecto de temperatura superficial del mar

La distribución de las larvas de dorado en el PCO, en cada uno de los años tipo analizados fue irregular o por agregaciones. Este tipo de distribución también ha sido reportado en el hábitat de desove de otros peces pelágicos mayores como el atún aleta azul al oeste del Mediterráneo, en el cual a pesar de presentar un número de larvas mayor que el presente estudio, su distribución fue irregular (Alemany *et al.*, 2010), formándose agregaciones claramente detectables dentro del área de estudio, similares a los resultados de este estudio. Aparentemente, es común capturar un número relativamente bajo de larvas de peces del grupo de los pelágicos mayores, como fue anteriormente observado por Sánchez (2008).

Los centros de concentración larval de *C. hippurus* y de *C. equiselis* variaron en su distribución espacial dentro del área de estudio en el PCO en los años tipo analizados, sin embargo las mayores abundancias siempre fueron asociadas con aguas cálidas. Es importante considerar que las especies de dorado presentan un amplio rango de distribución en el Pacífico (Norton, 1999), al respecto diferentes autores han propuesto que para entender las dinámicas poblacionales de las especies de dorado es necesario estudiar las áreas de reproducción y las zonas de crianza de juveniles (Ditty *et al.*, 1994; Sánchez, 2008; Zúñiga-Flores, 2009). Este trabajo aporta por primera vez información de las zonas de crianza larval de las especies de dorado y de su variabilidad interanual en el PCO.

Los centros de concentración larval de *C. hippurus* más importantes por lo regular estuvieron asociados a aguas costeras del sur de Costa Rica, Colombia y Panamá. Una de las causas principales de este fenómeno es que ahí se encuentran aguas cálidas, que pertenecen a la denominada Cuenca Cálida del Pacífico (CCP) (Jong-Seong *et al.*, 2009; Vilchis, *et al.*, 2009), lo cual promovería la proliferación de esta especie (Ditty *et al.*, 1994). Otros estudios (Uchiyama *et al.*, 1992; Campos *et al.*, 1993) también reportaron la preferencia de esta especie por aguas costeras o relativamente cercanas a las costas. Adicionalmente Kent *et al.*

(2013) en su trabajo sobre los patrones espaciales y temporales de los ensambles ictioplanctónicos reportaron que las larvas de ambientes costeros están más desarrolladas que aquellas de desovadores pelágicos de ambientes oceánicos, posiblemente por efecto de la mayor disponibilidad de alimento en las zonas de surgencia, y logran evitar eficazmente la deriva pasiva por procesos advectivos. Un ejemplo por preferencias opuestas a la que aquí se reporta es el trabajo de Basilone *et al.* (2013), quienes estudiaron el hábitat de desove de la anchoa europea (*Engraulis encrasicolus*). Ellos reportaron que las mayores abundancias de los primeros estadios de esa especie fueron registradas en hábitats con temperaturas frías.

Los centros de concentración larval de *C. equiselis* mas importantes fueron observados en aguas oceánicas, aunque densidades importantes también fueron registradas en aguas relativamente costeras al suroeste de México. A pesar de que la ubicación de estos centros fue diferente respecto a los de *C. hippurus*, la mayoría de larvas de esta especie también fueron capturadas en aguas cálidas, en temperaturas superiores a los 24 °C. Con base en la similitud encontrada en las dos especies de dorado, puede afirmarse que existen otros factores diferentes a la TSM que posiblemente regulan la distribución de los adultos y por consiguiente la ubicación de las zonas de crianza de larvas de *C. equiselis* y *C. hippurus*. La disponibilidad de larvas más desarrolladas en ambientes costeros encontrada por Kent *et al.* (2013), también pudiera explicar el mayor número de larvas de *C. equiselis* sobre *C. hippurus*, ya que estas últimas fueron capturadas principalmente en ambientes oceánicos, en condiciones de menor disponibilidad de alimento, por lo que estas tendrían un desarrollo más lento respecto a su congénere de hábitos más costeros y de rápido crecimiento.

En términos generales, se observó una variación interanual en la ubicación de los centros de concentración larval de las dos especies de dorado en el PCO. El carácter migratorio de estas especies de amplia distribución en los mares tropicales y subtropicales del mundo (Compagno *et al.*, 1995), es un factor

relevante que puede estar influyendo en nuestros resultados. Otro factor que también pudiera afectar la distribución de las áreas de crianza de las especies de dorado en el PCO son las corrientes oceánicas (Funes-Rodríguez *et al.*, 2009).

Los centros de crianza larval de *C. hippurus* variaron espacialmente con las condiciones ENOS. En periodos de El Niño solo hubo dos centros con una limitada amplitud espacial, (uno relativamente costero y otro oceánico), posteriormente en condiciones “Normales” hay una tendencia a expandir dicha amplitud espacial de los centros de abundancia larval de forma adyacente a las costas de Centroamérica, mientras que en condiciones La Niña la tendencia es a concentrar la abundancia larval hacia zonas costeras cerca de México y Panamá.

En cuanto a los centros de crianza de *C. equiselis* también variaron espacialmente bajo las mismas categorías ENOS. En periodos de El Niño se observan dos lengüetas de alta abundancia larval en aguas oceánicas, posteriormente en condiciones “Normales” estas lengüetas ya no se observan y los centros de abundancia se separan espacialmente entre ellos, además se evidencia una menor abundancia larval en el PCO. Bajo condiciones La Niña aparentemente estos centros se desplazan horizontalmente hacia las costas centroamericanas.

Los centros de abundancia larval ubicados en aguas costeras frente a Costa Rica, Nicaragua e incluso El Salvador, pueden ser influenciadas principalmente por la Corriente Costera de Costa Rica (Kessler, 2006), mientras que los centros ubicados en aguas oceánicas frente a Costa Rica y Nicaragua podrían ser afectados principalmente por procesos locales en el Domo de Costa Rica donde inciden los vientos que soplan a través de la cordillera centroamericana, imprimiendo su fuerza en el océano a través de la dinámica de Sverdrup (Kessler, 2006), y las larvas pudieran ser retenidas o concentradas en torno a este. El Domo de Costa Rica (DCR) es una zona oceánica de afloramiento o surgencia permanente frente al Pacífico Norte de Costa Rica (ubicada entre los

8 y 10° N y los 88 y 90° O) a 250 km de la costa aproximadamente, que se origina por la acción conjunta del movimiento de la Contracorriente Norecuatorial, la Corriente Costera de Costa Rica y la Corriente Ecuatorial Norte, en asociación con un máximo ciclónico de esfuerzo rotacional de los vientos en el área y con el desplazamiento hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical. El DCR se caracteriza por presentar una termoclina muy superficial, una alta concentración de nutrientes, una alta productividad, afloramientos muy dinámicos y una gran extensión (cubriendo 40.000 km² aproximadamente). Adicionalmente es la única concentración masiva de plancton conocida en el Pacífico Tropical y por lo tanto es trascendental para la dinámica de las redes alimenticias de la región (Fiedler, 1992; Rodríguez-Fonseca, 2001; Kessler, 2006).

Por otro lado, los centros de concentración larval ubicados en aguas oceánicas ecuatoriales pudieran estar siendo afectadas por la Corriente Surecuatorial que fluye desde regiones costeras del norte de Perú y Ecuador hacia el Pacífico Occidental (Fiedler, 2002; Kessler, 2006), de tal forma que las larvas estarían siendo desplazadas por esta corriente oceánica. En cuanto a los centros de concentración larval localizados en aguas cercanas a las costas del suroeste de México, estos podrían estar asociados al chorro de viento que se produce en el Golfo de Tehuantepec (por efecto de los eventos de viento del norte conocidos como nortes o tehuanos) y al remolino anticiclónico que estos forman hacia el oeste del chorro (Kessler, 2006; Brennan *et al.*, 2009; Velázquez-Muñoz *et al.*, 2011). En esta región adyacente al Golfo de Tehuantepec, las larvas se podrían dispersar, e incluso las corrientes oceánicas podrían desplazarlas hacia regiones oceánicas más allá de los 110° O, donde estas serían afectadas principalmente por la Contracorriente Norecuatorial (Kessler, 2006).

Relaciones positivas entre la TSM y la abundancia estandarizada de larvas en las dos especies de dorado fueron establecidas en la mayoría de las gráficas obtenidas a través del predictor lineal de los MAGs que fueron construidos en función de las variables espaciales más el efecto de la TSM. Sin embargo, se ha

determinado para estas y otras especies de peces que estas variables no guardan una relación positiva, por el contrario existen límites (inferiores y superiores) de tolerancia a la TSM (Kojima, 1961; Massutí y Morales-Nin, 1995). Los MAG son una herramienta útil cuando se busca relacionar variables ambientales con datos biológicos, y cuando se pretende determinar el grado de influencia de las primeras sobre las segundas (Wood, 2006). Es importante considerar que en la naturaleza son raros los casos en los cuales las variables dependientes, por ejemplo la abundancia de una especie en una localidad, o incluso la diversidad, guardan una relación directa y de tipo lineal con las variables independientes o en este caso variables ambientales (Gaston y Blackburn, 2000). Considerando lo anterior, los MAGs son una técnica apropiada para estudiar el efecto de dichas variables, basándose en que estos pueden considerar la interacción y suma de variables independientes, sobre la(s) dependiente(s) (Gómez y Defeo, 2012).

El aporte significativo a la devianza explicada por parte de la TSM, está fuertemente soportada por múltiples estudios que afirman que dicha variable presenta una influencia importante en los patrones de movimiento, migración y especialmente supervivencia de los organismos marinos (Ballance *et al.*, 2006, Cash *et al.*, 2009; Gaston y Blackburn, 2000). De tal forma que la TSM se ha empleado para describir la preferencia de hábitat de los organismos marinos dentro de un rango óptimo, dado que esta variable afecta los procesos fisiológicos de las especies (Boyce *et al.*, 2008). No obstante, algunos estudios también enfatizan, especialmente los relacionados con especies altamente migratorias, que la temperatura no es el único factor influyente sobre la distribución de las especies y la migración de los individuos (Martínez-Rincón, 2012); mientras otros estudios proponen que existen otras variables más importantes que la TSM, por ejemplo la concentración de clorofila (Gutiérrez *et al.*, 1982, Sampey *et al.*, 2004) o procesos físicos de mesoescala en el océano (Lough y Manning, 2001; Bakun, 2006).

En cuanto a los modelos con los cuales se construyeron los mapas de distribución de las larvas de dorado obtenidos con los MAGs, en donde las

variables independientes fueron la interacción entre la longitud y la latitud, más el efecto de la TSM sobre la distribución espacial de las larvas de dorado, se obtuvieron valores significativamente más altos de devianza explicada respecto a los realizados solo en función de las variables espaciales, lo cual sugiere que los últimos MAGs mejoraron su capacidad predictiva y como consecuencia, los mapas generados a partir de estos modelos difieren de los iniciales. Sin embargo es posible que estos últimos también sobreestimen los valores de la abundancia estandarizada de larvas de dorado en el PCO, considerando los resultados obtenidos en la primera parte de este trabajo. De forma general, también se perdió detalle en la identificación de centros de abundancia larval, pero permitió visualizar el área que potencialmente podría tener una alta abundancia de larvas, teniendo en cuenta la TSM. Richardson *et al.* (2010) señalaron que los dorados pertenecen al ensamble de las especies extendidas, por lo que es importante identificar las zonas de mayor abundancia larval para inferir las áreas de crianza. Una alternativa que no fue explorada en este trabajo es la perspectiva de trabajo empleada por Fox y Brien (2000). Ellos determinaron los patrones de desove de tres especies de peces en el Mar de Irlanda a través del uso de los MAGs, sobre la base de registros de presencia-ausencia, y como resultado identificaron las zonas con mayor probabilidad de presencia de huevos y larvas de las especies de interés.

A pesar de que la utilidad del uso de los MAGs se ha discutido ampliamente, estos aquí contruidos incluyendo el efecto aditivo de la TSM sobre la distribución y abundancia de larvas de estos peces, no resultaron ser la mejor herramienta para pronosticar los centros de crianza de las especies de dorado en el PCO, dado que existen inconvenientes de sobreestimación de la variable de respuesta al incluir en la modelación de cada especie relaciones positivas entre la TSM y la abundancia estandarizada de larvas.

IX. Conclusiones

- Las larvas de dorado (*C. hippurus* y *C. equiselis*) que se capturaron en el Pacífico Central Oriental se encontraron en aguas entre los 19 y 31 °C, con moda entre los 27 y 28 °C para las dos especies.
- Los centros de concentración larval de *C. hippurus* y de *C. equiselis* variaron en su distribución espacial dentro de las zonas de estudio en el PCO en los años tipo analizados, sin embargo las mayores abundancias siempre estuvieron asociadas con aguas cálidas.
- A través de los análisis variográficos no se encontró correlación espacial en los datos de distribución y abundancia de las larvas de dorado en el PCO durante los periodos analizados.
- Los mapas generados a partir de la aplicación de los MAGs fueron consistentes con los mapas usando el método de interpolación Kriging en la mayoría de los casos. Sin embargo el método de interpolación Kriging permitió definir con mayor claridad la ubicación de las zonas de crianza de dorado en el PCO.
- Las predicciones de la abundancia estandarizada de larvas de dorado realizadas a través de los MAGs en función de variables espaciales sobreestimaron los valores de dicha variable en el PCO, por lo cual se considera que los mapas construidos con el método de interpolación Kriging resultaron ser más precisos para identificar las áreas de crianza del dorado en el PCO.
- *C. equiselis* presenta hábitos más oceánicos que *C. hippurus*, aunque también fueron reportadas larvas de esta especie en aguas relativamente

cercanas a las costas americanas, por lo que su distribución ocurrió en una extensión mayor respecto a la otra especie.

- Los modelos contruidos a través del uso de los MAGs en función de la interacción entre la longitud y la latitud, más el efecto de la TSM, presentaron un incremento de la devianza del modelo estadísticamente significativo, sin embargo existen riesgos de sobreestimación de la abundancia larval estandarizada al aplicar dichos modelos.

X. Bibliografía

- Aguilar-Palomino, B. 1993. *Espectro trófico del Dorado Coryphaena hippurus Linnaeus 1758 (Osteichthyes:Corphaenidae), capturado en la Bahía de La Paz y Cabo San Lucas, Baja California Sur, México, durante 1990 y 1991*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, México. 109 p.
- Alemaný, F., L. Quintanilla, P. Velez-Belchí, A. García, D. Cortés, J. M. Rodríguez, M. L. Fernández de Puelles, C. González-Pola y J. L. López-Jurado. 2010. Characterization of the spawning habitat of Atlantic bluefin tuna and related species in the Balearic Sea (western Mediterranean). *Prog. Oceanogr.*, 86: 21-38.
- Aoki, M. y S. Ueyanagi. 1989. Larval Morphology and Distribution of the dolphin-fishes, *Coryphaena hippurus* and *Coryphaena equiselis* (Coryphaenidae). *Tokai Univ. Proc., Oceanogr. Sec.*, 28: 157-174.
- Armstrong, M., D. Renard, J. Rivoirard y P. Petitgas. 1992. *Geostatistics for Fish Survey Data*. Centre de Géostatistique. Ecole des Mines de Paris. Fontainebleau, France. 97 p.
- Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Sci. Mar.*, 70S2: 105-122.
- Ballance, L. T., R. L. Pitman y P. C. Fiedler. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 360-390.
- Barcelata, M., J. De La O y L. González. 1990. *Aspectos reproductivos de las especies: Pez vela, Istiophorus platypterus y dorado Coryphaena hippurus capturados en las costas de Mazatlán, Sinaloa en 1988*. Tesis de Licenciatura. UAS, México. 56 p.
- Basilone, G., A. Bonanno, B. Patti, S. Mazzola, M. Barra, A. Cuttitta y R. McBride. 2013. Spawning site selection by European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in relation to oceanographic conditions in the Strait of Sicily. *Fish. Oceanogr.*, 15 p.
- Beltrán, P. R. 1995. *Análisis sobre las capturas de dorado en Mazatlán, Sinaloa*. Informe Técnico, Inst. Nal. Pesca, CRIP-Mazatlán, Sinaloa, México. 14 p.
- Benetti, D. D. 1995. Growth rates of captive dolphin, *Coryphaena hippurus*, in Hawaii. *Fish. B-NOAA.*, 93: 152-157.
- Boyce, D. G., D. P. Tittensor y B. Worm. 2008. Effects of temperature on global patterns of tuna and billfish richness. *Mar. Ecol-Prog. Ser.*, 355: 267-276.
- Brennan, M. J., H. D. Cobb III y R. D. Knabb. 2009. Observations of Gulf of Tehuantepec Gap Wind Events from QuikSCAT: An Updated Event Climatology and Operational Model Evaluation. *Weather Forecast.*, 25: 646-658.
- Briggs, J. C. 1960. Fish of the worldwide (circumtropical) distribution. *Copeia*, 1960: 171-180.
- Brosse, S., S. Sövan y D. Francis. 1999. Predicting fish distribution in a mesotrophic lake by hydroacoustic survey and artificial neural networks. *Limnol. Oceanogr.*, 44(5): 1293-1303.

- Campos, J. A., A. Segura, O. Lizano y E. Madrigal. 1993. Ecología básica de *Coryphaena hippurus* (Pisces:Coryphaenidae) y abundancia de otros grandes pelágicos en el Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 41(3): 783-790.
- Capodici, F., G. D'Urso y A. Maltese. 2013. Investigating the Relationship between X-Band SAR Data from COSMO-SkyMed Satellite and NDVI for LAI Detection. *Remote Sens.*, 5: 1389-1404.
- Carratala, A., A. Gomez y J. Bellot. 1997. Mapping rain composition in the east of Spain by applying kriging. *Water Air Soil Poll.*, 104: 9-27.
- Cash, B., X. Rodo y J. Kinter. 2009. Links between Tropical Pacific SST and Cholera Incidence in Bangladesh: Role of the Western Tropical and Central Extratropical Pacific. *J. Climate*, 22(7): 1641-1660.
- Clemens, H. B. 1957. Fish collected in the tropical eastern Pacific, 1954. *Calif. Fish Game*, 43: 299-307.
- Compagno, L. J. V., F. Krupp y W. Schneider. 1995. Tiburones. En: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. (Eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen II. Vertebrados - Parte 1*. FAO, Roma, 646-1200 p.
- Cressie, N. 1989. Geostatistics. *Am. Stat.*, 43(4): 611-623.
- Cressie, N. 1993. *Statistical for Spatial Data*. John Wiley & Sons, New York. 900 p.
- Cury, P. y C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46(4): 670-680.
- De Sylva, D. P. 1989. Distributional Changes in Billfishes (Istiophoridae) and sea surface temperatures – A possible early warning system to monitor global greenhouse climate warning, 137-143. En: R. H. Stroud (Ed.), *Planning the future of billfishes. Research and management in the 90's and beyond*. Part 2 Contributed Papers. National Coalition for Marine Conservation, Inc, Georgia, USA. 361 p.
- Díaz, E. 1993. *Introducción a Conceptos Básicos de Geoestadística*. Memorias Seminario Estadística y Medio Ambiente. Centro de Investigación en Matemáticas. CIMAT. Guanajuato, México.
- Ditty, J. G., R. F. Shaw, C. B. Grimes y J. Cope. 1994. Larval development, distribution, and abundance of common dolphin, *Coryphaena hippurus*, and pompano dolphin, *C. equiselis* (Family Coryphaenidae), in the northern Gulf of Mexico. *Fish. B-NOAA*, 92: 275-291.
- Fiedler, P. C. 1992. *Seasonal climatologies and variability of eastern tropical pacific surface waters*. NOAA Technical Report NMFS 109, 70 p.
- Fiedler, P. C. 2002. Environmental change in the eastern tropical Pacific Ocean: review of ENSO and decadal variability. *Mar. Ecol-Prog. Ser.*, 244: 265-283.
- Fiedler, P. C. y L. D. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 143-180.
- Fischer, W., E. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen I*. FAO, Roma, 1-646 p.

- Fox, C. J. y C. M. Brien. 2000. Patterns in the spawning of cod (*Gadus morhua* L.), sole (*Solea solea* L.) and plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in the Irish Sea as determined by generalized additive modelling. *Fish. Oceanogr.*, 9: 33-49.
- Franco-Gordo, C., E. Godínez-Domínguez, A. E. Filonov, I. E. Tereshchenko, y J. Freire. 2004. Plankton biomass and larval fish abundance prior to and during the El Niño period of 1997–1998 along the central Pacific coast of México. *Prog. Oceanogr.*, 63: 99-123.
- Funes-Rodríguez, R., J. F. Elorduy-Garay, A. Hinojosa-Medina y A. Zárate-Villafranco. 2009. Interannual distribution of Pacific hake *Merluccius productus* larvae in the southern part of the California Current. *J. Fish. Biol.*, 75: 630-646.
- García, M. C. G. 1995. *Ciclo de reproducción del dorado (Coryphaena hippurus) en el área de Los Cabos B.C.S. México*. Tesis de Licenciatura. UABCS, México. 66 p.
- García, A., F. Alemany, J. M. Rodríguez, D. Cortes, F. Corregidor, E. Ceballos, I. Quintanilla y P. Vélez-Belchí. 2009. Distribution and abundance of bullet tuna larvae (*Auxis rochei*) off the Balearic Sea during the 2003-2005 spawning seasons. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 64(7): 2184-2191.
- Gaston, K. J. y T. M. Blackburn. 2000. *Pattern and process in macroecology*. Blackwell Publishing, United Kingdom. 377 p
- Gibbs, R. H. Jr. y B. B. Collette. 1959. On the identification, distribution and biology of the dolphins *Coryphaena hippurus* and *C. equiselis*. *Bull. Mar. Sci. Gulf. Caribb.*, 9: 117-152.
- Gómez, J. y O. Defeo. 2012. Predictive distribution modeling of the sandy-beach supralittoral amphipod *Atlantorchestoidea brasiliensis* along a macroscale estuarine gradient. *Estuar. Coast. Shelf S.*, 98: 84-93.
- Guisan, A., T. C. Edwards y T. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecol. Model.*, 157: 89-100.
- Hastie, T. y R. Tibshirani. 1986. Generalized Additive Models. *Stat. Sci.*, 1(3): 297-318.
- Hendrickx, M. E. 1995. Introducción. Consideraciones generales sobre el área 1-7. En: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. (Eds.), *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen I. Plantas e invertebrados*. FAO, Roma, 646 p.
- Johnson, G. D. 1978. *Development of fishes of the Mid-Atlantic Bight. An atlas of egg, larval, and juvenile stages*. Vol IV Carangidae through Ephippidae. U.S. Dep. Inter., Fish Wildl. Serv., Biol. Serv. Prog, 314 p.
- Jong-Seong, K., J. Fei-Fei y A. Soon-Il. 2009. Two types of El Niño events: Cold Tongue El Niño and Warm Pool El Niño. *J. Climate*, 22: 1499-1515.
- Journel, A. G. y C. J. Huijbregts. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York, 600p.
- Kent, J., G. Jenkins y S. Acevedo. 2013. Temporal and spatial patterns in ichthyoplankton assemblages in bay and open coastal environments. *J. Fish. Biol.*, 82: 408-429.

- Kessler, W. S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 181-217.
- Klett, A., G. Ponce y S. Ortega. 1996. Pesquería Deportivo-Recreativa. En: Casas, V. M. y G. Ponce (Eds.), *Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur.*, 2: 389-418.
- Kojima, S. 1961. Studies of dolphin fishing conditions in the western sea of Japan. III. On the stomach contents of dolphin. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 27: 625-629.
- Kojima, S. 1965. Studies on the fishing conditions of the dolphin *Coryphaena hippurus* L., in the western regions of the Sea of Japan-X. Results on tagging experiment. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 31: 575-578.
- Kraul, S. 1999. Seasonal abundance of the dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Hawaii and the tropical Pacific Ocean. *Sci. Mar.*, 63(3-4): 261-266.
- Krige, D. G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Af.*, 52(6): 119-139.
- Kulka, D. W., L. Hendrickson, N. Bez, R. Schlitzer, G. A. P. Black y M. R. Simpson. 2003. Report of the Workshop on Mapping and Geostatistical Methods for Fisheries Stock Assessment. Northwest Atlantic Fisheries Organization. 35 p.
- Lasker, R. 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment, 80-87. En: Lasker, R. (Ed.), *Marine Fish Larvae: Morphology, Ecology and Relation to Fisheries*. University of Washington Press, Seattle. 131 p.
- Lasso, J. y L. Zapata. 1999. Fisheries and biology of *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) in the Pacific coast of Colombia and Panama. *Sci. Mar.*, 63(3-4): 387-399.
- Lough, R. y J. P. Manning. 2001. Tidal-front entrainment and retention of fish larvae on the southern flank of Georges Bank. *Deep-Sea Res. Pt. II.*, 48: 631-644.
- Mariani, P., B. R. Mackenzie, D. Ludicone y A. Bozec. 2010. Modelling retention and dispersion mechanisms of bluefin tuna eggs and larvae in the northwest Mediterranean Sea. *Prog. Oceanogr.*, 86: 45-58.
- Martínez-Rincón, R. O. 2008. *Análisis de la captura incidental de dorado (Coryphaena spp.) registrada por la flota atunera mexicana en el pacífico oriental*. Tesis Maestría. CICIMAR-IPN, México. 108 p.
- Martínez-Rincón, R. O. 2012. *Efecto de la variabilidad ambiental en la distribución de las capturas incidentales de pelágicos mayores en el Océano Pacífico Oriental*. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, México. 100 p.
- Massutí, E.; B. Morales-Nin. 1991. La pesca de la llampugan (*Coryphaena hippurus*) en Mallorca. *Informes técnicos-Instituto Español de Oceanografía.*, 96: 3-18.
- Massutí, E. y B. Morales-Nin. 1995. Seasonality and reproduction of dolphin-fish (*Coryphaena hippurus*) in the western Mediterranean. *Sci. Mar.*, 59(3-4): 357-364.
- Massutí, E., B. Morales-Nin y J. Moranta. 1999. Otoliths microstructure a growth patterns of dolphin *Coryphaena hippurus* in Western Mediterranean. *Fish. B-NOAA.*, 97: 891-899.

- McGurk, M. D. 1986. Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: role of spatial patchiness. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 34: 227-242.
- Mello, L. G. S. y G. A. Rose. 2005. Using geostatistics to quantify seasonal distribution and aggregation patterns of fishes: an example of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62: 659-670.
- Naoum, S. y I. K. Tsanis. 2004. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. *Global Nest. J.*, 6: 1-20.
- Nelson, J. S., 2006. Fishes of the World. John Wiley & Sons, New York. 601 p.
- Norton, J. G. 1999. Apparent hábitat extensions of dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) in response to climate transients in the California Current. *Sci. Mar.*, 63: 239-260.
- Oro, M. G. 1999. El Dorado (*C. hippurus* y *C. equiselis*). La Pesca deportiva en México (Por la pesca libre y responsable). <http://www.pesca.org.mx/articulos/dorado1.html>
- Ortega-García S. 2000. Proyecto: *Dinámica Poblacional del Dorado Coryphaena hippurus en la zona vestibular del Golfo de California*. Boletín No. 74. CICIMAR-IPN, México.
- Palko, B. J., G. L. Beardsley y W. J. Richards. 1982. *Synopsis of the biological data on dolphin-fishes, Coryphaena hippurus Linnaeus and Coryphaena equiselis Linnaeus*. FAO Fish. Synop 130. NOAA Tech. Memo NMFS Circ. 443: 1-28.
- Peralta, M. R. 2006. Análisis comparativo de los parámetros de crecimiento del dorado (*Coryphaena hippurus*) en dos áreas del pacífico central oriental. Tesis Maestría. CICIMAR-IPN, México. 69 p.
- Petitgas, P. 1996. Geostatistics and their applications to fisheries survey data 5: 114-142. En: Megrey, B. A. y E. Mosknes (Eds.), *Computers and fisheries research*. Springer-Verlag, New York. 432 p.
- Petitgas, P. 2001. Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. *Fish Fish.*, 2: 231-249.
- Richardson, D. E., R. K. Cowen, E. D. Prince y S. Sponaugle. 2009. Importance of the Straits of Florida spawning ground to Atlantic sailfish (*Istiophorus platypterus*) and blue marlin (*Makaira nigricans*). *Fish. Oceanogr.*, 18(6): 402-418.
- Richardson, D. E., J. K. Llopiz, C. M. Guigand y R. K. Cowen. 2010. Larval assemblages of large and medium-sized pelagic species in the Straits of Florida. *Prog. Oceanogr.*, 86: 8-20.
- Rilling, G. C. y E. D. Houde. 1999. Regional and temporal variability in distribution and abundance of bay anchovy (*Anchoa mitchilli*) eggs, larvae, and adult biomass in the Chesapeake Bay. *Estuaries*, 22(4): 1096-1109.
- Rivoirard, J., J. Simmonds, K. G. Foote, P. Fernandes y N. Bez. 2000. Geostatistics for Estimating Fish Abundance. Blackwell Science, London. 206 p.
- Rodríguez-Fonseca, J. 2001. Diversidad y distribución de los cetáceos de Costa Rica (Cetacea: Delphinidae, Physeteridae, Ziphiidae y Balaenopteridae). *Rev. Biol. Trop.*, 49 (2): 135-143.

- Rose, C. D. y W. W. Hassler. 1968. Age and growth of the dolphin *Coryphaena hippurus* (Linnaeus), in North Carolina waters. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 97: 271- 276 p.
- Rose, C. D. y W. W. Hassler. 1974. Food Habbits and sex ratios of Dolphin *Coryphaena hippurus* captured in the western Atlantic Ocean off Hattera, North Carolina. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 103: 94-100.
- Sabatés, A. 1990. Distribution pattern of larval fish populations in the Northwestern Mediterranean. *Mar. Ecol-Prog. Ser.*, 59: 75-82.
- SAGARPA. 2012. Carta Nacional Pesquera 2012. INAPESCA, México. 128 p.
- Sánchez, N. 2008. *Distribución de larvas de Dorado Coryphaena hippurus (Linnaeus, 1758) y Coryphaena equiselis (Linnaeus, 1758) en el Pacífico Oriental Mexicano*. Tesis Maestría. CICIMAR-IPN, México. 106 p.
- Santana, H. 2001. *Estructura de la comunidad de pelágicos mayores capturados con palangre en el pacífico mexicano (1983- 1996) y su relación con la temperatura superficial del mar*. Tesis de Doctorado. UCOL, México. 123 p.
- Sampey, A., M. G. Meekan, J. H. Carleton, A. D. McKinnon y M. I. McCormick. 2004. Temporal patterns in distributions of tropical fish larvae on the North-west Shelf of Australia. *Mar. Freshwater Res.*, 55: 473-487.
- Shchervachev, Y. N. 1973. The biology and distribution of the dolphin (Pisces, Coryphaenidae). *J. Ichthyol.*, 13(2): 182-191.
- Simms, J. R., J. R. Rooker, S. A. Holt, G. J. Holt y J. Bangma. 2010. Distribution, growth, and mortality of sailfish (*Istiophorus platypterus*) larvae in the northern Gulf of Mexico. *Fish. Bull.*, 108:478-490.
- Sinovčić, G., V. Čikeš keč y B. Zorica. 2008. Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River estuary, Croatia). *Est. Coast. Shelf Sci.*, 76: 739-744.
- Somarakis, S., P. Drakopoulos y V. Filippou. 2002. Distribution and abundance of larval fish in the Northern Aegean Sea - eastern Mediterranean - in relation to early summer oceanographic conditions. *J. Plank. Res.*, 24(4):339-357.
- Tibbo, S. N. 1962. New records for occurrence of the white-tip shark *Pterolamiops longimanus* (Poey), and the dolphin *Coryphaena hippurus* L., in the northwest Atlantic. *J. Fish. Res. Board Can.*, 19(3): 517-518.
- Tripp-Valdéz, M. A. 2009. *Análisis de la estructura genética poblacional del dorado (Coryphaena hippurus; Linnaeus, 1758) en el noroeste del Pacífico mexicano y Golfo de California mediante el uso de microsatélites*. Tesis de Maestría. CIBNOR, México. 106 p.
- Uchiyama, J. H., R. K. Burch y S. A. Kraul. 1986. Growth of dolphins, *Coryphaena hippurus* and *Coryphaena equiselis*, in Hawaiian waters as determined by daily increments on otoliths. *Fish. Bull.*, 84(1): 186-191.
- Uchiyama, J. H., R. A. Skillman y J. D. Sampaga. 1992. Preliminary results on the larval distribution of *Coryphaena hippurus*, *C. equiselis*, and other pelagic management unit species in Hawaiian waters. Southwest Fisheries Science Center Administrative Report H-92-04. 74 p.
- Velázquez-Muñoz, F. A., J. A. Martínez, C. Chavanne, R. Durazo y P. Flament. 2011. Wind-driven coastal circulation in the Gulf of Tehuantepec, Mexico

- Circulación costera forzada por el viento en el golfo de Tehuantepec, México. *Cienc. Mar.*, 37(4A): 443-456.
- Vilchis, L. I., L. T. Balance y W. Watson. 2009. Temporal variability of neustonic ichthyoplankton assemblages of the eastern Pacific warm pool: Can community structure be linked to climate variability? *Deep-Sea Res.*, 56(1): 125-140.
- Wang, C. y P. C. Fiedler. 2006. ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 239-266.
- Walker, B. W. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. *Syst. Zool.*, 9(3): 123-133.
- Warrick, A. W., D. E. Myers y D. R. Nielsen. 1986. Geostatistical Methods Applied to Soil Science, 53-81. En: *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. 1358 p.
- Wiemker, R., B. Prinz, G. Meister, R. Franck y H. Spitzer. 1998. *Accuracy assessment of vegetation monitoring with high spatial resolution satellite imagery*. International Symposium on Resource and Environmental Monitoring – Local, Regional, Global. 8 p.
- Wood, S. N. 2006. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman and Hall/CRC, Florida. 410 p.
- Zúñiga-Flores, M. S. 2009. *Dinámica poblacional del dorado (Coryphaena hippurus) en baja california sur, México: implicaciones para su manejo*. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, México. 203 p.

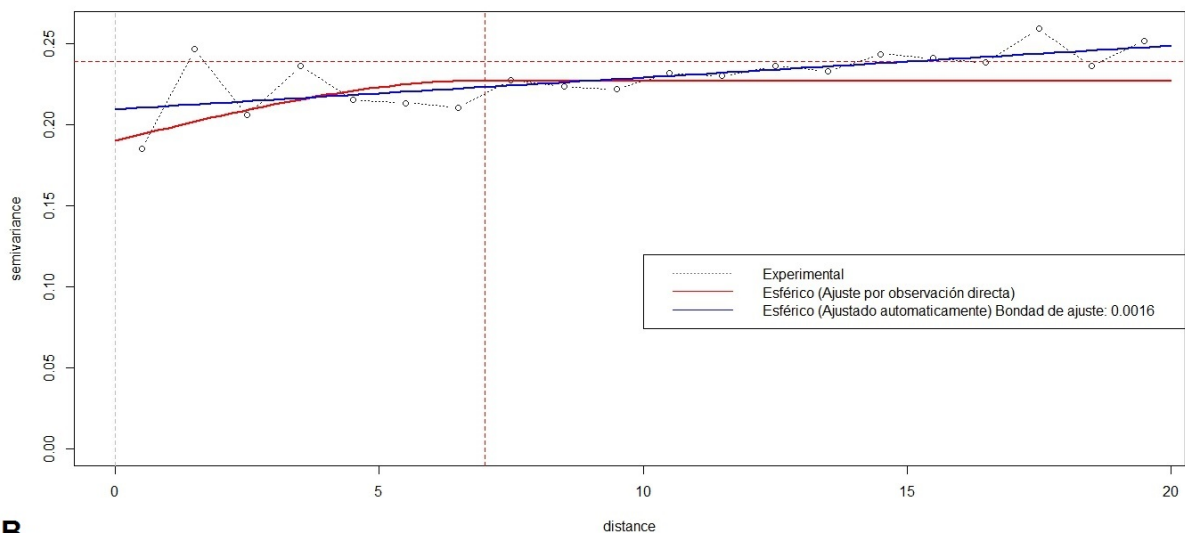
Anexo 1

Reportes técnicos NOAA Eastern Tropical Pacific Dolphin Survey

- Ambrose, D. A., R. L. Charter, H. G. Moser y S. B. Reilly. (2000). Ichthyoplankton and station data for surface tows taken during the 1988 eastern tropical Pacific dolphin survey on the research vessels David Starr Jordan and McArthur. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFC-288. 40 p.
- Ambrose, D. A., R. L. Charter, H. G. Moser, S. R. Charter y W. Watson. (2002). Ichthyoplankton and Station Data for Surface (Manta) and Oblique (Bongo) Plankton Tows Taken During a Survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean, July 30 - December 9, 1998. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFSC-337. 126 p.
- Ambrose, D. A., R. L. Charter, H. G. Moser, B. S. MacCall y W. Watson. (2002). Ichthyoplankton and Station Data for Surface (Manta) and Oblique (Bongo) Plankton Tows Taken During a Survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean July 28 - December 9, 2000. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFSC-342. 130 p.
- Charter, S. R., R. L. Charter, H. G. Moser y S. B. Reilly. (2000). Ichthyoplankton and station data for surface tows taken during the 1989 eastern tropical Pacific dolphin survey on the research vessels David Starr Jordan and McArthur. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFC-289. 45 p.
- Moser, H. G., R. L. Charter, S. B. Reilly, D. A. Ambrose, S. R. Charter, E. M. Sandknop y W. Watson. (2000). Ichthyoplankton and station data for surface tows taken during the 1987 eastern tropical Pacific dolphin survey on the research vessels David Starr Jordan and McArthur. NOAA-TM-NMFS-SWFC-287. 45 p.
- Sandknop, E.M., R. L. Charter, H. G. Moser y S. B. Reilly. (2000). Ichthyoplankton and station data for surface tows taken during the 1990 eastern tropical Pacific dolphin survey on the research vessels David Starr Jordan and McArthur. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFC-290. 46 p.
- Watson, W., R. L. Charter, H. G. Moser y S. B. Reilly. (2000). Ichthyoplankton and station data for surface tows taken during the 1992 eastern tropical Pacific dolphin survey on the research vessels David Starr Jordan and McArthur. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFC-291. 50 p.
- Watson, W., E. M. Sandknop, S. R. Charter, D. A. Ambrose, R. L. Charter y H. G. Moser. (2002). Ichthyoplankton and Station Data for Surface (Manta) and Oblique (Bongo) Plankton Tows Taken During a Survey in the Eastern Tropical Pacific Ocean July 28 - December 9, 1999. NOAA-Technical Memorandum-NMFS-SWFSC-338. 96 p.

Anexo 2

A.



B.

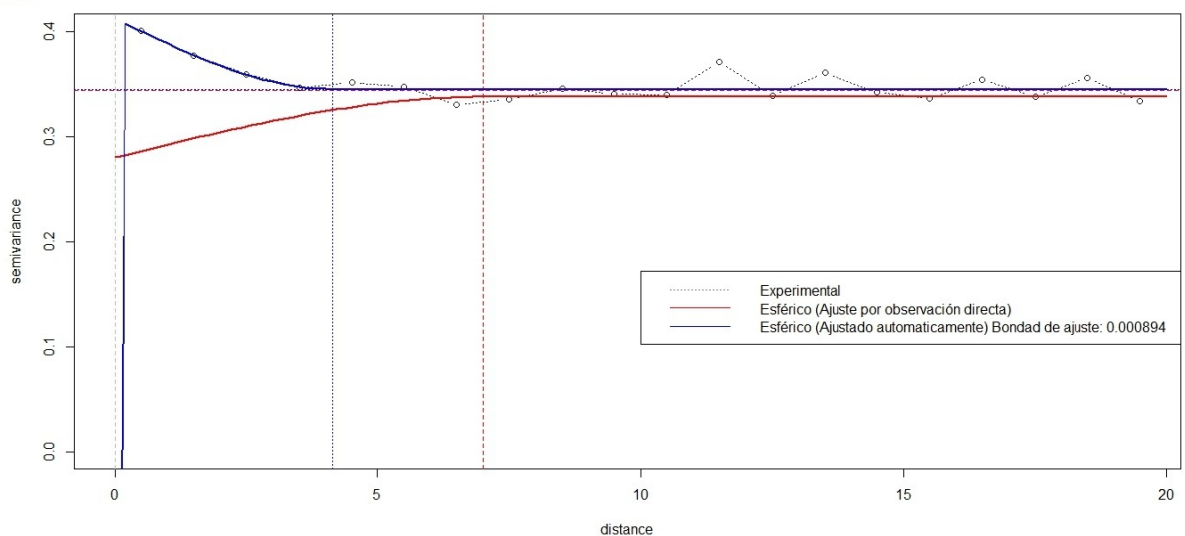
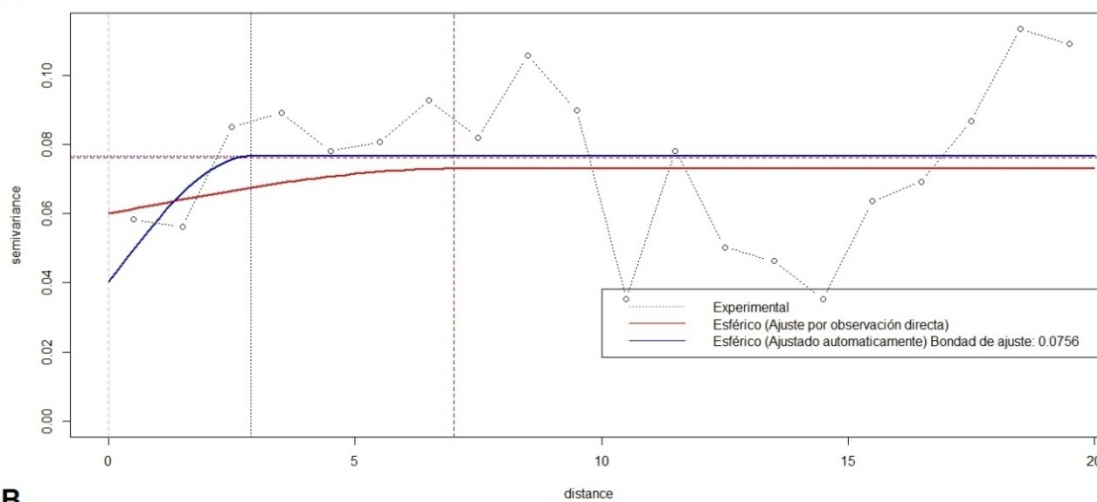


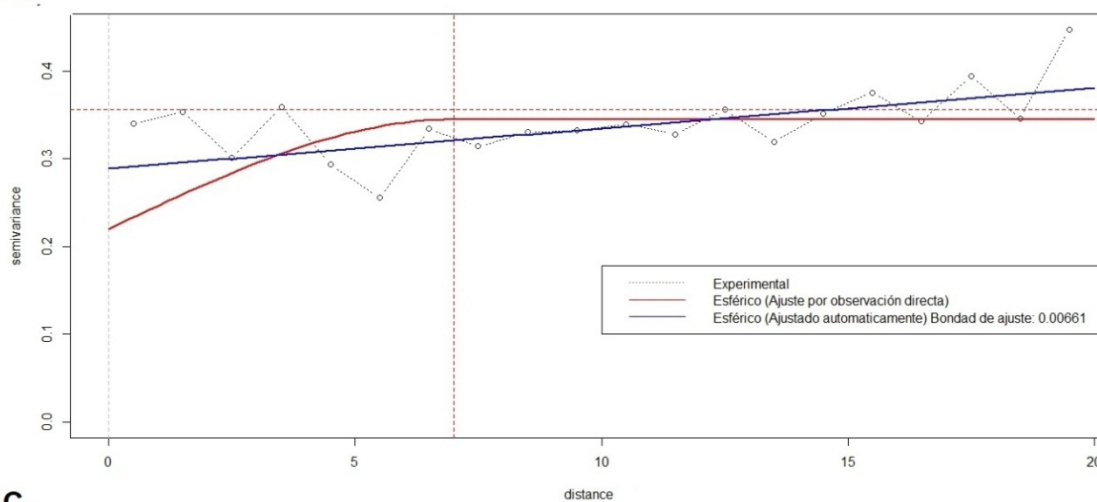
Figura 24. Análisis variográficos de *C. hippurus* (A) y *C. equiselis* (B) en el Pacífico Central Oriental para un año arquetipo representativo del periodo septiembre-noviembre de 7 años de muestreo (1987-1990 y 1998-2000).

Anexo 3

A.



B.



C.

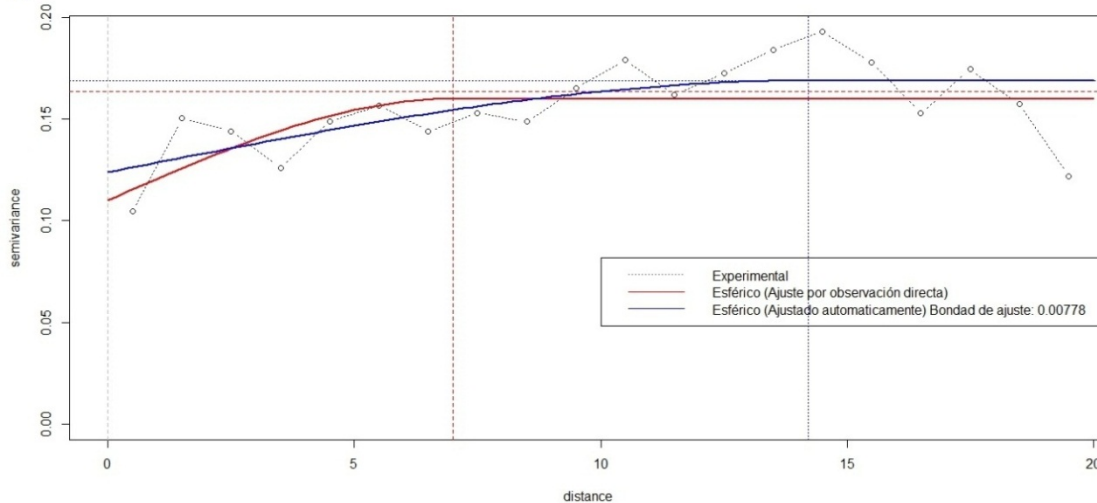


Figura 25. Análisis variográficos de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental en condiciones El Niño (A), "Normales" (B) y La Niña (C).

Anexo 4

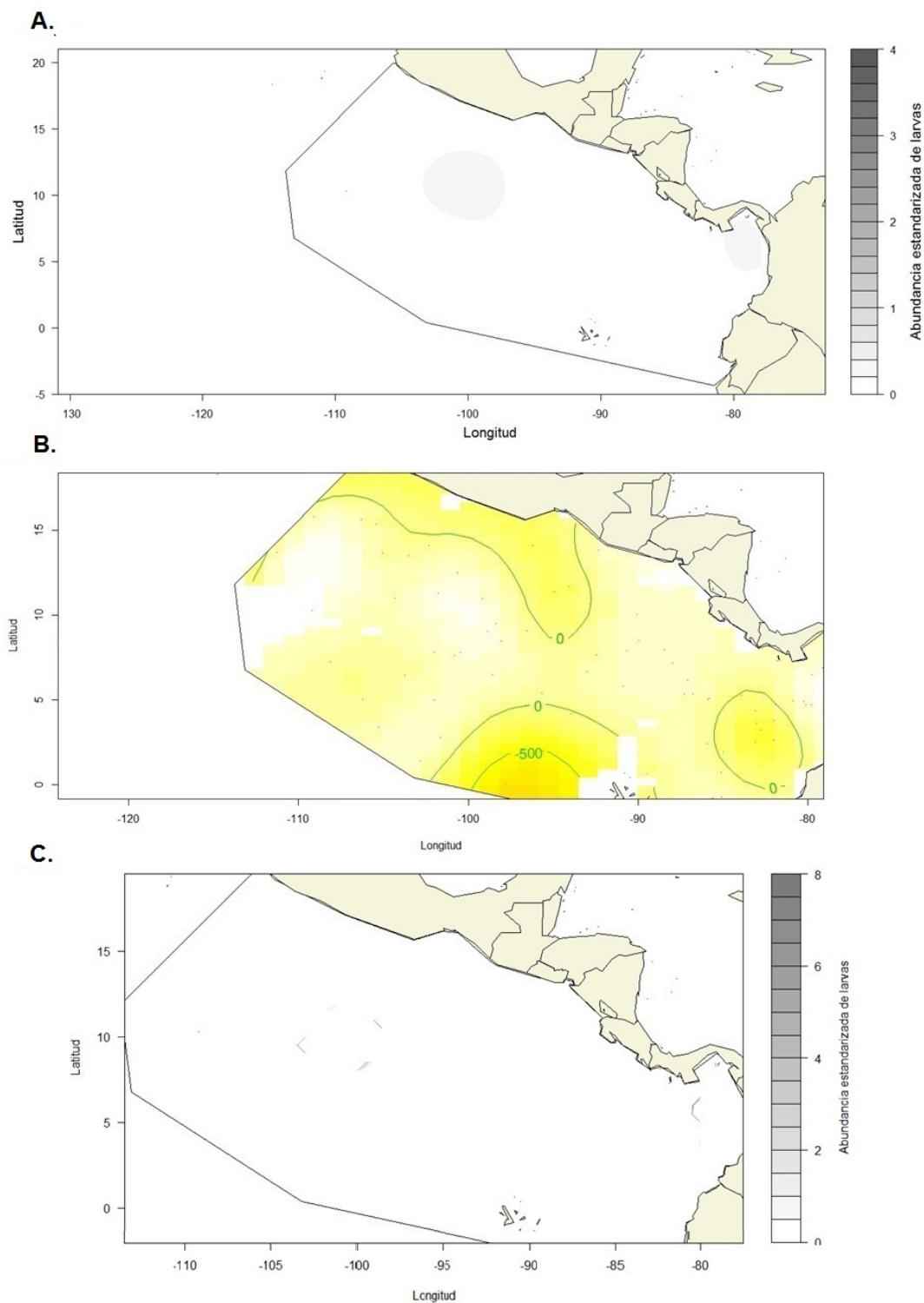


Figura 26. Distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones El Niño.

Anexo 5

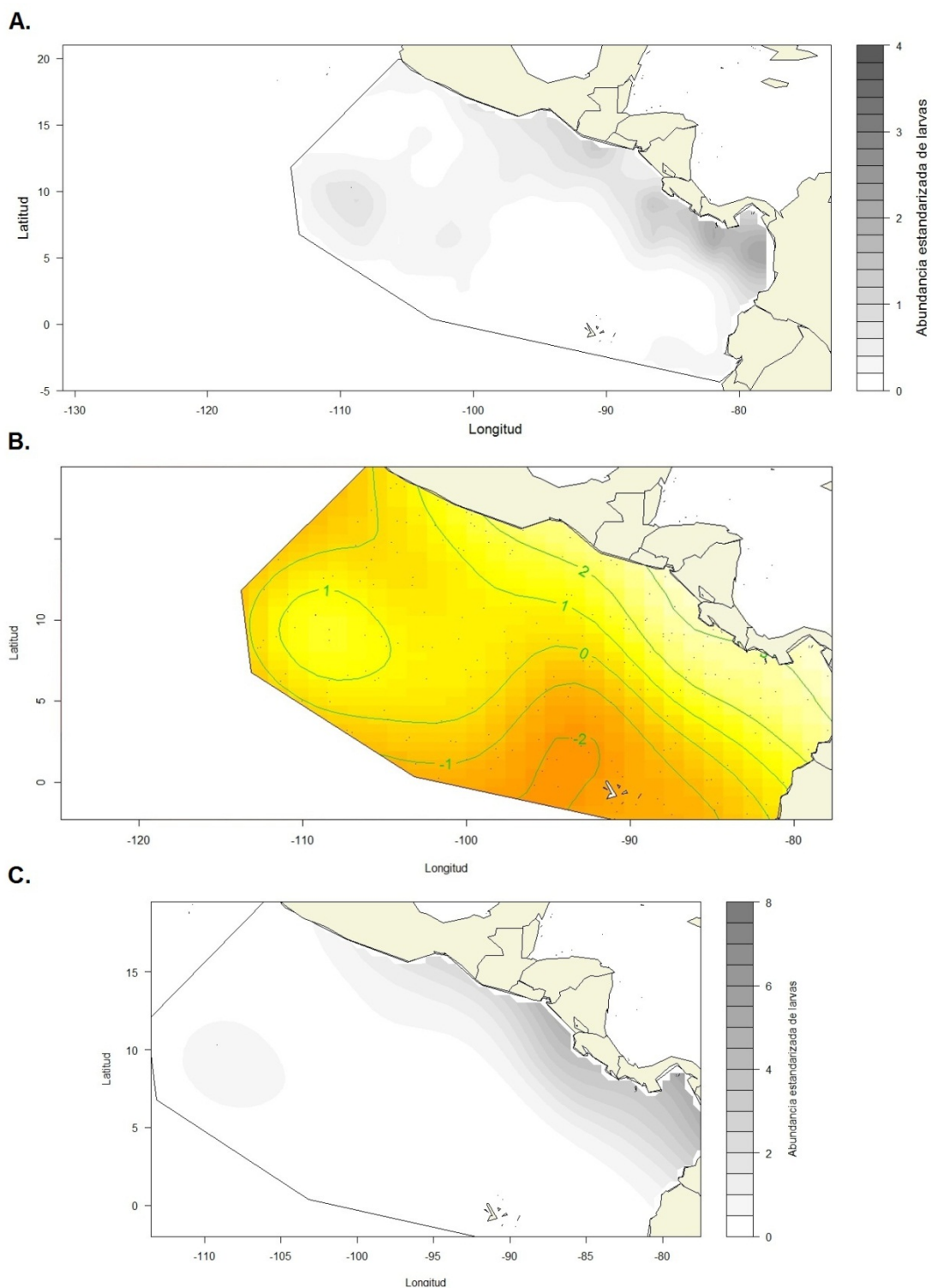


Figura 27. Distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones “Normales”.

Anexo 6

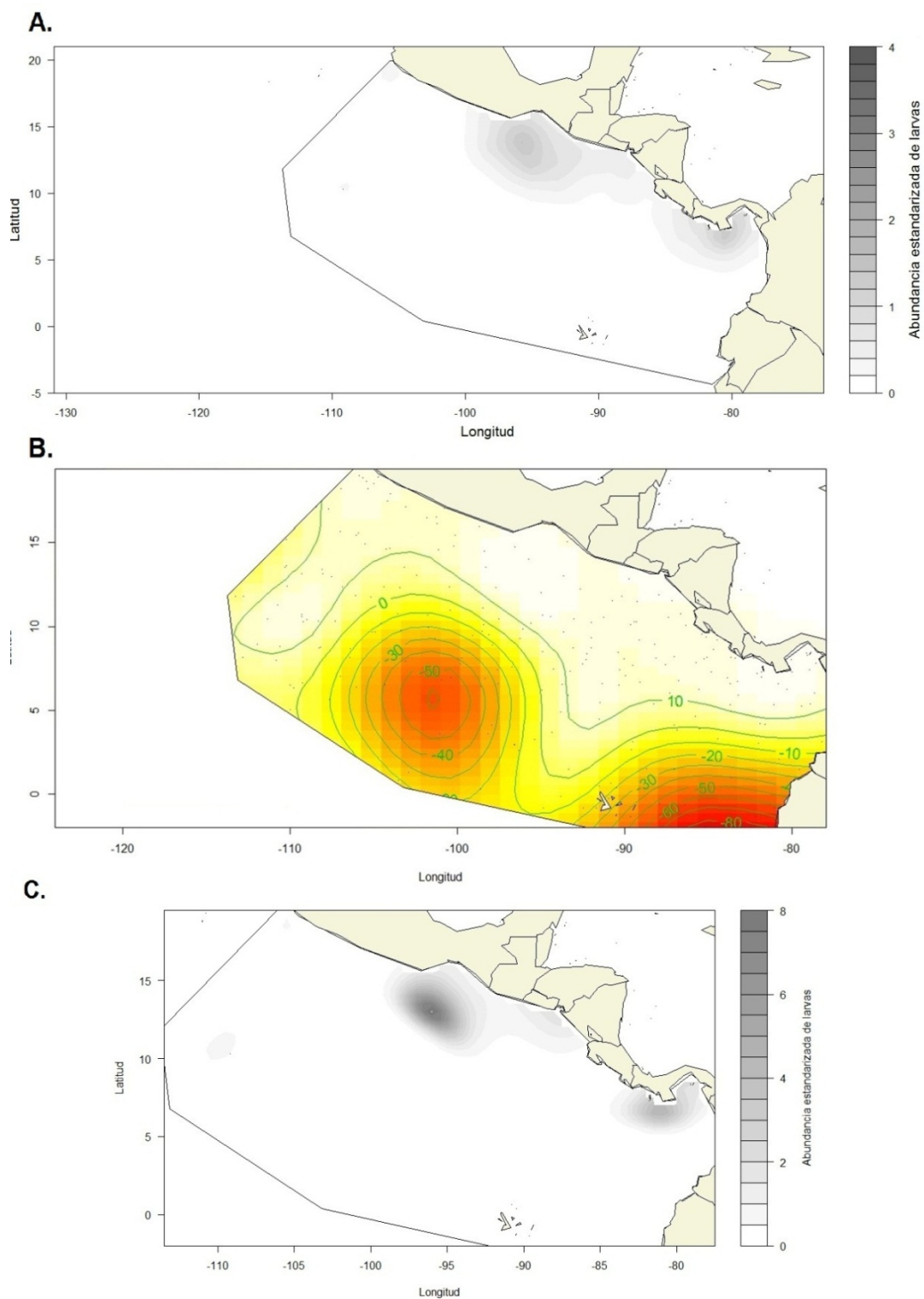
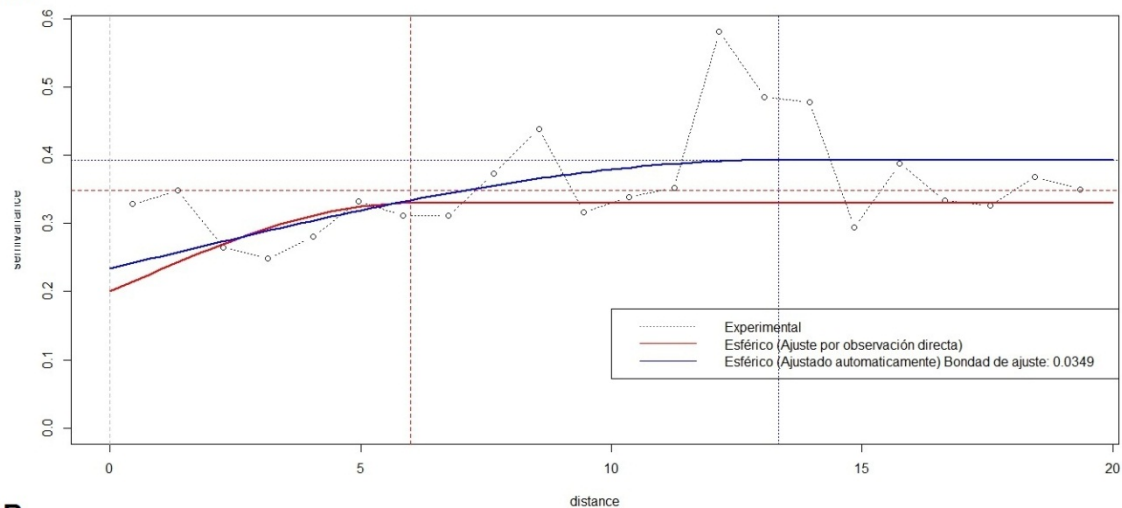


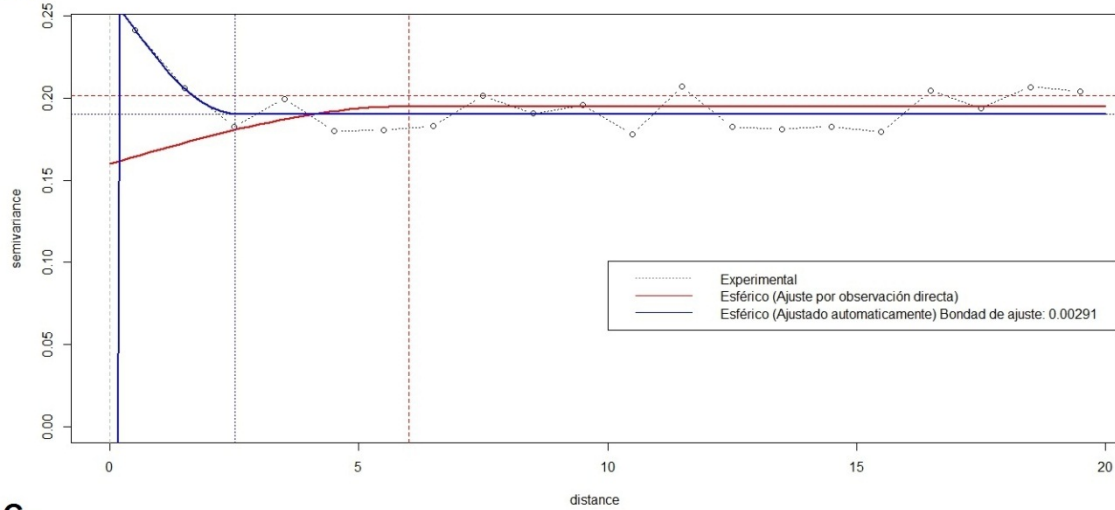
Figura 28. Distribución de la abundancia de larvas de *C. hippurus* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones La Niña.

Anexo 7

A.



B.



C.

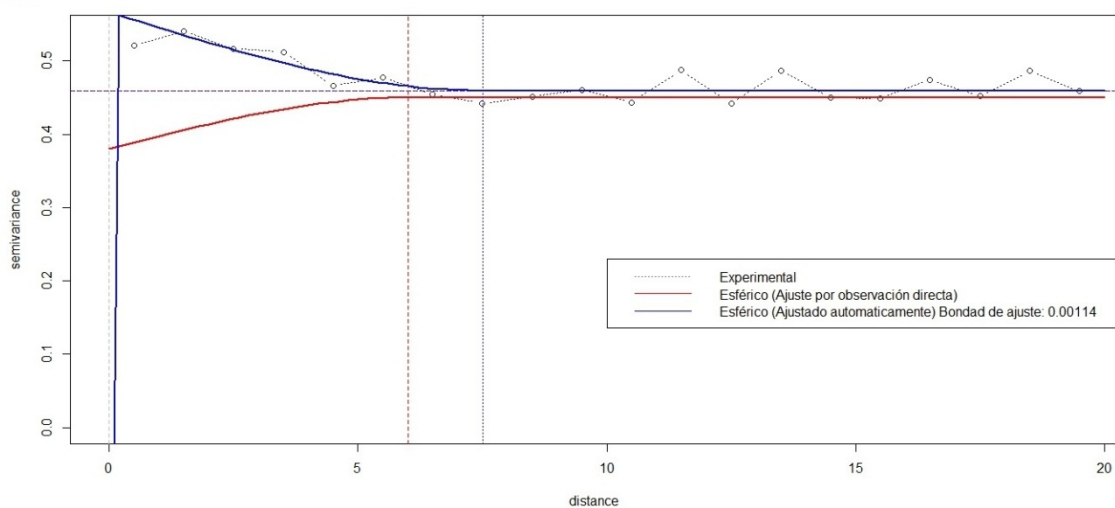


Figura 29. Análisis variográficos de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental en condiciones El Niño (A), "Normales" (B) y La Niña (C).

Anexo 8

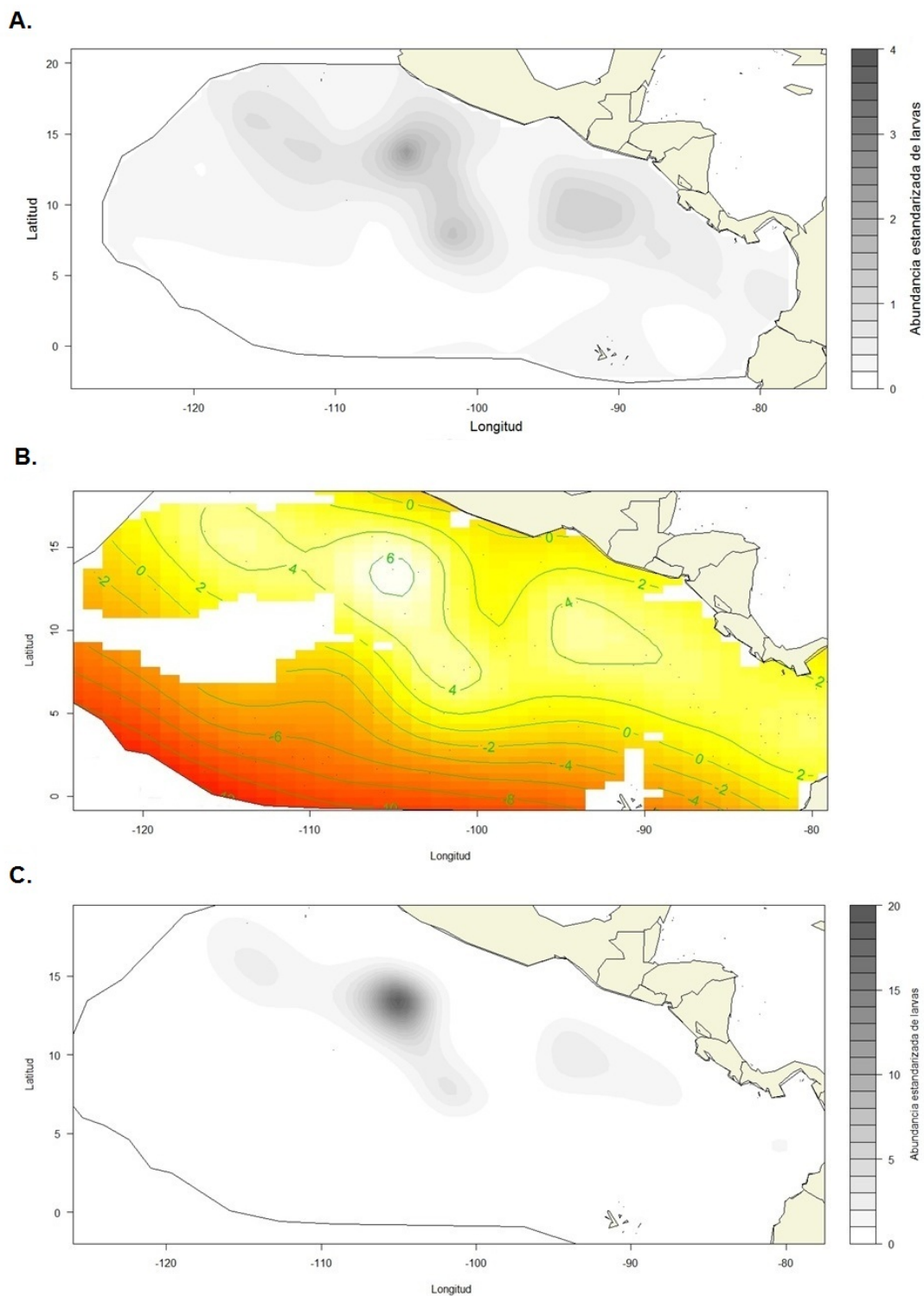


Figura 30 Distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones El Niño.

Anexo 9

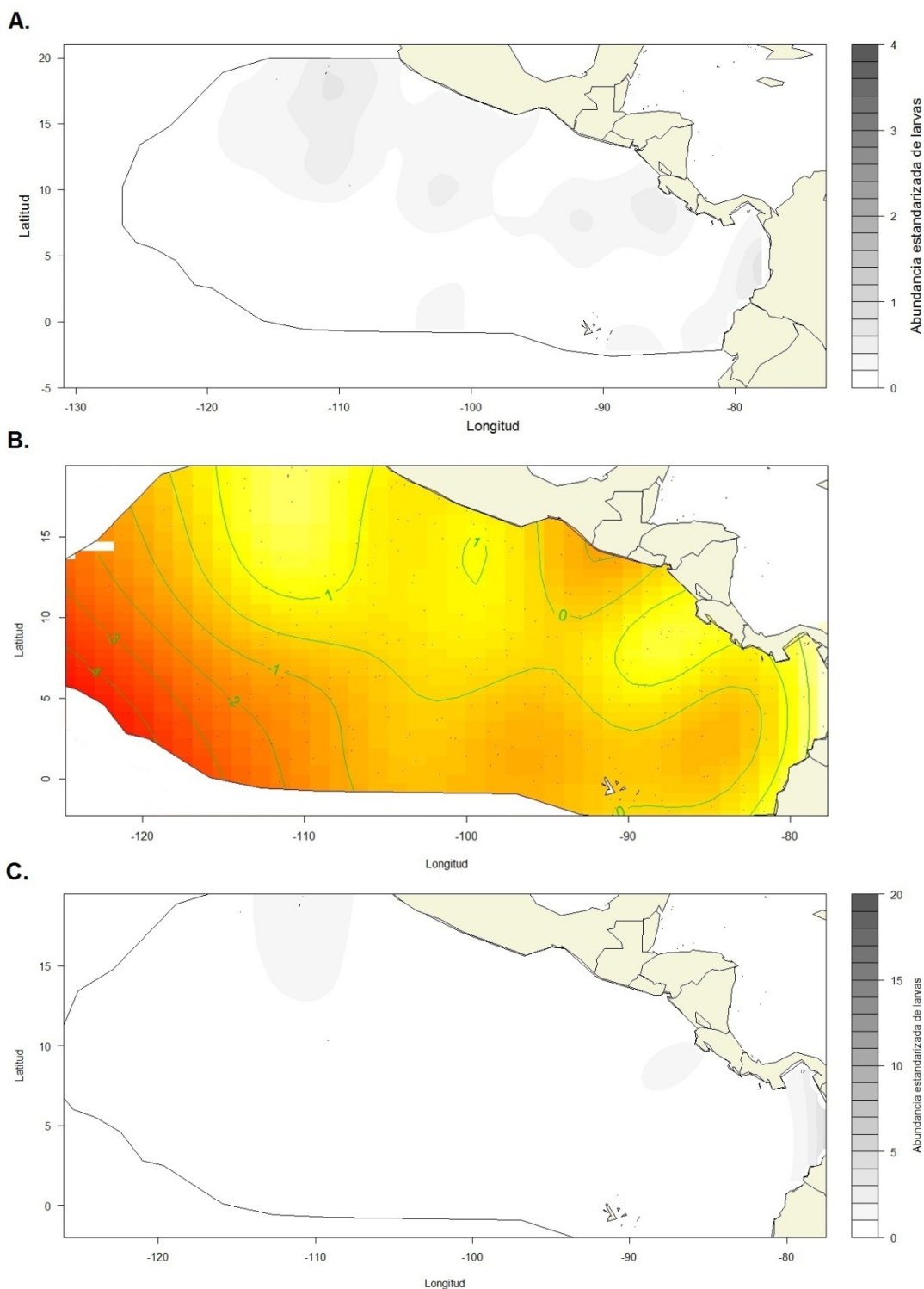


Figura 31. Distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones “Normales”.

Anexo 10

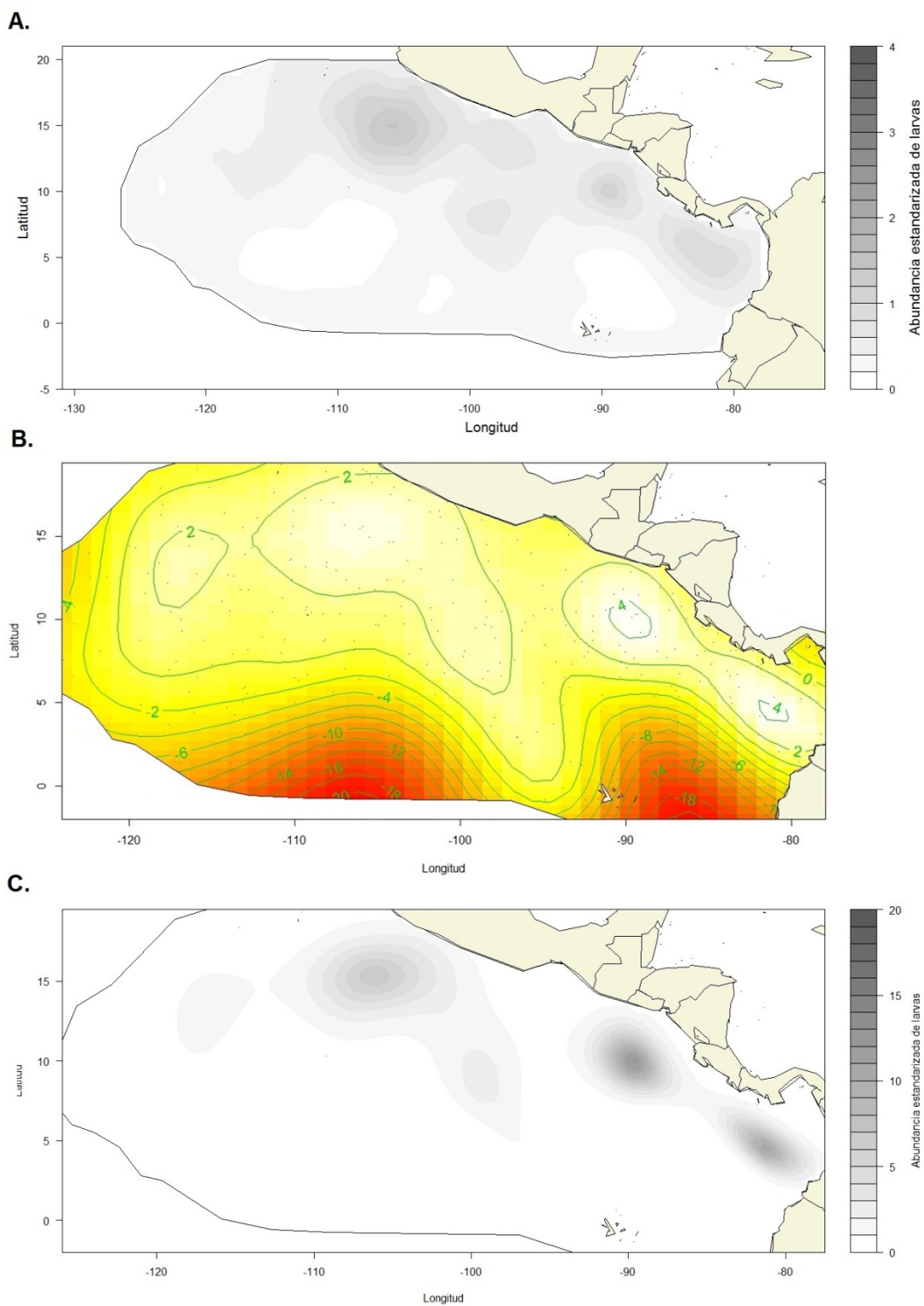


Figura 32. Distribución de la abundancia de larvas de *C. equiselis* en el Pacífico Central Oriental, empleando interpolación Kriging (A); valores del predictor lineal del MAG (B) y valores predichos por el MAG (C) en función de variables espaciales, durante condiciones La Niña.