



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR  
ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR  
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA  
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

## TESIS

# PROPUESTA DE ZONACIÓN DEL GOLFO DE CALIFORNIA CON BASE EN VARIABLES OCEANOGRÁFICAS Y DISTRIBUCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS**  
CON ORIENTACIÓN EN BIOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

**DAVID PETATÁN RAMÍREZ**

DIRECTOR:

**DR. HÉCTOR REYES BONILLA**

**LA PAZ, B.C.S. ENERO DE 2015**



**BIOLOGÍA MARINA  
CIMACO**  
Posgrado en Ciencias Marinas y  
Costeras  
PNPC

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR**

Fecha: 14/08/2014

**DR. ENRIQUE A. GÓMEZ GALLARDO UNZUETA**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA**  
**PRESENTE.**

Los abajo firmantes, Miembros de la Comisión Revisora del trabajo de tesis completamente terminado, titulado:

"Propuesta de zonación del Golfo de California con base en variables oceanográficas y distribución de macro invertebrados"

que presentó:

David Petatán Ramírez

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su **defensa**, a fin de obtener el **Grado de Maestro** en Ciencias Marinas y Costeras, con Orientación en Bioología Marina.

Comisión Revisora:

<u>Dr. Héctor Reyes Bonilla</u>	<u>Héctor Reyes Bonilla</u>
Nombre del Director	Firma
<u>Dra. Laura Sánchez Velasco</u>	<u>[Firma]</u>
Nombre del Asesor	Firma
<u>Dr. Genaro Martínez Gutiérrez</u>	<u>[Firma]</u>
Nombre del Asesor	Firma



c.c.p Expediente del alumno (CIMACO)

*A Denisse, Luis Ángel, Eduardo y Alondra.*

## Agradecimientos

Gracias a CONACyT por la beca de manutención (267516) y la beca mixta otorgada para movilidad nacional y en el extranjero (290748 y 290749), a los proyectos de CONABIO (JM065) y CONACYT-CB (183534) a cargo del Dr. Héctor Reyes Bonilla, al COSCyT y al XIV Ayuntamiento de La Paz por el apoyo económico para la asistencia a congresos.

Gracias a mi comité de tesis, en especial a mi director, el Dr. Héctor Reyes, gracias por todo el apoyo, tiempo y paciencia que me tuviste, no pude elegir a un mejor guía que tú para entrar a este mundo nuevo para mí. A mis asesores, la Dra. Laura Sánchez y el Dr. Genaro Martínez, lo mismo, gracias por el apoyo y las valiosas observaciones que enriquecieron el desarrollo de este trabajo. De verdad gracias!

Gracias a Rick Brusca, por recibirme en la Universidad de Arizona para la estancia, sin duda por algo eres *el papá de los pollitos*, gracias por todo tu apoyo y tus comentarios que lograron darme una idea más clara de lo que había que hacer. Por su puesto un enorme gracias a la familia Frisby (Matty, Tommy, Iván, Grecia y Jorge), que se convirtió en mi familia adoptiva durante mi estancia, de verdad muchísimas gracias por todos los buenos recuerdos.

Al Dr. Saúl Álvarez Borrego, gracias Saúl por creer en mí, por aceptarme para la estancia en CICESE, por tu tiempo, tus observaciones y tus consejos, sin duda eres un gran investigador y una gran persona. Gracias a Orión y Cecilia, por recibirme en mis idas a Ensenada, por su apoyo, por su amistad, ¡Gracias!

A mis maestros y compañeros de clases, que me ayudaron a conocer un poco de todo esto, y desde luego, a todos mis compañeros de laboratorio, con los cuales he aprendido mucho más que solo ciencia, gracias por apoyarme, por ayudarme, por aguantarme, aunque hubo momentos en los que quería abandonar todo, al final, lo hemos logrado. Agradecimiento especial a Gaby, Triana, Sara y Daniel, por su ayuda y su amistad.

A los amigos, Isma, Jorge, Andrés, Adrián, Denise y Juan por su amistad, por su apoyo incondicional, por sus consejos, por todos los buenos momentos que hemos vivido y los que están por venir. Gracias...

A todas aquellas personas que he ido conociendo en esta nueva etapa, de las cuales solo he recibido apoyo, crítica constructiva, que me han brindado su amistad, su ayuda y su conocimiento para enriquecer este trabajo. Esta tesis no es más que el resultado de ese apoyo colectivo, muchas gracias.

# ÍNDICE GENERAL

## Página

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	i
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iii
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	5
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	15
<b>OBJETIVOS</b> .....	17
Objetivo General .....	17
Objetivos Específicos .....	17
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	18
<b>METODOLOGÍA</b> .....	21
Información oceanográfica .....	22
Información oceanográfica vía sensores remotos .....	23
Información oceanográfica in situ .....	24
Información Biológica .....	25
Regionalización del Golfo de California .....	27
Regionalización oceanográfica .....	27
Regionalización biológica .....	28
Biomás del Golfo de California .....	29
<b>RESULTADOS</b> .....	30
Regionalización oceanográfica .....	30
Características de las regiones oceanográficas .....	33
Variabilidad mensual de las regiones oceanográficas .....	38
Variables medidas in situ .....	46
Regionalización biológica .....	47
Regionalización a nivel phylum .....	47
Regionalización general de macroinvertebrados .....	53

Biomás del Golfo de California.....	55
<b>DISCUSIÓN</b> .....	57
Regionalización oceanográfica .....	57
Regionalización biológica .....	63
Los biomas del Golfo de California.....	67
<b>CONCLUSIONES</b> .....	70
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	72
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	73
<b>ANEXO I</b> .....	86
<b>ANEXO II</b> .....	87
<b>ANEXO III</b> .....	88
<b>ANEXO IV</b> .....	89
<b>ANEXO V</b> .....	90
<b>ANEXO VI</b> .....	91
<b>ANEXO VII</b> .....	92
<b>ANEXO VIII</b> .....	93
<b>ANEXO IX</b> .....	94
<b>ANEXO X</b> .....	95
<b>ANEXO XI</b> .....	96

## LISTA DE FIGURAS

### Página

<b>Figura 1</b> - Regiones biogeoquímicas del océano propuestas por Longhursts (1995). Modificado de IOCCG (2009). .....	2
<b>Figura 2</b> - Ecorregiones del mundo. Modificado de Spalding y colaboradores (2007).	3
<b>Figura 3</b> - División geográfica de acuerdo con: (A) Sverdrup, 1941 con líneas rojas. Roden y Emilsson, 1979 con líneas verdes. (B) Walker, 1960. (C) Thomson y colaboradores, 2000.....	6
<b>Figura 4</b> - División geográfica de acuerdo con: (A) Gilbert y Allen, 1943. (B) Round, 1967. ....	10
<b>Figura 5</b> - División geográfica de acuerdo con: (A) Santamaría del Ángel y colaboradores, 1994. (B) Lluch-Cota y Arias-Aréchiga, 2000. (C) Lavín y Marinone, 2003. ....	11
<b>Figura 6</b> - División geográfica de acuerdo con: (A) Kahru y colaboradores, 2004. (B) Hidalgo-González y Álvarez-Borrego, 2004, con líneas roja regionalización de invierno, con línea azul regionalización de verano. (C) Ulloa y colaboradores, 2006. ....	12
<b>Figura 7</b> - División geográfica de acuerdo con: (A) SEMARNAT, 2006. (B) Wilkinson y colaboradores, 2009.....	13
<b>Figura 8</b> - El Golfo de California, limitado al sur por una línea entre Cabo San Lucas, BCS, y Bahía de Banderas, Nayarit. ....	18
<b>Figura 9</b> - Rejilla de trabajo para la regionalización del Golfo de California a 9km <sup>2</sup> de resolución espacial.....	22
<b>Figura 10</b> - Distribución espacial de las mediciones in situ del periodo 1939 – 2007 obtenida de la NODC. ....	25
<b>Figura 11</b> - Índice de k – promedios para calcular el número de regiones oceanográficas del Golfo de California.....	30
<b>Figura 12</b> - Regionalización oceanográfica del Golfo de California. ....	31
<b>Figura 13</b> - Cobertura de las regiones oceanográficas.....	32
<b>Figura 14</b> - Dendrograma de similitud oceanográfica a nivel región.....	33

<b>Figura 15</b> - Variabilidad mensual de temperatura del Golfo de California a nivel región. .....	39
<b>Figura 16</b> - Variabilidad mensual de clorofila a del Golfo de California a nivel región. .....	40
<b>Figura 17</b> - Variabilidad mensual de atenuación de la luz del Golfo de California a nivel región. ....	41
<b>Figura 18</b> - Variabilidad mensual de radiación fotosintéticamente activa en el Golfo de California a nivel región. ....	42
<b>Figura 19</b> - Variabilidad anual del carbono inorgánico particulado en el Golfo de California a nivel región. ....	43
<b>Figura 20</b> - Variabilidad mensual de carbono orgánico particulado en el Golfo de California a nivel región. ....	44
<b>Figura 21</b> - Variabilidad mensual de la materia coloreada disuelta en el Golfo de California a nivel región. ....	45
<b>Figura 22</b> - Índice de k – promedios para los cinco fila seleccionados de macroinvertebrados del Golfo de California. ....	47
<b>Figura 23</b> - Riqueza específica de macroinvertebrados en el Golfo de California. ...	48
<b>Figura 24</b> - A) Regionalización del phylum Mollusca. B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. C) Riqueza de específica de especies a nivel región. ....	49
<b>Figura 25</b> - (A) Regionalización del phylum Echinodermata. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región. .....	50
<b>Figura 26</b> - (A) Regionalización del phylum Cnidaria. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región. ....	51
<b>Figura 27</b> - (A) Regionalización del phylum Arthropoda. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies. ....	52
<b>Figura 28</b> - (A) Regionalización del phylum Annelida. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región. ....	53
<b>Figura 29</b> - (A) Regionalización biológica del Golfo de California. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región. .....	54



<b>Figura 30</b> - (A) Biomas del Golfo de California. (B) Dendrograma de similitud oceanográfica entre biomas. (C) Dendrograma de similitud biológica entre biomas. (D) Riqueza de específica de especies a nivel bioma. ....	56
<b>Figura 31</b> - Componentes principales de las variables oceanográficas para la regionalización del Golfo de California. ....	61
<b>Figura 32</b> - Sedimentología del Golfo de California. (modificado de INAPESCA, 1994). ....	65

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>TABLA I</b> - Variables oceanográficas utilizadas para la regionalización. ....	23
<b>TABLA II</b> - Número de Invertebrados del Golfo de California por nivel taxonómico. ....	26
<b>TABLA III</b> - Lista de regiones oceanográficas del Golfo de California. ....	32
<b>TABLA IV</b> - valores promedio de las variables medidas <i>in situ</i> . ....	46

## RESUMEN

El Golfo de California (GC) es uno de los mares más diversos y productivos del mundo, de gran importancia económica para el país por las pesquerías y el turismo, por lo que se han realizado esfuerzos enfocados a su regionalización desde hace más de 50 años, con base en aspectos como la oceanografía o la distribución de algunos grupos faunísticos, sin que se lograra hasta el momento una regionalización única generada a partir de la combinación de los dos factores (oceanográfico/biológico) los cuales resultarían en regiones con mayor sustento al englobar ambas características. Es por esto que el objetivo de este trabajo es crear una zonación que fusione las dos características para la generación de los biomas marinos del Golfo de California, los cuales son regiones naturales que comparten las mismas características ambientales y biológicas, por lo que con base en información oceanográfica obtenida por sensores remotos y datos históricos obtenidos *in situ*, se generó una nueva zonación oceanográfica con 11 variables físico-químicas del cual se obtuvieron 14 regiones oceanográficas. Por otra parte, para la zonación biológica se generaron mapas de distribución geográfica de cinco grupos de invertebrados (Mollusca, Arthropoda, Cnidaria, Echinodermata y Annelida) con más de 3,400 especies y se generó la zonación que tiene cada grupo en el GC para finalmente generar la zonación general de macroinvertebrados, generada a partir de las distintas zonas obtenidas de cada grupo ponderado a partir de la contribución (número de especies) de cada uno de los fila. Se encontró que las regiones siguen un patrón estacional para la mayoría de las variables ambientales, mientras que la distribución de especies mantiene un gradiente de sur a norte altamente relacionado con el tipo de sedimentos, la profundidad y el tipo de costa. Finalmente, para la generación de los biomas marinos se consideró a la zonación oceanográfica con un 50% de contribución y a los fila con el otro 50% obteniendo un total de 10 biomas, de los cuales cuatro corresponden a la zona costera y seis a la zona oceánica, estos últimos presentaron menor variabilidad ambiental, además de una diversidad más baja, relacionados a la presencia de cuencas. Respecto a los biomas costeros, el cambio es principalmente latitudinal, todos con presencia en la costa peninsular y la continental.

## INTRODUCCIÓN

Históricamente los mares del mundo han sido subdivididos en zonas o regiones para poder estudiarlos, entenderlos y administrarlos. Las zonificaciones obedecen a diversos objetivos y por ello han incluido por separado parámetros físicos o biológicos, buscando la organización de un área o zonas con características similares u homogéneas que funcionen a escalas definidas (Córdova *et al.*, 2006; Callejas-Jiménez *et al.*, 2012).

Estas divisiones han sido efectuadas incluso a escala planetaria, y se siguieron diferentes enfoques. Por ejemplo, Dietrich (1957) propuso una regionalización de los océanos del mundo por las condiciones ambientales de la superficie, ya que las consideró de mayor importancia para el ser humano; el autor, delimitó siete regiones hidrográficas, descartando mares marginales al considerarlos de transición del margen costero, y dejando solamente a los océanos. Longhurst y colaboradores en 1995 realizaron estimaciones de la producción primaria global con datos de concentración pigmentaria obtenidos del sensor CZCS (Coastal Zone Color Scanner) y mediciones en campo, determinaron a partir de un análisis numérico 57 provincias repartidas en cuatro dominios (fig. 1). Finalmente, Spalding y colaboradores (2007) con base en la distribución de la biota bentónica y pelágica crearon una regionalización global de la zona costera y plataforma continental ya que las consideran de mayor diversidad de especies y de alta productividad, del cual obtuvieron 12 reinos, 62 provincias y 232 ecorregiones (fig. 2).

Para realizar una aproximación de regionalización marina, distintos trabajos alrededor del mundo han hecho uso de variables ambientales que pueden venir de dos fuentes: datos directos, los cuales son medidos *in situ*, o indirectos, derivados de sensores que cuantifican el color del océano (Millán-Núñez *et al.*, 2006). Estos últimos tienen la desventaja de que los sensores son capaces de tomar datos únicamente de la primera profundidad óptica del océano (aproximadamente el 22% de la zona eufótica; Álvarez-Borrego, 1995; Hidalgo-González y Álvarez-Borrego, 2004), pero por otra parte dan la opción de tener información con un corto retraso de tiempo y a grandes escalas espaciales (Santamaría del Ángel *et al.*, 2010). En contraste, los datos

medidos *in situ* son precisos pero presentan el problema de no contar con un monitoreo espacio temporal adecuado, debido al alto costo operativo que tiene el llevar a cabo la toma de muestras (Callejas-Jiménez *et al.*, 2012). Por lo anterior, la mayoría de los estudios de regionalización marina basados en aspectos ambientales se han llevado a cabo con datos medidos por satélite. (Callejas-Jiménez *et al.*, 2012).

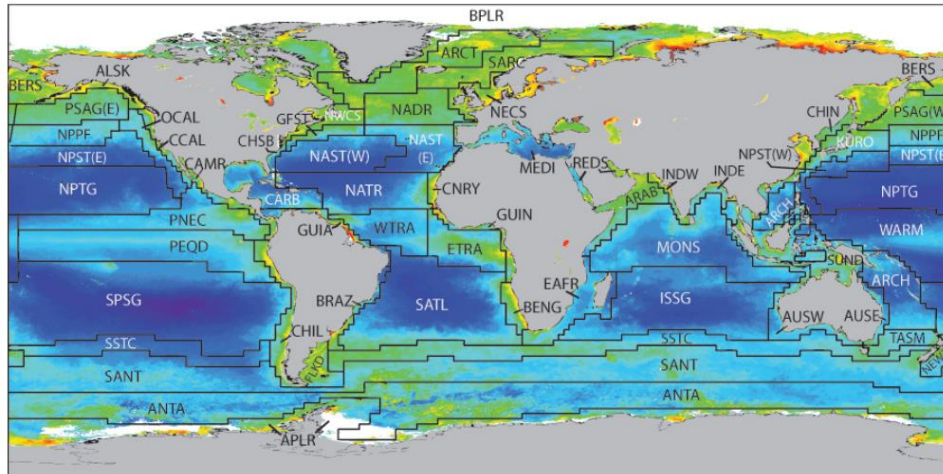


Figura 1 - Regiones biogeoquímicas del océano propuestas por Longhurst (1995). Modificado de IOCCG (2009).

La regionalización basada en el medio físico es generalmente un buen predictor de las regiones bióticas (Pielou, 1979; Hayden, *et al.*, 1984). Por ejemplo, el gradiente latitudinal de riqueza de especies (más alto en los trópicos) es en principio una respuesta a las condiciones climáticas, aunque las condiciones locales pueden provocar alteraciones en dicho patrón (Campero *et al.*, 2003; Okolodkov, 2010). Los trabajos de regionalización biológica se presentan en un sistema jerárquico de áreas geográficas en términos de similitud de su biota o bien de patrones de especies endémicas (Escalante, 2009).

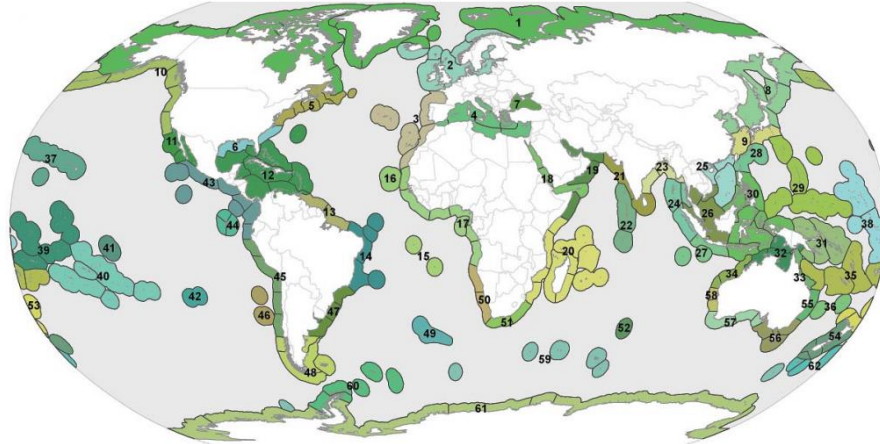


Figura 2 - Ecorregiones del mundo. Modificado de Spalding y colaboradores (2007).

En el caso de México, existen trabajos de regionalización biogeográfica de la cobertura terrestre, los cuales dividen al país en cinco componentes bióticos (neártico californiano, neártico continental, mexicano de montaña, antillano y mesoamericano), los cuales fueron divididos en 14 provincias (Morrone y Márquez, 2003). En el medio marino, la zona económica exclusiva mexicana abarca ocho de las ecorregiones propuestas por la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (Lara-Lara *et al.*, 2008, Wilkinson *et al.*, 2009); También se han hecho estudios sobre las regiones prioritarias marinas (CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007), el cual es un tipo de regionalización donde se identifican las zonas costeras y oceánicas con alta biodiversidad para su conservación con base en criterios geomorfológicos, fisiográficos y ecológicos, siendo un marco de referencia para el desarrollo de los planes de manejo, uso, investigación y conservación (Arriaga *et al.*, 1998; Contreras, 2002).

Por último, se han realizado esfuerzos para la creación de arreglos espaciales utilizados como parte esencial de los ordenamientos ecológicos en México, los cuales han seguido cuatro visiones del océano: oceánica, costera, de especies de importancia ecológica y comercial, y socio económica (Córdova *et al.*, 2006; CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007), los cuales deben partir de un conocimiento adecuado de la biodiversidad tomando en cuenta tres factores importantes: distribución geográfica,

batimetría y hábitat o sustrato utilizado por las especies (Hendrickx, 2008). Para que todos estos tipos de esfuerzos sean exitosos, es necesario contar con bases de datos de información biológica, pero también información sobre impactos antropogénicos, mapas georreferenciados de las áreas, de la batimetría, y una extensa serie de registros ambientales (Zacharias y Roff, 2000; Córdova *et al.*, 2006; Hendrickx, 2008).

En México, el Golfo de California es una de las áreas más estudiadas oceanográfica y biológicamente, del cual se puede concluir que es un ecosistema en buen estado de conservación (Hendrickx y Brusca, 2007), de alta biodiversidad (Brusca y Hendrickx, 2010), en el que existen comunidades marinas de afinidades templadas y tropicales (López-Martínez *et al.*, 2012); estas comunidades se componen a su vez de miles de especies, las cuales desempeñan un papel estratégico en los múltiples procesos ecológicos y biológicos (Hendrickx y Brusca, 2007), debido a estas características se han elaborado varios trabajos de regionalización, sin embargo, estos estudios se han realizado de manera aislada, sin una combinación de factores que regionalicen de una manera integral al Golfo de California, por lo que existe una necesidad de agrupar la información biología y oceanográfica para definir patrones que en conjunto ayuden a delimitar espacios geográficos los cuales podrían ser útiles para el manejo de recursos (Córdova *et al.*, 2006).

## ANTECEDENTES

Debido a la importancia biológica y económica del Golfo de California se ha realizado una gran cantidad de estudios sobre sus condiciones bióticas y oceanográficas, haciéndolo uno de los mares más estudiados del mundo (Molina-Cruz, 1984). A manera de resumen puede decirse que en un principio, los trabajos se efectuaron con el fin de determinar si el GC es una región biológica y oceanográfica diferente al Pacífico Oriental Tropical, y a partir de estos estudios se encontraron los patrones espacio-temporales que siguen las diferentes variables oceanográficas. Posteriormente hubo más interés en revisar aspectos biogeográficos, y se prestó atención a los intervalos de distribución de las especies mejor caracterizadas taxonómicamente. Finalmente, en las últimas décadas el enfoque cambió con el uso de sensores remotos, lo que dirigió la investigación hacia la revisión de indicadores ligados al color del océano.

Uno de los primeros estudios de regionalización del Golfo basada en aspectos físicos o químicos corresponde a Sverdrup (1941), quien encontró que la temperatura disminuye de sur a norte y decrece con la profundidad, sin embargo, en las islas Tiburón y Ángel de la Guarda (Grandes Islas) se tiene un comportamiento diferente (fig. 3A). Posteriormente, Roden y Emilsson (1979), en un estudio sobre la estructura vertical termohalina del GC, determinan cuatro regiones: la primera desde la desembocadura del Río Colorado hasta la Isla Tiburón (caracterizada por fuertes corrientes de marea); el Canal de las Ballenas con condiciones oceanográficas inusuales producto de continuas surgencias; el Bajo Golfo, el cual se localiza entre el sur de Isla Tiburón hasta Cabo San Lucas y Mazatlán; y finalmente la entrada del Golfo, la cual es un área triangular señalada entre Cabo Corrientes, Mazatlán y Cabo San Lucas, la cual cuenta con una estructura termohalina complicada, causada por la presencia de frentes y giros, además de la confluencia de tres diferentes corrientes (fig. 3A).

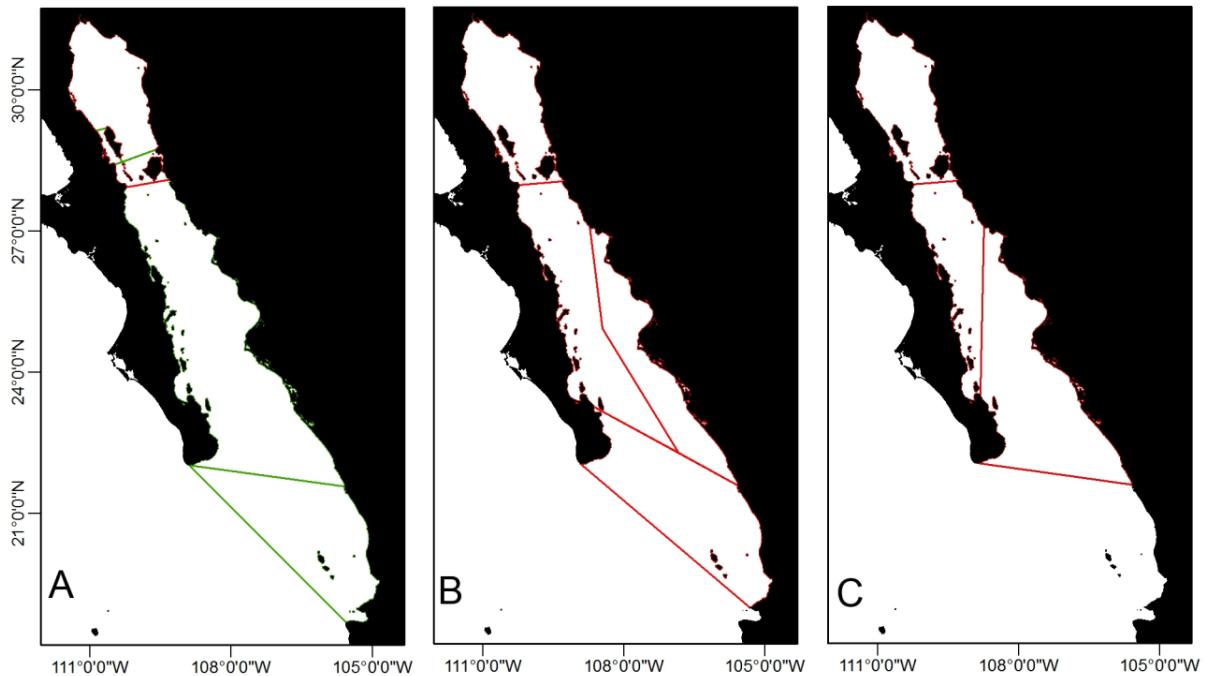


Figura 3 - División geográfica de acuerdo con: (A) Sverdrup, 1941 con líneas rojas. Roden y Emilsson, 1979 con líneas verdes. (B) Walker, 1960. (C) Thomson y colaboradores, 2000.

El estudio de la fauna del GC también ha sugerido la existencia de patrones de distribución espacial. A partir de la distribución geográfica de la ictiofauna, Walker (1960) encontró que las especies de peces del GC presentan un aislamiento de la fauna tropical al sur por dos barreras: la gran extensión de arena entre Guaymas y Mazatlán que tiende a limitar la distribución de especies que habitan en orillas rocosas, y la boca del Golfo que por la presencia de frentes oceanográficos limita el flujo de larvas y organismos hacia el interior. El autor determinó que en el Golfo hay cuatro agrupaciones de peces (fig. 3B), el Alto Golfo, desde Bahía San Francisquito al oeste y la isla Tiburón en el lado continental, hasta el delta del Río Colorado, zona caracterizada por poca variedad de especies pero la presencia de muchas endémicas residentes de profundidades moderadas. Luego está el centro del Golfo, región que cubre la zona aledaña a Guaymas y un gran tramo de la península de Baja California, hasta La Paz, y aproximadamente a la misma latitud está el Golfo Sureste que abarca desde Guaymas hasta Cabo Corrientes. Esta es la región menos distintiva ya que cuenta con una costa rocosa muy pobre. Finalmente, en el sur hay otra zona que cubre el sur de la península y de Mazatlán a Cabo Corrientes en el este, y que se caracteriza



por contar con especies afines al Pacífico Oriental Tropical y del Pacífico Occidental, las cuales normalmente se encuentran en islas oceánicas adyacentes a las Américas.

Thomson y colaboradores (2000) sugieren una división en la distribución de peces en solo tres zonas (fig. 3C), al norte resaltan las especies de afinidad templada, mientras que en el sur sobresalen las especies típicas del Pacífico Oriental Tropical, sobre todo en aguas profundas dado que parte de las masas de agua tienen las mismas propiedades físico-químicas que las del Océano Pacífico (Castro-Aguirre *et al.*, 1996). El traslape biogeográfico de la fauna se debe a que el Golfo de California es una zona transicional en donde se manifiestan especies con afinidad templada, tropical y de transición templado-cálido (López-Martínez *et al.*, 2012).

En el norte del GC, González-Cuellar (2012) realizó un estudio sobre las comunidades de peces de arrecifes rocosos empleando datos de abundancias y composición de especies con el fin de analizar la estructura comunitaria, encontrando una regionalización que coincide con algunos trabajos previos como el de Santamaría del Ángel y colaboradores (1994, que será descrita en detalle más adelante) y la de Wilkinson y colaboradores (2009). Además diversos trabajos realizados con larvas de peces y conectividad (Sánchez-Velasco *et al.*, 2012; Sánchez-Velasco *et al.*, 2013; y Sánchez-Velasco *et al.*, 2014), definen hábitats de larvas de peces que son similares con las divisiones geográficas propuestas por Gilbert y Allen (1943) y Round (1967), ya que la composición larvaria se diferencia en el Alto Golfo, la región Norte del Golfo, Grandes Islas y Golfo sur, finalmente la entrada del Golfo es un hábitat diferente siendo la zona de confluencia entre el Pacífico tropical transicional y el GC.

Otro estudio de la fauna que concuerda con regionalizaciones previas es el de Szteren y Auriolles-Gamboa (2011), que se realizó con 13 colonias del lobo marino de California (*Zalophus californianus*), con base en nueve variables de índole demográfico, biológico y ambiental, encontraron una diferenciación de las colonias en cuatro grupos principales: Golfo Norte, Ángel de la Guarda, Golfo Central y Golfo Sur, estos grupos fueron coincidentes con la regionalización oceanográfica propuesta por Lluch-Cota y Arias-Aréchiga (2000; detalles en páginas posteriores).

Por otra parte, estudios basados en la distribución de crustáceos eufáusidos por Brinton y Townsend (1980) y anfípodos por Siegel-Causey (1982) concuerdan en que existe una división del Golfo de California en dos regiones limitadas por las islas Tiburón y Ángel de la Guarda, coincidiendo con la propuesta hidrográfica de Sverdrup (1941). Además, las obras citadas destacan la sucesión estacional de especies templadas y tropicales en la zona sur del Golfo.

Otro estudio que enfocado en la distribución geográfica de crustáceos (Hendrickx *et al.*, 2002) encontró que la riqueza disminuye tanto batimétrica y latitudinalmente, siendo más diversas las zonas costeras, con una disminución desde la boca del Golfo con una riqueza de 777 especies, hacia el norte del Golfo, con 498 especies, lo que la convierte en la zona con menor número de especies. Este patrón de disminución de la diversidad de la fauna de sur a norte es consistente también en el grupo de los moluscos (Hendrickx *et al.*, 2007). Por otra parte, Simison en 2006 con base en un estudio sobre la distribución de gasterópodos del Pacífico Oriental Tropical, determina que el endemismo y la diversidad indican que el GC no es un ecosistema aislado como sugieren otros autores, en el cual se esperaría encontrar baja diversidad y un alto endemismo, sin embargo, presenta una alta diversidad, y aunque presenta un endemismo del 17%, en zonas aledañas al Golfo es posible encontrar una proporción de endemismo similar.

El Golfo de California y la costa occidental de la península de Baja California han sido las que mayor esfuerzo de muestreo (oceanográfico y biológico) han recibido en el Pacífico mexicano (Zamorano y Hendrickx, 2007), uno de los primeros estudios fue en el crucero Albatross en 1891, en el cual se colectaron algunas especies de profundidad. En años más recientes se han realizado estudios con el proyecto TALUD (2000-2001) en el cual se colectaron especies bentónicas y pelágicas (Zamorano *et al.*, 2006; Massin y Hendrickx, 2011; Hendrickx, 2012). Además encontraron que el oxígeno disuelto puede ser una barrera para la dispersión de especies que no toleren condiciones de hipoxia. En el año 2008, se llevó a cabo una investigación de caracterización geológica del fondo marino en las cuencas abisales y escarpes de fallas transformes del Golfo, a bordo del crucero oceanográfico Atlantis, en el cual, se

sumergió un vehículo no tripulado en 26 localidades. Como producto alternativo de este proyecto, se obtuvo la caracterización de la fauna abisal, encontrando algunos equinodermos, crustáceos, moluscos y peces (Ayón-Parente *et al.*, 2014; Hendrickx *et al.*, 2014).

La distribución y abundancia de organismos planctónicos también han sugerido una división en el Golfo de California. Allen (1937) y Cupp y Allen (1938) dividieron el Golfo en tres regiones geográficas al comparar la abundancia de diatomeas. La parte sur está caracterizada por tener las poblaciones más pequeñas de fitoplancton en todo el Golfo, mientras que la central cuenta con densidades más altas de productores primarios. Sin embargo las más grandes abundancias de diatomeas se registraron en la región norte; Posteriormente Gilbert y Allen (1943) agregan una cuarta región en el Golfo Norte, esta división surgió porque corresponde a los antinodos encontrados por Sverdrup (1941) quien determinó que las aguas superficiales de estas zonas se encuentran segregadas por una onda estacionaria interna a lo largo del eje del Golfo (fig. 4A). Otro trabajo (Round, 1967) estudió la depositación de diatomeas en los sedimentos superficiales (50 m de profundidad), y también distingue cuatro zonas (fig. 4B), con pequeñas diferencias a la zonación de Gilbert y Allen (1943), por lo que se concluyó que el desplazamiento lateral del fitoplancton durante la sedimentación no es muy grande. Estudiando el mismo grupo, Gaxiola-Castro y colaboradores (1995) encuentran tres zonas de distribución del fitoplancton durante el invierno de acuerdo a la estratificación de la columna de agua: una bien mezclada cerca de las Grandes Islas (asociada a baja temperatura, alta clorofila *a* superficial, y baja productividad primaria), una zona parcialmente mezclada al centro del Golfo, y una porción estratificada al sur. Estas últimas dos presentaron alta productividad primaria.

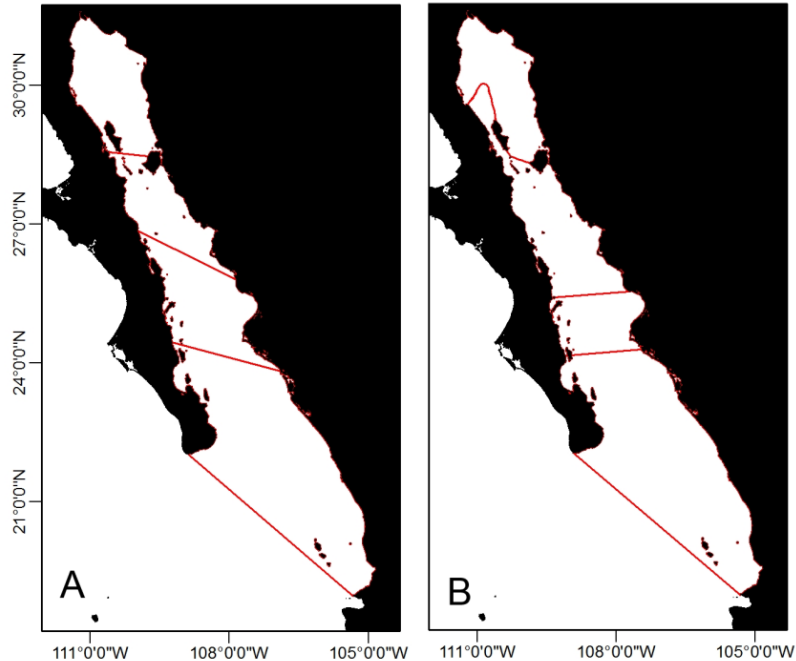


Figura 4 - División geográfica de acuerdo con: (A) Gilbert y Allen, 1943. (B) Round, 1967.

En los últimos años, la implementación de tecnología de percepción remota ha permitido realizar estudios de regionalización a gran escala, incluido el Golfo de California, el cual es con frecuencia una zona libre de nubes, lo que lo hace un sitio ideal para el uso de esta tecnología (Kahru *et al.*, 2004). El primer ejemplo es el de Santamaría del Ángel y colaboradores (1994) quienes con imágenes de alta resolución del sensor del satélite CZCS estudiaron la variación espacio-temporal de la concentración pigmentaria del GC, con el fin de encontrar una división geográfica que fuera ecológicamente significativa. Para ello utilizaron 33 píxeles de las imágenes satelitales en promedios semanales de 1978 hasta 1986. De ahí derivaron 14 regiones biogeográficas dentro del Golfo (fig. 5A), cada una relacionada con aspectos como la pesquería de escama y camarón, la distribución de algunos mamíferos marinos, y los sitios de crianza importantes para peces. Siguiendo la misma línea de investigación, en un estudio a meso escala Arias-Aréchiga (1998) utiliza la misma información del sensor CZCS y propone tres grandes regiones con distintos niveles de productividad primaria: el Golfo Norte, el cual comprende desde el delta del Río Colorado hasta el sur de las Grandes Islas y es una zona influenciada por mareas. La región centro

abarca desde el sur de las Grandes Islas hasta la Bahía de La Paz, incluyendo las costas de Sinaloa hasta los 22° N; la dinámica de esta parte depende de los centros de presión atmosférica. Finalmente está la región sur, la cual se encuentra en contacto directo con el Océano Pacífico y por lo tanto se ve influenciada por el mismo. Lluch-Cota y Arias-Aréchiga (2000) agregan una cuarta región que abarca el Canal de las Ballenas (fig. 5B), al considerarla una zona de con altos niveles de concentración pigmentaria durante todo el año, lo que la diferencia del resto del Golfo. Por otra parte, Lavín y Marinone (2003), utilizaron un modelo numérico y crearon una zonación de oceanografía física, la cual se complementó con imágenes del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) y mediciones en campo, los autores describen cuatro zonas de oceanografía física: la entrada del Golfo en la porción sur, el archipiélago de las Grandes Islas, el norte y el Alto Golfo (fig. 5C).

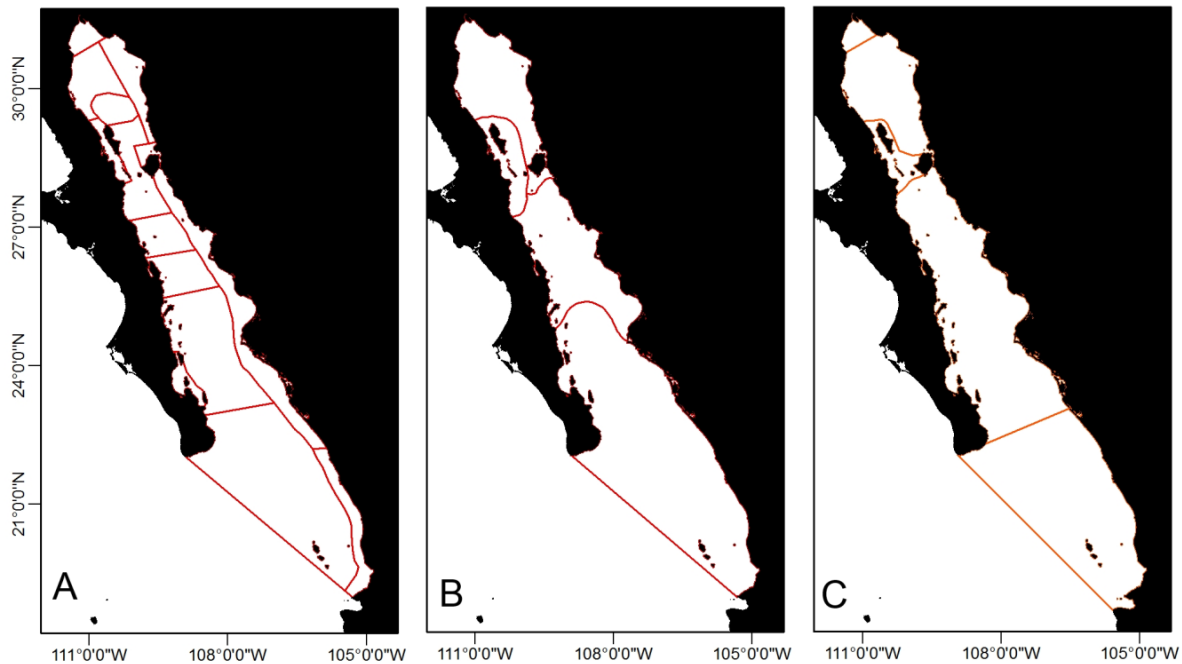


Figura 5 - División geográfica de acuerdo con: (A) Santamaría del Ángel y colaboradores, 1994. (B) Lluch-Cota y Arias-Aréchiga, 2000. (C) Lavín y Marinone, 2003.

Kahru y colaboradores (2004) con información de los sensores OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner), SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor), AVHRR y el modelo de producción vertical generalizado (VGPM), estudiaron la variabilidad del GC con datos de clorofila *a* y producción primaria en el periodo 1997-2003, y definieron 12 zonas (fig. 6A), asumiendo que ellas están influenciadas por los mismos procesos oceanográficos. En general las zonas se ven básicamente influenciadas por la variabilidad anual de la clorofila *a*, sin embargo, el sur de las Grandes Islas presenta un ciclo semestral ya que en primavera y otoño, cuando la estructura vertical termohalina es relativamente débil, la mezcla de mareas quincenal y mensual es eficaz en el bombeo de nutrientes a la capa superficial activando el florecimiento de fitoplancton. Este proceso se ve suprimido durante el verano pues la mezcla vertical desaparece por la fuerte estratificación y por ende el suministro de nutrientes es limitado.

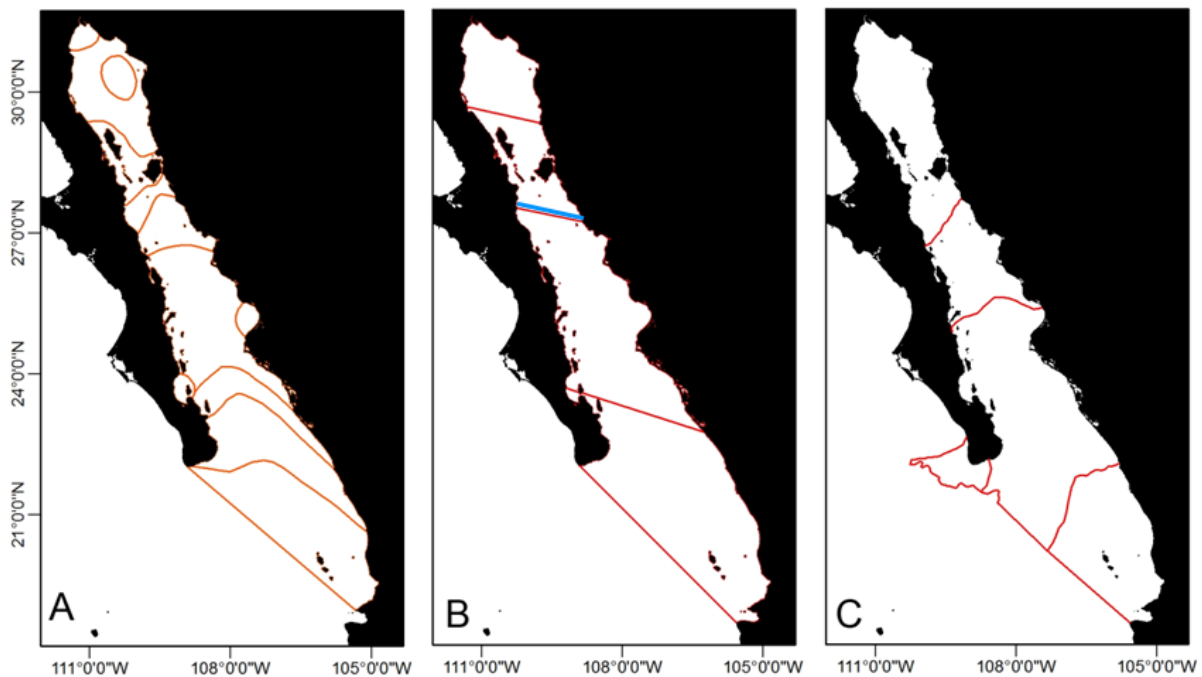


Figura 6 - División geográfica de acuerdo con: (A) Kahru y colaboradores, 2004. (B) Hidalgo-González y Álvarez-Borrego, 2004, con líneas roja regionalización de invierno, con línea azul regionalización de verano. (C) Ulloa y colaboradores, 2006.

Hidalgo-González y Álvarez-Borrego (2004) proponen una división estacional del GC utilizando el coeficiente de atenuación de la luz ( $k_{490}$ ) y la clorofila *a* tomada por el sensor SeaWiFS, en promedios mensuales durante el periodo 1997-2002. Esta división se realizó para la época fría y cálida encontrando marcadas diferencias debido a la dinámica estacional del GC con cuatro zonas durante el invierno (fig. 6B) y dos durante el verano. Luego, Ulloa y colaboradores (2006) utilizaron imágenes del sensor AVHRR en promedios mensuales para el periodo 1982-2000, encontraron 8 unidades ecológicas marinas, de las cuales cinco se traslapan con el GC (fig. 6C) y tres corresponden a la costa occidental de Baja California Sur.

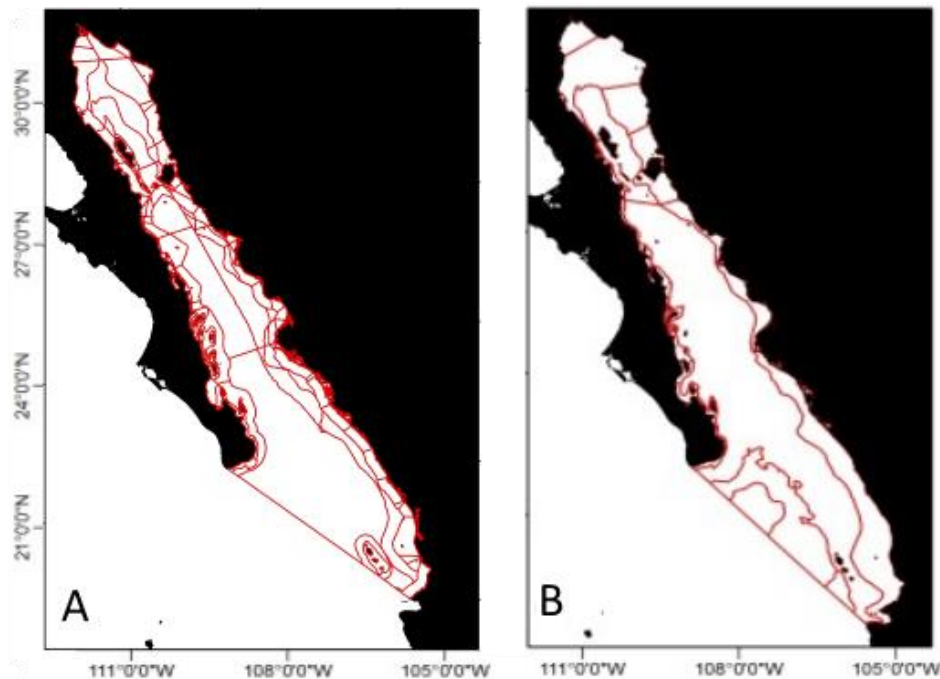


Figura 7 - División geográfica de acuerdo con: (A) SEMARNAT, 2006. (B) Wilkinson y colaboradores, 2009.

En cuanto al desarrollo de zonas para el manejo y conservación destaca el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California (POEMGC), (SEMARNAT, 2006) y el trabajo de Wilkinson y colaboradores (2009), este último enfocado a facilitar la cooperación entre México, Canadá y Estados Unidos, al dar un

marco de referencia con el objetivo de servir de base común para ayudar en las decisiones de manejo y conservación del medio marino. Con base en variables oceanográficas, fisiográficas y biológicas generales determinaron al GC como una ecorregión (Spalding *et al.*, 2007), la cual segmentan en regiones más pequeñas (fig. 7B) con ayuda del conocimiento de expertos, distinguieron las zonas que podrían beneficiarse de formas de manejo y medidas de conservación similares. Por otra parte el POEMGC surge como un instrumento de política ambiental dirigido a lograr un mejor balance entre las actividades productivas y la protección del GC, la caracterización del GC se consiguió mediante el uso de indicadores en diferentes sectores de interés, como lo es la pesca industrial, pesca ribereña, turismo y la conservación, siguiendo una ponderación de expertos, se analizaron niveles de presión y fragilidad regional, delimitando un total de 22 unidades de gestión ambiental en todo el GC (fig. 7A) con características homogéneas en términos de los patrones regionales de presión, fragilidad y vulnerabilidad. (SEMARNAT, 2006).



## JUSTIFICACIÓN

Los estudios previos sobre regionalización del Golfo de California han seguido enfoques con líneas específicas, es decir, se basaron por separado en condiciones oceanográficas, biológicas o de manejo de recursos. Estos trabajos resultaron útiles para los fines para los cuales fueron elaborados, permitiendo un mejor entendimiento sobre el GC y sus características. Sin embargo, los avances tecnológicos y la cada vez mayor disponibilidad de información permiten actualmente lograr una regionalización más precisa e integral basada en información sobre una mayor cantidad de variables bióticas y abióticas. Esto representa una mejora sensible sobre trabajos que usaron, por ejemplo, únicamente la clorofila *a*, la temperatura, o la distribución de algunos grupos taxonómicos del plancton.

En la parte biológica también hay un gran avance, al existir nutridas bases de datos y listas taxonómicas actualizadas para diversos grupos de especies de peces e invertebrados que habitan en el GC; un buen ejemplo es la base de datos de macroinvertebrados marinos del Golfo de California (Brusca y Hendrickx, 2008), producto de años de esfuerzos de investigadores y organizaciones, que incluye datos sobre clasificación taxonómica, distribución geográfica y preferencias de hábitat (Brusca, 2010).

Diferentes autores hacen referencia que para una regionalización es necesario tomar en cuenta elementos perdurables en el tiempo, como sustrato, sedimentos, incluso la fauna bentónica (Hayden *et al.*, 1984; Zacharias y Roff, 2000; Arias-Aréchiga, 1998; Campero, 2003) dado que a diferencia de otros grupos, la dispersión de las especies bentónicas depende esencialmente de la presencia/ausencia de barrera físicas o ecológicas, y de la capacidad de dispersión de sus estadios larvarios, si es que los presentan (Hendrickx, 2008), por lo que regionalizar la distribución de los macroinvertebrados, los cuales son en su mayoría bentónicos, nos ayudaría a representar mejor los patrones generales de la distribución de la biota, ya que es uno de los grupos más diversos en el GC (Brusca *et al.*, 2005)

Además de la disponibilidad de información, en la actualidad existen distintas herramientas para el procesamiento de la información como los sistemas de

información geográfica (SIG) que permiten la realización operaciones geoespaciales y el manejo de gran cantidad de datos georreferenciados para su representación cartográfica. (Córdova *et al.*, 2006).

Contar con regionalizaciones oceanográficas y biológicas nos permitirá determinar la correspondencia existente entre ambas, y al integrar ambos factores, encontrar los biomas del Golfo de California, los cuales son regiones naturales que comparten características de clima, flora y fauna, por lo que se obtendría una zonación con un mayor sustento, útil para la ciencia básica, la conservación y el manejo.

## OBJETIVOS

### **Objetivo General**

Proponer una regionalización del Golfo de California, con base en el conjunto de la distribución geográfica de macroinvertebrados y las condiciones ambientales del océano.

### **Objetivos Específicos**

- A) Generar una regionalización oceanográfica, a partir de variables ambientales.
- B) Generar una regionalización biológica a partir de la distribución geográfica de grupos selectos de macroinvertebrados.
- C) Generar biomas marinos a partir de la fusión de las regionalizaciones anteriores.

## ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California es un cuerpo de agua que separa a la península de Baja California del macizo continental en el occidente de México, tiene una edad de entre 6.5 y 13 millones de años (Simison, 2006). Se extiende de noroeste a sureste con una extensión de 1,070 km, variando en ancho de 100 a 200 km (Lindsay y Engstrand, 2002). Es uno de los cuerpos oceánicos más jóvenes geológicamente hablando, y llega casi a los 4,000 m de profundidad en las fosas abisales (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). El Golfo abarca la costa peninsular de los estados de Baja California y Baja California Sur (la cual es principalmente rocosa), mientras en la costa continental, en los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit, presenta mayor diversidad de hábitats como playas arenosas, estuarios y zonas lagunares (Castro-Aguirre *et al.*, 1996; Lluch Cota *et al.*, 2005; Simison, 2006).

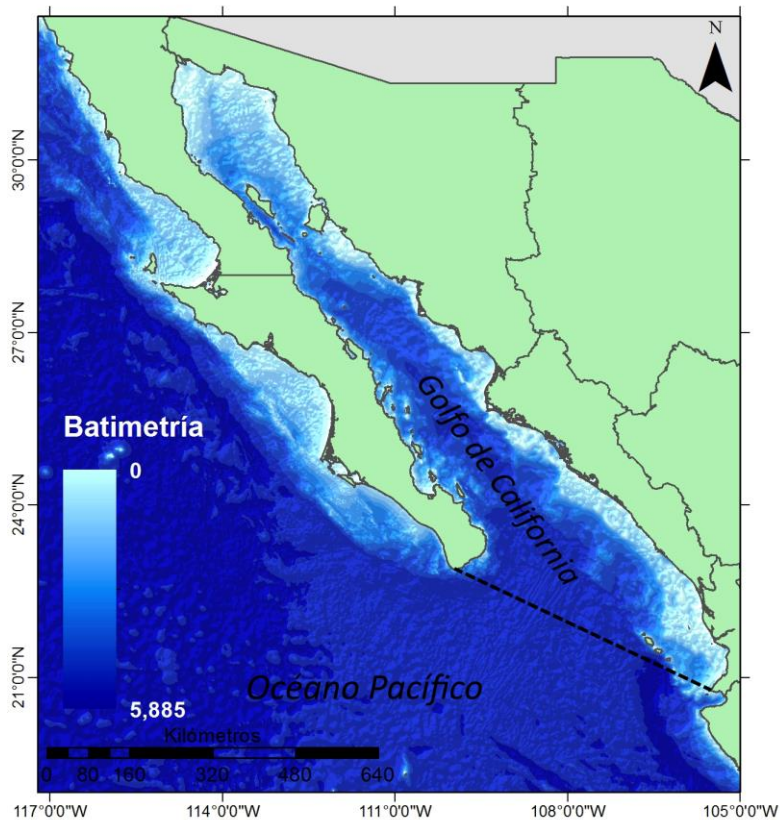


Figura 8 - El Golfo de California, limitado al sur por una línea entre Cabo San Lucas, BCS, y Bahía de Banderas, Nayarit.

El patrón de circulación de las aguas superficiales está relacionado al sistema de vientos locales, las mareas, distribución de la densidad, además del intercambio de calor y agua con la atmosfera y el forzamiento con el Océano Pacífico (Lavín *et al.*, 1997; Ripa, 1997). El patrón de vientos, los cuales vienen del noroeste en invierno, y del sureste en verano, introduce aire húmedo del sur hacia el GC, creando condiciones climáticas más tropicales (Merrifield y Winant, 1989) y originando precipitaciones en ciertas épocas del año (Torres-Orozco, 1993). Se ha registrado la presencia de la Corriente de California, la cual ingresa al GC durante los meses de enero y diciembre, y sale durante el mes de marzo, en Mayo se detecta la presencia de la Corriente Costera de Costa Rica, la Corriente Norecuatorial entra de agosto a septiembre, en Octubre la Corriente del Golfo la cual fluye hacia el Océano Pacífico.

En la superficie del GC se encuentran dos masas de agua, las cuales llegan hasta los 150 m de profundidad, la primera corresponde al Agua del Golfo de California, la cual se localiza en la región norte y se distingue por su alta salinidad, la segunda es el Agua Superficial Ecuatorial, la cual abarca desde la entrada del Golfo hasta la cuenca de Guaymas en verano y en invierno solo se encuentra en la boca del GC (Molina-Cruz, 1986; Lavín *et al.*, 1997). Entre los 150 y 500 m se encuentra el Agua Subsuperfial Subtropical (ASS), hasta la isoterma de los 9 °C con una salinidad menor a los 35 unidades prácticas de salinidad (UPS; Lavín *et al.*, 1997), durante el otoño presenta la máxima intrusión en la parte norte del Golfo (Arias-Aréchiga, 1998). Después del ASS se encuentra entre los 500 y 1200 m de profundidad el Agua Intermedia del Pacífico, la cual constituye el 33% del volumen del Golfo de California con una temperatura entre 4 y 9 °C, el límite norte de esta masa de agua se localiza en la cuenca Tiburón (Torres-Orozco, 1993; Lavín *et al.*, 1997). Finalmente desde los 1200 m y hasta el fondo delimitado por la isoterma de 4 °C, se encuentra el Agua Profunda del Pacífico, la cual ocupa el 41% del volumen del GC, y presenta mayor estabilidad debido a que está aislada de la influencia meteorológica que afecta a las capas superficiales (Torres-Orozco, 1993; Lavín *et al.*, 1997).

El Golfo de California presenta tres mecanismos de enriquecimiento: La mezcla por mareas, la circulación termohalina y las surgencias inducidas por el viento. Al norte

del Golfo destaca la mezcla por mareas, principalmente en la región de las Grandes Islas, las surgencias costeras inducidas por el viento se presentan en ambas costas (en la occidental durante el verano, y en la oriental durante el invierno), y la circulación termohalina se produce por la mezcla de temperatura y salinidad de las distintas masas de agua del Golfo (Álvarez-Borrego, 2002). Presenta una estacionalidad oceanográfica muy marcada (Álvarez-Borrego, 2010), siendo afectado interanualmente por el fenómeno niño y la niña (Soto-Mardones *et al.*, 1999) principalmente en la boca del Golfo, por lo que disminuye significativamente la clorofila *a* y producción primaria (Escalante *et al.*, 2013). El GC es reconocido como uno de los cinco mares más productivos y diversos del mundo (Brusca, 2010) y dadas sus características ha sido nombrado como una ecorregión por Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (Wilkinson *et al.*, 2009), ya que en él existe gran diversidad de ecosistemas marinos y costeros, que incluyen alrededor de 350,000 hectáreas de manglares, cinco géneros de tortugas marinas, 32 especies de mamíferos marinos (que representan el 38% de las especies de cetáceos que se conocen en el mundo), 181 aves acuáticas, y 875 especies de peces de los cuales 77 son considerados endémicos (SEMARNAT, 2006). A la gran biodiversidad de la ecorregión se le suma su complejidad fisiográfica, ya que hay más de 920 islas e islotes desde la desembocadura del Río Colorado hasta Cabo Corrientes, en Jalisco, muchas de ellas habitadas por especies terrestres endémicas o especies amenazadas (Brusca *et al.*, 2005; Ulloa *et al.*, 2006). Los macroinvertebrados son el grupo más numeroso al contar con más de 4,900 especies, aunque se estima que este dato representa solo el 70% del número de especies que realmente habitan la zona, del cual un 16% (782 especies) de invertebrados endémicos se consideran endémicos (Brusca *et al.*, 2005; Brusca, 2010).

El Golfo de California es una de las regiones más importantes para la pesquería en México, ya que el valor de la producción pesquera equivale al 70% del rubro nacional (unos 300 millones de dólares), con un volumen de medio millón de toneladas anuales, lo representa el 50% del peso total de la captura nacional, esta actividad genera más de 50 mil empleos (Ulloa *et al.*, 2006).

## METODOLOGÍA

Para regionalizar un área, primero es necesario definir los límites geográficos de la misma. En el caso del GC los límites varían dependiendo del autor, por ejemplo, anteriormente se estableció que el límite sur es a los 23° 38'N (International Hydrographic Organization, 1953), ubicado al norte de Mazatlán, mientras otros autores, lo extendieron hasta Cabo Corrientes (Walker, 1960; Roden, 1964; Roden y Emilsson, 1979), este límite sur ha sido ampliamente debatido, sobre todo debido a que el GC no necesariamente coincide con los límites de la provincia zoo geográfica del Cortés que han documentado algunos autores (Hendrickx *et al.*, 2002; Robertson y Cramer, 2009; Briggs y Bowen, 2012). Por lo que se tomó como referencia los límites geográficos establecidos en los polígonos del Programa de Ordenamiento Ecológico del Golfo de California (SEMARNAT, 2006), límite establecido por una línea entre Cabo San Lucas y el límite norte de Bahía de Banderas.

Una vez determinada el área de estudio, es necesario segmentarla en unidades más pequeñas para caracterizar cada unidad, en este caso desde la perspectiva oceanográfica y biológica, y de ese modo poder establecer patrones de similitud entre ellas. Con el uso de la herramienta "Fishnet" del software ArcMap 10.2 se creó una rejilla con un tamaño de celda de 9 km<sup>2</sup>, para desarrollar todos los análisis. Se usó dicha resolución espacial debido a que la información oceanográfica medida por sensores a partir del color del océano en nivel tres se encuentra a 4 y 9km<sup>2</sup>; sin embargo, al tratar de trabajar con gradículas de 4 km<sup>2</sup>, el tiempo de procesamiento, alto requerimiento de memoria y recursos del sistema, hizo que el análisis se tornara inviable. Como resultado de este proceso se obtuvieron de 3,502 celdas a 9 km<sup>2</sup> las cuales sirvieron de base para la creación de la base de datos ambiental (variables oceanográficas) y biológica (distribución de macroinvertebrados).

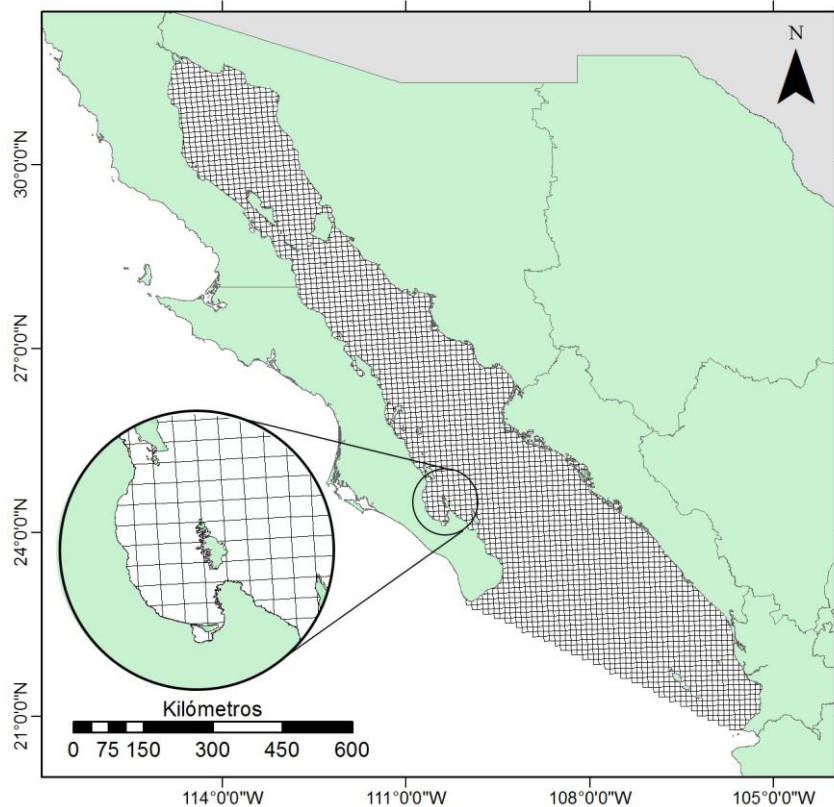


Figura 9 - Rejilla de trabajo para la regionalización del Golfo de California a 9km<sup>2</sup> de resolución espacial.

### Información oceanográfica

Considerando que el mar es un ambiente muy dinámico, es necesario tener series de tiempo extensas para tener una buena caracterización de sus condiciones a través de promedios climatológicos y de las posibles regionalizaciones que el océano presente (Millán-Núñez *et al.*, 2006), ya que de este modo es posible conocer los efectos de la variabilidad temporal e interanual, y de algunos fenómenos de gran escala como la Oscilación del Sur de El Niño (Escalante *et al.*, 2013). En esta tesis, para la caracterización oceanográfica del GC se utilizó dos fuentes de información (tabla I), los datos medidos por sensores remotos, e información histórica *in situ*, almacenada en la base de datos del Centro Nacional de Datos Oceanográficos (NODC por sus siglas en inglés) de la NOAA. (National Ocean and Atmospheric Administration; <http://www.nodc.noaa.gov/>).



TABLA I - Variables oceanográficas utilizadas para la regionalización.

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>	<b>Promedio</b>
Materia coloreada disuelta	m <sup>-1</sup>	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Clorofila a	mg m <sup>-3</sup>	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Atenuación de la luz	m <sup>-1</sup>	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Radiación fotosintéticamente activa	Einstein m <sup>2</sup> D	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Carbono inorgánico	mol m <sup>-3</sup>	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Carbono orgánico	mg m <sup>-3</sup>	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Temperatura superficial	°C	MODIS – Aqua	Mensual (2003 - 2012)
Fosfato	µmol/l	NODC	Anual (1939 - 2007)
Salinidad	UPS	NODC	Anual (1939 - 2007)
Silicatos	µmol/l	NODC	Anual (1939 - 2007)
Oxígeno disuelto	ml/l	NODC	Anual (1939 - 2007)

### *Información oceanográfica vía sensores remotos*

Los datos del color del océano se obtuvieron de la Agencia Aeroespacial Nacional de los Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés), en la página de internet del Servicio de Visualización en línea de datos radiométricos del color del océano (Ocean Color Radiometry Online Visualization and Analysis, GIOVANNI; <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>) adquiridos del sensor MODIS – Aqua a 9 km<sup>2</sup>, a nivel superficial del mar y en promedios mensuales de un periodo de 10 años (2003 - 2012). Los datos se descargaron en formato ASCII, los cuales fueron introducidos al software ArcMap 10.2 para su transformación a formato raster, el cual, es un formato de archivo usado por los sistemas de información geográfica para almacenar información en una matriz de datos, en este caso, se utilizó como base la rejilla de trabajo de 3,502 pixeles validos definida previamente.

Las siete variables descargadas del portal GIOVANNI (tabla I), generaron 840 archivos rasters (120 por variable) y para el trabajo se calculó el año tipo de cada variable, el cual es el promedio climatológico de cada mes del año a lo largo del periodo

(por ejemplo, el promedio de todos los meses de enero, generan el enero del año tipo). Esto permitió representar la tendencia mensual que tuvo el GC en los últimos 10 años para cada aspecto estudiado del océano. Una vez establecido el año tipo se obtuvieron los valores máximos y mínimos por pixel para cada variable, para representar las condiciones extremas que se dan estacionalmente en el GC y utilizar estos datos para la regionalización oceanográfica.

### *Información oceanográfica in situ*

Las variables que no pueden ser medidas por el color del océano, como lo son fosfatos, silicatos, oxígeno disuelto y salinidad fueron descargadas del NODC. Se obtuvieron 2,024 sitios de muestreo distribuidos en toda el área de estudio, los cuales fueron tomados *in situ* entre 1939 y 2007 por diferentes cruceros oceanográficos en distintos meses de año. Dado que para la toma de muestras no se lleva a cabo de manera sistemática ni periódica para todo el Golfo de California (fig. 10), no se pudo determinar el año tipo para estas variables, por lo que se obtuvo únicamente el promedio anual interpolando los valores de las variables usando la rutina de ponderación inversa a la distancia (“inverse distance weighting”), el cual ha demostrado ser un método de interpolación eficiente para conservar la variabilidad de las condiciones oceanográficas además de minimizar los errores (Sheng, 1999; Torres *et al.*, 2008). Estas nuevas capas de información fueron añadidas a la base de datos océano gráfica, por lo que fueron creadas una escala homogénea a la rejilla de trabajo establecida previamente.

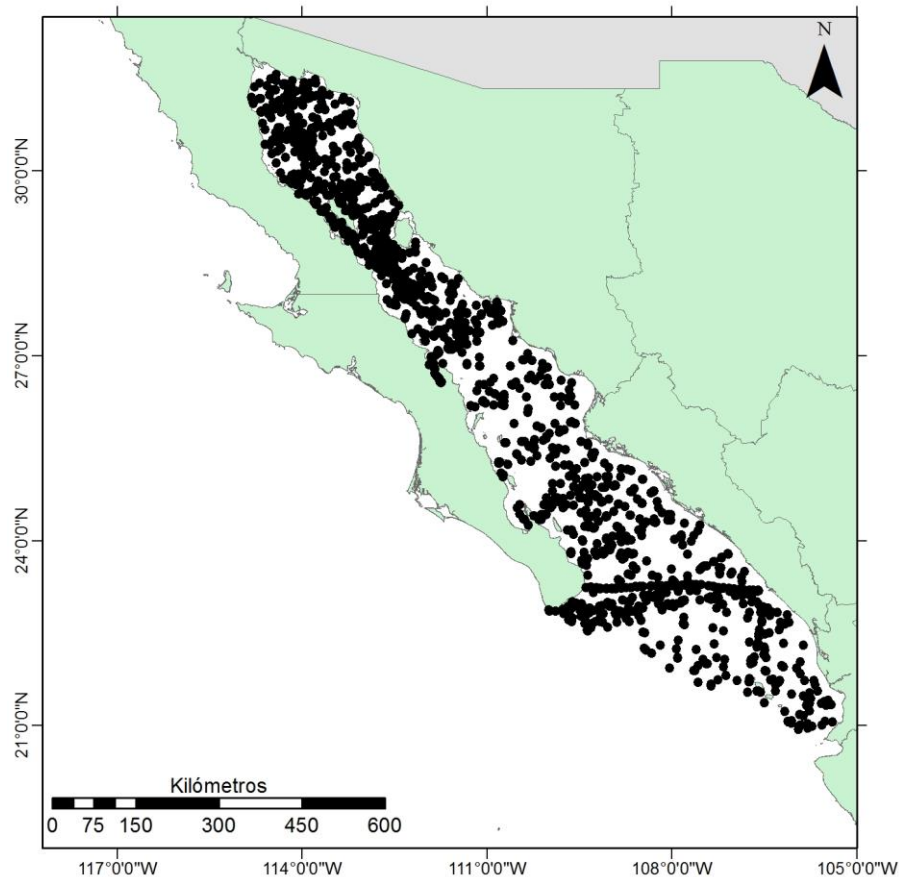


Figura 10 - Distribución espacial de las mediciones in situ del periodo 1939 – 2007 obtenida de la NODC.

### Información Biológica

Para generar los registros de distribución de las especies se utilizó la base de datos de invertebrados del Golfo de California (Brusca y Hendrickx, 2008), la cual incluye información geográfica y batimétrica para 4,944 especies (tabla II). Se eliminaron las especies que no tuvieran información sobre los límites geográficos o batimétricos completos, dado que no es posible representar una distribución geográfica confiable sin estos datos. Aunque la base de datos citada revisa todos los fila de invertebrados presentes en el Golfo, (para la tesis) se optó por manejar solo los cinco grupos con mayor cantidad de especies registradas. Los fila seleccionados fueron: Arthropoda, Mollusca, Annelida, Echinodermata y Cnidaria, los cuales acumulan más del 90% de los macroinvertebrados y son los mejor representados en la base de datos (Brusca, comunicación personal, julio 2013).

TABLA II - Número de Invertebrados del Golfo de California por nivel taxonómico.

<b>Phylum</b>	<b>Clases</b>	<b>Ordenes</b>	<b>Familias</b>	<b>Géneros</b>	<b>Especies</b>	<b>Procesados</b>
Annelida	2	15	62	302	736	556
Arthropoda	3	12	168	540	1,065	903
Brachipoda	2	2	2	2	5	-
Bryozoa	2	3	58	97	170	-
Chaetognatha	1	2	4	12	20	-
Chordata	2	4	10	20	42	-
Cnidaria	3	16	73	129	262	189
Ctenophora	2	3	3	4	4	-
Echinodermata	3	26	66	157	264	244
Echiura	1	1	2	4	4	-
Hemichordata	1	-	1	3	3	-
Mollusca	6	27	221	693	2,199	1,605
Nemertea	2	4	7	12	17	-
Platyhelminthes	1	1	8	19	22	-
Porifera	2	14	38	69	120	-
Spincula	2	4	5	8	11	-
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>134</b>	<b>728</b>	<b>2,071</b>	<b>4,944</b>	<b>3,496</b>

Con la lista de especies depurada se obtuvieron 3,496 especies (tabla II) las cuales representan el 70% de las especies totales de macroinvertebrados registrados en el GC. Con este listado, se creó un script en R con el cual, a partir de los límites geográficos y batimétricos, generó un raster con la distribución geográfica de cada especie. La matriz final presenta valores de 0 y 1, para señalar la presencia o ausencia de cada especie en cada uno de los 3,502 sitios.

## Regionalización del Golfo de California

### *Regionalización oceanográfica*

Una vez generada la base de datos ambiental, compuesta por las variables medidas por sensores y las variables medidas *in situ*, los datos oceanográficos fueron estandarizados para reducir el intervalo de los datos de 0 a 1 en todas las variables y tener una escala homogénea para evitar distorsión de resultados (Prieto-Guerra, 2006). Para generar la regionalización se utilizó el análisis de similitud, el cual es uno de los métodos que se utiliza para establecer grupos de individuos, unificando dentro de un mismo grupo a aquellos elementos con características similares (Linares, 1990). El coeficiente de similitud o disimilitud de los elementos se selecciona de acuerdo al tipo de variables a analizar, ya que la confiabilidad de los resultados dependerán del método utilizado (Miranda, 1997). Este análisis, se llevó a cabo con las variables oceanográfica estandarizadas y acomodadas en una matriz de 3,502 renglones (rejilla del GC) y 18 columnas (siete variables en dos temporadas del año para representar la variabilidad estacionaria del GC, y los cuatro promedios anuales de los nutrientes, los cuales fueron medidos *in situ*). El método utilizado para calcular la similitud oceanográfica del Golfo de California fue el de distancia euclidiana, una vez obtenida la distancia entre los sitios, el agrupamiento de estos se realizó por el método de Ward (1963) el cual minimiza la varianza entre los sitios y los agrupa, si se tiene más de una variable, en lugar de la varianza se unen los grupos cuya inercia (suma la diagonal principal de la matriz de varianzas y covarianzas) sea la mínima (Álvarez-Cáceres, 1994; Zar, 1999). En resumen, este método es útil porque maximiza la homogeneidad dentro de los grupos. Finalmente para determinar el número de grupos a formar, se analizó la tabla mediante el índice k-promedios, el cual es un proceso iterativo en el cual las agrupaciones se definen con base en la distancia euclidiana entre los elementos. Este coeficiente permite reducir la variabilidad de los elementos dentro de cada grupo, al tiempo que maximiza la variabilidad entre ellos (Kintigh y Ammerman, 1982; Chollett *et al.*, 2012).

### *Regionalización biológica*

Una vez obtenido el raster de distribución geográfica de cada especie, se crearon cinco tablas, una para cada phylum indicando con 0 y 1 la presencia o ausencia de las especies en cada sitio. Para tener un criterio de la cantidad de regiones a formar en cada phylum, se obtuvo la suma de cuadrados de k - promedios (similar al realizado en la zonación oceanográfica) y una vez establecido el número de grupos, se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis (Krebs, 1989) y se formaron grupos por el método de Ward (1963). El procedimiento fue el mismo aplicado a las variables oceanográficas y se utilizó porque los métodos no son sensibles a valores extremos, tendiendo a formar grupos compactos y de igual tamaño. Al final se obtuvieron cinco regionalizaciones biológicas (una por cada phylum). Luego, para obtener una regionalización única de invertebrados, se creó una matriz de 3,502 renglones y cinco columnas. Cada una de las columnas representan de manera cualitativa las regiones que fueron asignadas por el análisis previo de cada zonación biológica, esta matriz se analizó mediante el coeficiente de similitud de Gower (1971), el cual permite la utilización de variables cualitativas, cuantitativas y binarias. Mediante este coeficiente de similitud se puede determinar el grado de semejanza o similitud entre elementos (en este caso, pixeles); Entre las características de este coeficiente se encuentra que cuando todos los caracteres son cualitativos, es equivalente al coeficiente de coincidencias simple, definido como la relación del número total de coincidencias y el número total de caracteres, además de que es posible ponderar las variables, dando mayor o menor peso a las distintas variables, dependiendo el papel que juegue cada una en la ordenación de grupos (Prieto-Guerra, 2006). En este caso, la ponderación se realizó por el porcentaje de especies que aportó cada phylum, siendo el phylum Mollusca el de mayor contribución con el 46%, seguido por Arthropoda (25%) y Annelida (16%), y finalmente el phylum Echinodermata y Cnidaria fueron las de menor peso con 7 y 5% respectivamente, una vez ponderado el aporte de cada phylum se obtuvo la regionalización biológica única. Posteriormente se crearon matrices de presencia/ausencia de todas las especies a nivel región, para conocer la similitud de especies entre regiones, además de la cantidad de especies dentro de cada una de

ellas (riqueza específica) y mostrar la diferenciación en la cantidad y composición de especies de cada región.

### *Biomás del Golfo de California*

Para generar los biomas se incluyeron ambos factores (biológico y oceanográfico) y se siguió un proceso similar al de la obtención de la regionalización de invertebrados, ponderando la contribución de cada elemento para la regionalización final; Al tratarse de datos de naturaleza distinta, se dejó al grupo biológico con el 50% (con su respectiva ponderación a nivel phylum) y el otro 50% a la regionalización oceanográfica previamente obtenida, de esta forma, se realizó la regionalización de forma integral, considerando la caracterización oceanográfica con la distribución de las especies.

## RESULTADOS

### Regionalización oceanográfica

El análisis de k - promedios indicó que el número de grupos para formar las regiones dentro del GC por condiciones oceanográficas fue de 12 ya que con esta cantidad de grupos se alcanza la asíntota de la curva de la suma de cuadrados (fig. 11), sin embargo, el análisis de agrupamiento de los datos encontró dos regiones con dos secciones cada una pero geográficamente separados; es decir, la diferencia de las características entre los sitios era mínima, pero dado que espacialmente no eran contiguos, aquí se tomaron en cuenta como grupos diferentes. Por este motivo se decidió subir a 14 el número de regiones (tabla III). De las 14 regiones, siete están paralelas a la línea de costa, por lo que se consideran costeras y el resto en mar abierto, es decir, oceánicas.

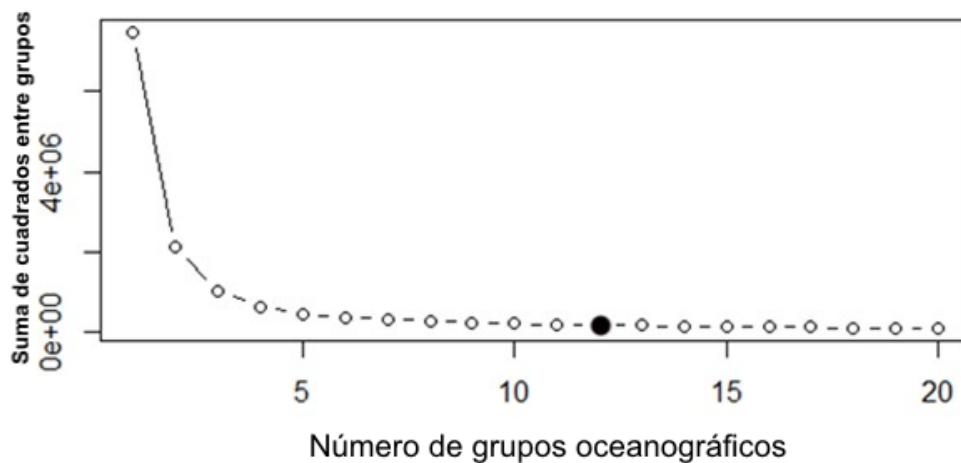


Figura 11 - Índice de k – promedios para calcular el número de regiones oceanográficas del Golfo de California.



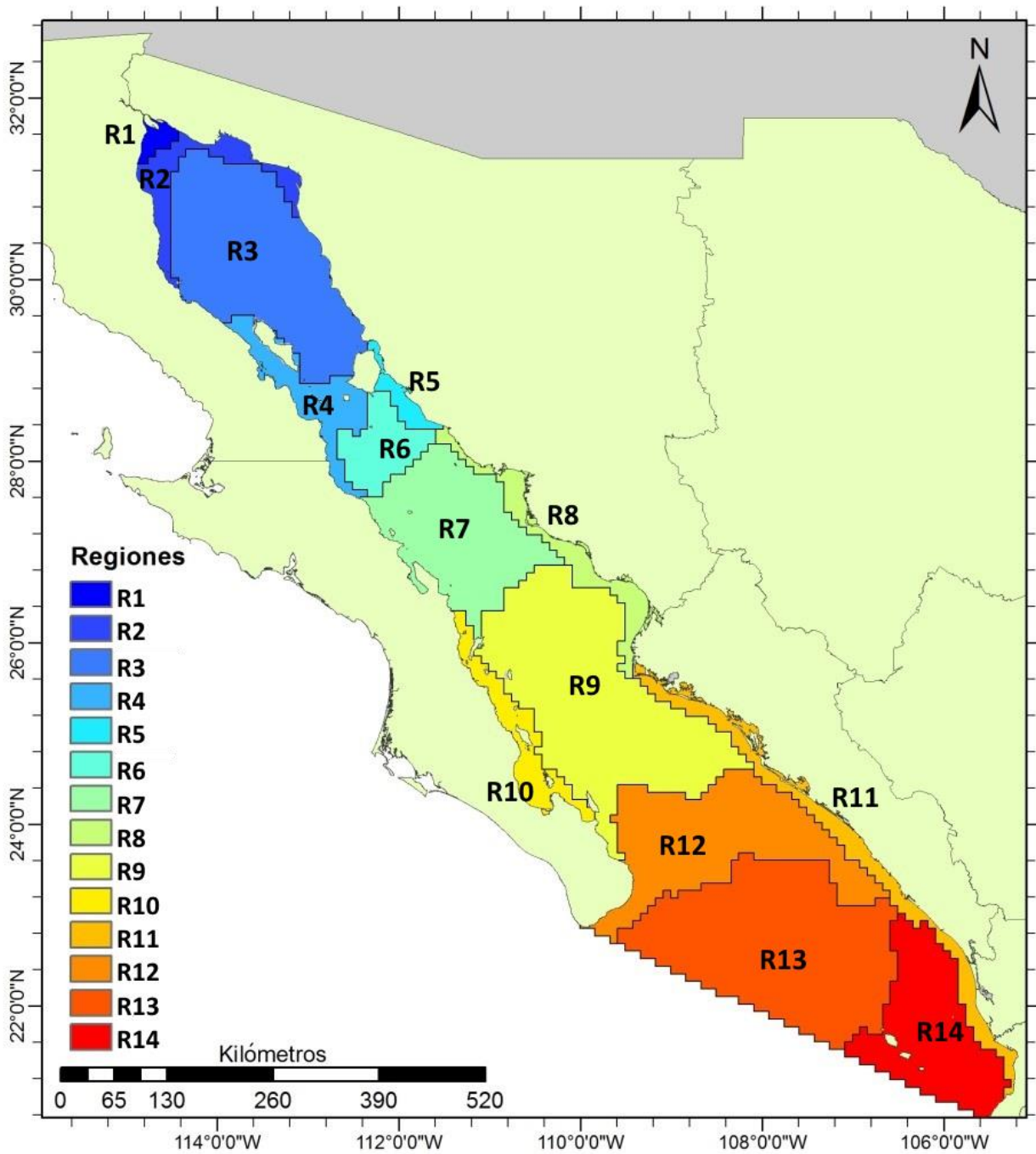


Figura 12 - Regionalización oceanográfica del Golfo de California.

TABLA III - Lista de regiones oceanográficas del Golfo de California.

Regiones Oceanográficas del Golfo de California			
	Región	Oceánica	Costera
Norte del GC	R1) Delta del Río Colorado		✓
	R2) Alto Golfo		✓
	R3) Golfo Norte	✓	
	R4) Grandes Islas		✓
	R5) Isla Tiburón		✓
	R6) Grandes Islas sur	✓	
Centro del GC	R7) Cuenca de Guaymas	✓	
	R8) Sur de Sonora		✓
	R9) Cuenca Carmen - Farallón	✓	
	R10) La Paz – Loreto		✓
Sur del GC	R11) Sinaloa – Nayarit		✓
	R12) Cuenca Pescadero	✓	
	R13) Boca del Golfo	✓	
	R14) Islas Marías	✓	

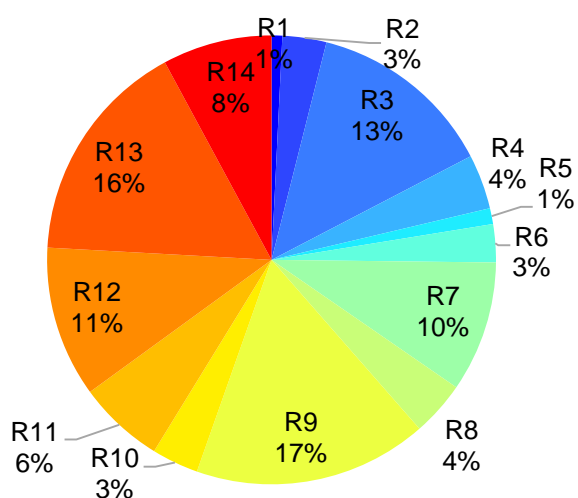


Figura 13 - Cobertura de las regiones oceanográficas.

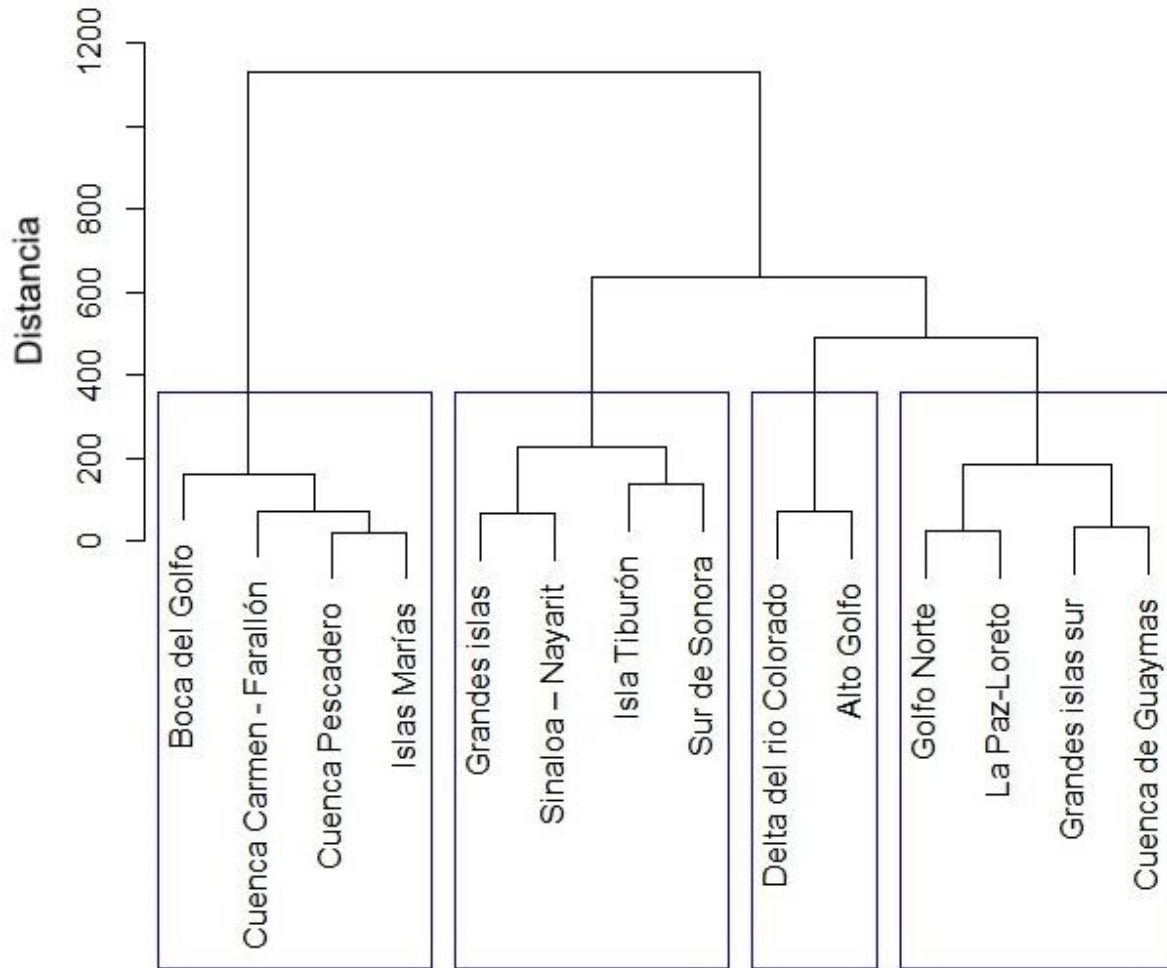


Figura 14 - Dendrograma de similitud oceanográfica a nivel región.

### *Características de las regiones oceanográficas*

Los resultados indican que las regiones oceánicas ocupan la mayor parte del GC siendo aproximadamente el 78% de la superficie total (fig. 13); el resto (22%) corresponde a las siete regiones asociadas a la costa. La similitud entre regiones, como se aprecia en la figura 14, se asocian en 4 grandes grupos. En el primero se encuentran las regiones oceánicas del sur del Golfo, desde la boca hasta la región de la cuenca Carmen - Farallón. El grupo dos comprende el margen costero desde Nayarit hasta Sonora, incluyendo la región de las Grandes Islas. El grupo tres contiene solamente dos regiones: el Alto Golfo y el delta del Río Colorado, y finalmente el grupo

cuatro, incluye a las regiones oceánicas del centro y norte del Golfo, e incluye la región costera de La Paz – Loreto.

A manera de información se denotarán las características de las 14 regiones oceanográficas designadas, en orden de norte a sur (fig. 12).

La región 1, el Delta del Río Colorado abarca la zona norte de la reserva Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, y corresponde al 0.77% del GC en superficie (fig. 13). Esta sección presenta la mayor variabilidad de temperatura con un intervalo superior a 15°C (de 15.31 a 31.85 °C; fig. 15), con concentraciones altas de clorofila *a* la mayor parte del año (de 3.22 a 3.66 mg m<sup>-3</sup>; fig. 16), y de carbono inorgánico (de 0.027 a 0.048 mol m<sup>-3</sup>; fig. 19), y de carbono orgánico particulado (de 331 a 358 mg m<sup>-3</sup>; fig. 20). Los niveles de atenuación de la luz son elevados la mayor parte del año, y con poca variabilidad (de 0.23 a 0.28 m<sup>-1</sup>, fig. 17). La región presenta la mayor salinidad de todo el GC con valores superiores a los 36 UPS (tabla IV).

La región 2, correspondiente al Alto Golfo abarca desde la bahía de San Luis Gonzaga en B.C. hasta El Desemboque, Son. Esta región ocupa aproximadamente el 3% de la superficie del GC (fig. 13), y al igual que la región Delta del Río Colorado presenta un amplio intervalo de temperatura (de 16.12 a 31.6 °C; fig. 15). Esta región presenta el intervalo más amplio de radiación fotosintéticamente activa (de 24.45 a 59.57 Einstein m<sup>2</sup> D; fig. 18) además de la mayor concentración de materia coloreada disuelta de todo el GC (de 4.93 a 6.71 m<sup>-1</sup>; fig. 21), y es la segunda más salina de todas con 35.71 UPS en promedio (tabla IV).

La región 3, el Golfo Norte es la de mayor área en latitudes superiores a los 28°N y ocupa el 13% de la superficie del GC (fig. 13), colinda con la región Alto Golfo y su límite al sur alcanza el Canal de Ballenas y las Grandes Islas, incluyendo parte de la costa central del estado de Sonora. La temperatura oscila entre 16.79° y 30.79 °C (fig. 15). Esta región presenta la mayor radiación fotosintéticamente activa en promedio con amplio intervalo (de 25.84 a 60.34 Einstein m<sup>2</sup> D; fig. 18), así como la menor variación en la concentración de materia coloreada disuelta (de 3.57 a 4.9 m<sup>-1</sup>; fig. 21). Es la segunda región con mayor oxígeno disuelto con 5.64 ml/l.

La región 4, las Grandes Islas comprende desde el Canal de Ballenas hasta San Francisquito, BCS, limitan al este con la Isla Tiburón, y ocupa el 4% de la superficie del Golfo de California. Es la tercera zona con las temperaturas más frías (16.37°C; fig. 15) solo superada por la región Delta del Río Colorado y el Alto Golfo, es la segunda con la mayor radiación fotosintéticamente activa, solo por debajo de región Golfo Norte; además tiene el máximo intervalo de irradiancia (de 27.29 a 60 Einstein m<sup>2</sup> D; fig. 18). También tiene la menor variabilidad en la concentración de materia coloreada disuelta (de 3.96 a 5.43 m<sup>-1</sup>; fig. 21). Esta es la región de mayor concentración de silicatos 19.71 μmol/l (tabla IV).

La región 5, Isla Tiburón, está situada entre la isla del mismo nombre y el macizo continental, abarca el Canal del Infiernillo hasta el norte de la Isla San Pedro Nolasco, y es una de las secciones con menor área (1% del GC). Esta región presenta la temperatura promedio más alta con amplio intervalo de variabilidad (de 16.53 a 32 °C; fig. 15). La concentración de clorofila *a* varía de 1.68 a 7.56 mg m<sup>-3</sup> (fig. 16). También es la segunda región con mayor concentración de carbono orgánico particulado con concentraciones que van desde 296.89 hasta 700 mg m<sup>-3</sup> (fig. 20). Presenta la mayor atenuación de la luz (de 0.18 a 0.54 m<sup>-1</sup>; fig. 17). La salinidad media de la región es de 35.24 UPS y es la de mayor concentración de fosfatos con 1.35 μmol/l, la segunda con los valores más altos de silicatos 16.80 μmol/l y la de mayor concentración de oxígeno disuelto con 5.70 ml/l (tabla IV).

La región 6, las Grandes Islas sur se sitúa al sur de las Islas de la Cintura, entre la región de las Grandes Islas y la región Isla Tiburón, con límites al sur hasta San Francisquito, BCS, e incluye una zona oceánica donde se encuentra la Isla San Pedro Mártir. Abarca aproximadamente el 3% del Golfo de California (fig. 13) y presenta altos valores de radiación fotosintéticamente activa (59.74 Einstein m<sup>2</sup> D), solo superada por la región Golfo Norte y la región Grandes Islas (fig. 18). Presenta además valores más bajos de concentración de materia coloreada disuelta y es la segunda con mayor concentración de fosfatos (1.32 μmol/l), solo por debajo de la región Isla Tiburón (tabla IV).

La región 7, la Cuenca de Guaymas corresponde a la zona oceánica que se ubica en el centro del Golfo de California y además abarcan la zona costera peninsular desde el sur de Bahía San Francisquito hasta el norte de Isla del Carmen, limitando al este con la región Sur de Sonora e incluye el área de la cuenca de Guaymas. La región ocupa el 10% del GC (fig. 13), y siendo una zona oceánica presenta características oceanográficas intermedias (temperatura de promedio anual de 24.39°C) respecto a las condiciones del Golfo (temperatura promedio anual de 24.7 °C). Por lo que puede decirse que es una zona de transición entre las regiones con características tropicales (regiones 11 a la 14) y templadas (regiones 1 a la 6).

La región 8, Sonora Sur limita al norte con la región Isla Tiburón y al sur con el norte del estado de Sinaloa es una zona costera que limita al oeste con la región Cuenca de Guaymas. Esta región comprende el 4% de la superficie del Golfo de California (fig. 13) y es una de las regiones con la mayor temperatura superficial del mar, alcanzando su máximo durante el mes de agosto con 31.94 °C (fig. 15). Esta zona presenta uno los mayores valores de clorofila *a* de todo el Golfo con 7.25 mg m<sup>-3</sup>, esto ocurre en el mes de marzo (fig. 16), tiene además altos valores de carbono orgánico particulado (de 160.73 a 700.83 mg m<sup>-3</sup>; fig. 20) y altos valores de atenuación de la luz (de 0.10 a 0.53 m<sup>-1</sup>; fig. 17), con el máximo alcanzado en el mes de marzo.

La región 9, la Cuenca Carmen – Farallón es una región oceánica que limita al norte con la región Cuenca de Guaymas, va desde la Isla del Carmen hasta Punta Arenas en Baja California Sur, esta región abarca las cuencas de Carmen y Farallón. La región ocupa la mayor área del Golfo de California con el 17% de la superficie total (fig. 13); presenta bajos niveles de clorofila *a* (de 0.23 a 1.54 mg m<sup>-3</sup>; fig. 16) con un promedio anual de 0.78 mg m<sup>-3</sup>. La región tiene además bajos valores de atenuación de la luz (de 0.04 a 0.13 m<sup>-1</sup>; fig. 17) con un promedio anual de 0.088 m<sup>-1</sup>, y es de las zonas con mayor intervalo en sus valores de concentración de materia coloreada disuelta (de 1.8 a 5.02 m<sup>-1</sup>; fig. 21), el valor más alto lo alcanza durante el mes de abril y el mínimo ocurre durante el mes de agosto. También es la segunda región con los valores más bajos de silicatos (4.6 µmol/l) solo por encima de la región La Paz-Loreto (tabla IV).

La región 10 (La Paz – Loreto) ocupa el 3% de la superficie del GC y abarca la zona costera desde Isla Coronados hasta la Isla Cerralvo, incluyendo a todas las islas en ese tramo y la Bahía de La Paz. Ahí, la temperatura fluctúa de 20.23° a 30.5 °C (fig. 15) con un promedio anual de 25.11 °C, alcanza su valor máximo de temperatura en el mes de septiembre y el mínimo durante el mes de febrero. Presenta además valores medios de clorofila *a* respecto a otras regiones, con valores de 0.37 a 2.10 mg m<sup>-3</sup> (fig. 16). Esta región presenta un amplio intervalo en la concentración carbono orgánico particulado (87.89 - 479.09 mg m<sup>-3</sup>; fig. 20) y es una de las tres regiones que alcanza la mayor concentración de materia coloreada disuelta en el Golfo con 5.9 m<sup>-1</sup>, esto ocurre durante el mes de abril (fig. 21). Esta región presenta la menor concentración de silicatos de todas las regiones (3.07 μmol/l; tabla IV), muy por abajo del promedio para el Golfo de California el cual se sitúa arriba de 10 μmol/l.

Región 11 (Sinaloa – Nayarit) abarca la zona costera de los estados de Sinaloa y Nayarit. Es una de las áreas con menor variación de temperatura con valores desde 21.68° hasta 31.77 °C (fig. 15) con una media anual de 26.68 °C. Similarmente, es una de las tres regiones con menor intervalo de radiación fotosintéticamente activa (de 30.83 a 57.23 Einstein m<sup>2</sup> D; fig. 18) y con pequeñas variaciones en la cantidad de carbono inorgánico particulado con valores de 0.003 a 0.005 mol m<sup>-3</sup> (fig. 19), presenta además variaciones en la clorofila *a* con valores desde 1.30 hasta 6.76 mg m<sup>-3</sup> (fig. 16) y un intervalo en el coeficiente de atenuación de la luz al registrar valores de 0.145 a 0.490 m<sup>-1</sup> (fig. 17). La región presenta una de las mayores concentraciones de materia coloreada disuelta en todo el Golfo con 6.15 m<sup>-1</sup>, esto ocurre en el mes de marzo y este valor solo es superado por la región del Alto Golfo (fig. 21) en el mes de abril.

La región 12 (Cuenca Pescadero) abarca la zona costera sur de la península de Baja California, desde Punta Arenas hasta Cabo San Lucas, y abarcan la cuenca El Pescadero. Ocupa el 11% de la superficie del GC y es una de las tres regiones con menor variabilidad de temperatura (con valores de 21.33° hasta 30.81°C; fig. 15), con un promedio anual de 26.11 °C. Se caracteriza también por ser una de las dos zonas con menor concentración de clorofila *a* (registra de 0.19 a 1.25 mg m<sup>-3</sup>; fig. 16) con un promedio anual de 0.63 mg m<sup>-3</sup>, y por presentar bajos valores de carbono inorgánico

particulado (de 0.0001 a 0.0005 mol m<sup>-3</sup>; fig. 19), también presenta valores bajos de carbono orgánico particulado (de 62.83 a 234.68 mg m<sup>-3</sup>; fig. 20), y además baja atenuación de la luz (de 0.046 a 0.119 m<sup>-1</sup>; fig. 17). Esta es la tercera región con menor salinidad con 34.94 UPS y de concentración de fosfatos con 0.509 μmol/l (tabla IV).

La región 13 (Boca del Golfo) es la zona con mayor influencia del Océano Pacífico y tiene limitada variabilidad en la temperatura (de 21.55° a 29.06 °C). Esta porción del GC presenta los valores más bajos de clorofila *a* (de 0.164 a 0.597 mg m<sup>-3</sup>; fig. 16), valores bajos de carbono orgánico (de 50.74 a 126.03 mg m<sup>-3</sup>; fig. 20) e inorgánico particulado (de 0.0001 a 0.0003 mol m<sup>-3</sup>; fig. 19), por otra parte tiene además la más baja variabilidad de radiación fotosintéticamente activa (de 30.16 a 54.44 Einstein m<sup>2</sup> D; fig. 17), de atenuación de la luz (de 0.037 a 0.073 m<sup>-1</sup>; fig. 18), y de materia colorada disuelta (de 1.32 a 4.28 m<sup>-1</sup>; fig. 21). Es una de las tres regiones con menor concentración de silicatos (5.01 μmol/l) y la de menor salinidad 33.22 UPS y oxígeno disuelto con 4.63 ml/l (tabla IV).

Finalmente la región 14 (Islas Marías) situada entre las Islas Marías y el macizo continental, es una región oceánica que presenta la menor variabilidad de temperatura con valores de 24.4° a 31.6 °C (fig. 15) y un promedio anual de 28.10 °C con lo que se convierte en la región del Golfo con el promedio más alto de temperatura anual. Es una de las tres zonas que alcanza los valores más bajos de concentración de carbono inorgánico al presentar 0.00017 mol m<sup>-3</sup> (fig. 19), alcanza este valor durante el mes de noviembre, y tiene además baja variabilidad de radiación fotosintéticamente activa (de 33.36 a 58.39 Einstein m<sup>2</sup> D; fig. 18). Esta es la zona del Golfo de California con la menor concentración de fosfatos con 0.322 μmol/l, y tiene baja concentración de oxígeno disuelto con 4.83 ml/l (tabla IV).

### *Variabilidad mensual de las regiones oceanográficas*

A continuación se describe la variabilidad mensual a nivel región de las variables medidas por sensores remotos, las variables medidas *in situ* se describen en otro apartado, porque para esas variables no se pudo obtener el año tipo. Para facilitar la



interpretación, se siguen los mismos colores asignados en la regionalización oceanográfica.

La temperatura superficial del Golfo de California (fig. 15, anexo I) muestra un patrón estacional, siendo la temporada cálida durante los meses de junio a octubre y las temperaturas más frías de diciembre a Febrero. En todas las regiones se encontraron los valores más altos durante el mes de agosto, apreciándose mayor variabilidad en la región del Alto Golfo con intervalos de hasta 15°C. Las zonas del centro del Golfo (desde región 7 hasta la 10) presentan un comportamiento estacional muy similar, mientras que las de la entrada (región 11 a la 14) son las zonas que presentan la menor variabilidad.

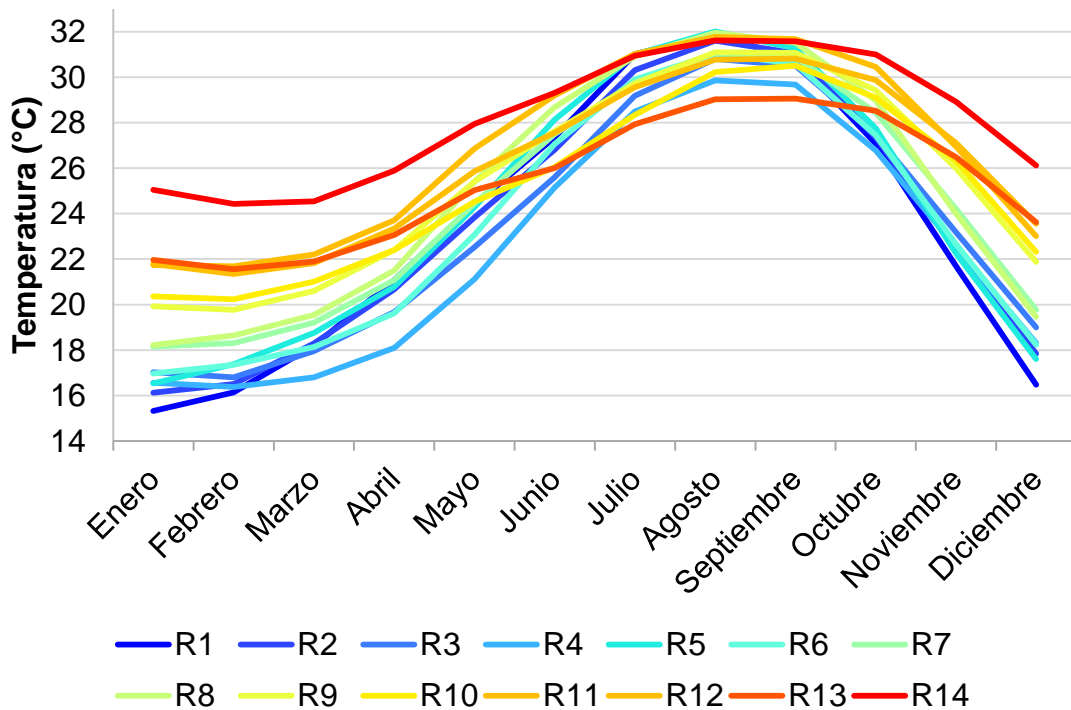


Figura 15 - Variabilidad mensual de temperatura del Golfo de California a nivel región.

La temperatura anual promedio de las regiones del norte del Golfo (R1-R6) es de 23.38 °C, mientras el promedio de las del centro del Golfo (R7-R10) es de 24.95 °C y las regiones del sur (R11-R14) presentan un promedio de 26.56 °C.

El año tipo de la clorofila *a* (fig.16, anexo II) por su parte, presenta los valores más altos en las regiones 5, 8, y 11, (es decir la zona costera desde Isla Tiburón hasta Nayarit), esto se presenta especialmente durante el invierno con valores entre 6 y 7.5  $\text{mg m}^{-3}$ . Las cifras descienden a sus valores mínimos durante los meses cálidos (junio – octubre). Las regiones del norte del Golfo (región 1 y 2) presentan poca variabilidad con valores de 2.5 a 3.5  $\text{mg m}^{-3}$  la mayor parte del año. Las regiones de la boca del Golfo (regiones 13 y 14) presentan los valores más bajos de todo el Golfo de California durante todo el año, normalmente inferiores a 1.5  $\text{mg m}^{-3}$ .

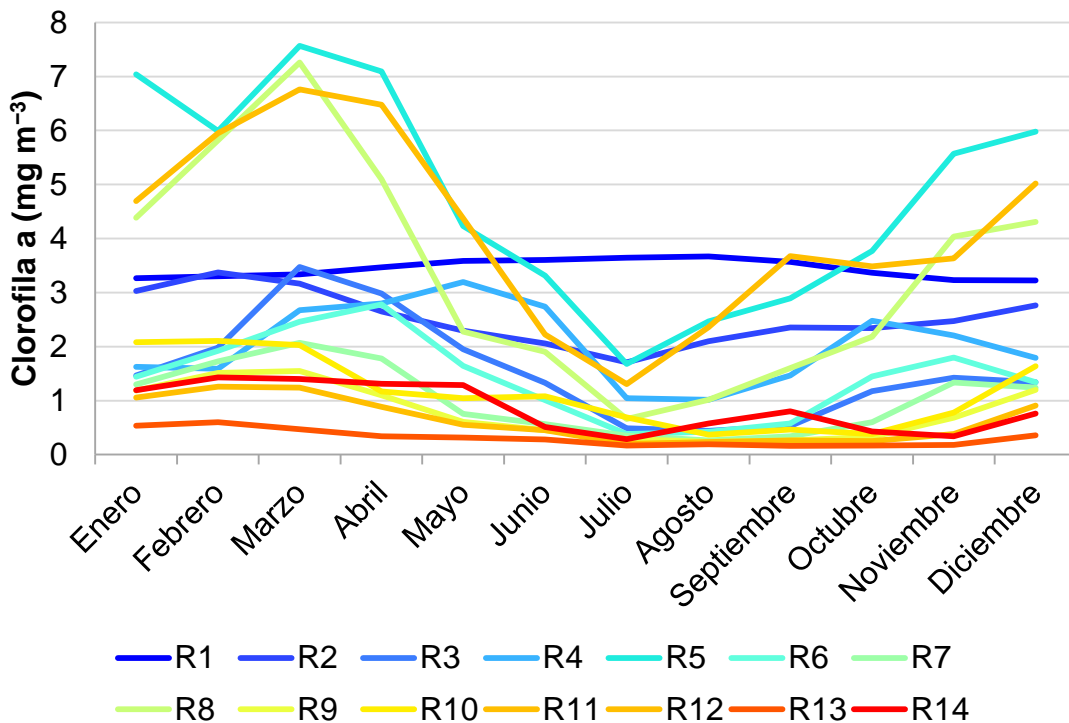


Figura 16 - Variabilidad mensual de clorofila *a* del Golfo de California a nivel región.

Las regiones del norte del Golfo (R1-R6) presentan un promedio anual de 2.63  $\text{mg m}^{-3}$ , las del centro del Golfo (R7-R10) presentan 1.58  $\text{mg m}^{-3}$  y finalmente el promedio en las regiones del sur (R11-R14) es de 1.49  $\text{mg m}^{-3}$ .

El año tipo de la atenuación de la luz (fig. 17, anexo III), observando un patrón similar al presentado por la clorofila *a*. Presenta en las regiones 5, 8 y 11 (desde Isla Tiburón hasta Nayarit) valores más altos durante la temporada fría (0.5 – 0.1 m<sup>-1</sup>) y alcanza los valores mínimos en los meses de junio a agosto (fig. 17). La región Delta del Río Colorado muestra los valores menos variables (entre 0.25 y 0.29 m<sup>-1</sup>) a lo largo del año. Por otra parte las regiones del centro y hacia el sur del Golfo (principalmente las oceánicas) presentan números bajos y poca variabilidad durante el año. En general los valores bajos se aprecian al sur del Golfo, y las regiones de mayor variabilidad (región 3, 5, 8 y 11) se encuentran del lado del macizo continental.

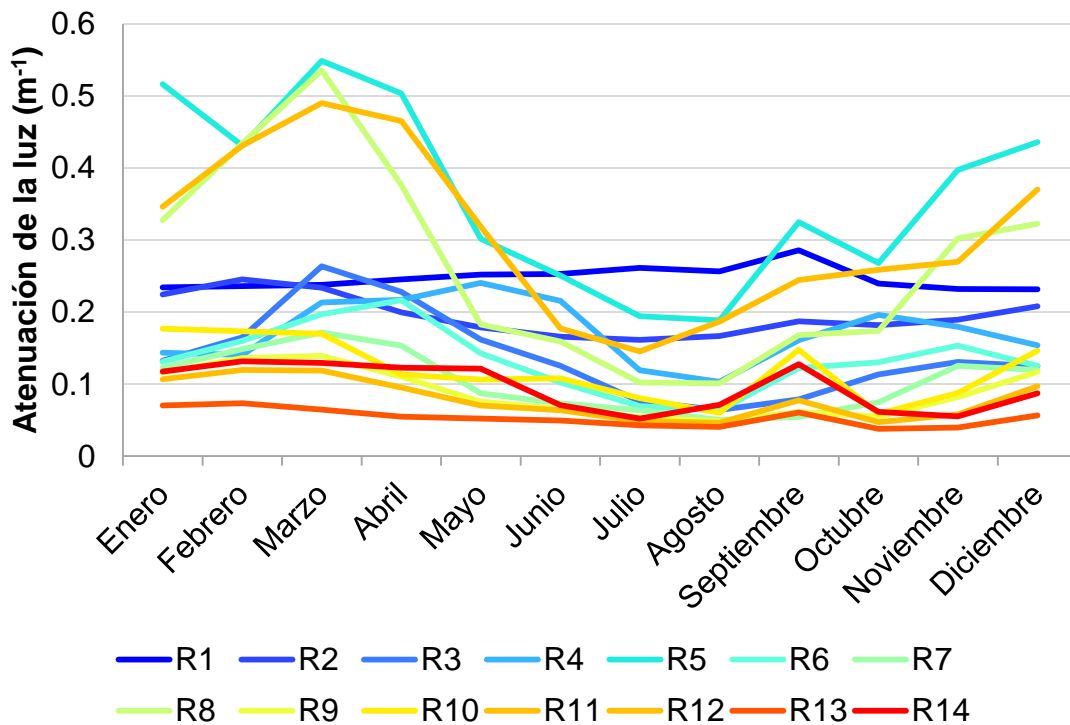


Figura 17 - Variabilidad mensual de atenuación de la luz del Golfo de California a nivel región.

El promedio anual de la atenuación de la luz para las regiones del norte del Golfo (R1-R6) es de 0.20 m<sup>-1</sup>, mientras que en el centro del Golfo (R7-R10) es de 0.14 m<sup>-1</sup> y para las regiones del sur (R11-R14) es de 0.13 m<sup>-1</sup>.

El año tipo de la radiación fotosintéticamente activa (fig. 18, anexo IV) muestra un patrón estacional, con los valores más altos en la primavera/verano (durante mayo-junio), y estos descienden al mínimo durante los meses de diciembre y enero. Las regiones del norte del Golfo (regiones 1, 2 y 3) presentan los valores más bajos la mayor parte del año (octubre a marzo), por el contrario, en las regiones del sur se tienen los valores más altos durante ese mismo periodo. Las regiones del centro del Golfo presentan valores intermedios respecto al norte y al sur.

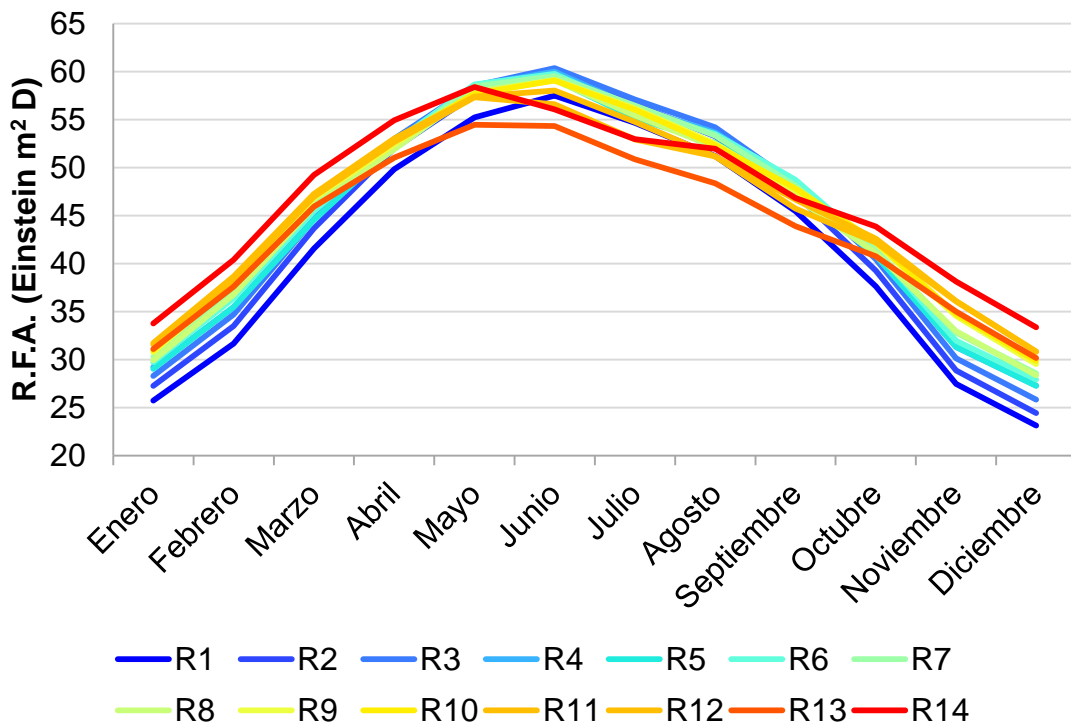


Figura 18 - Variabilidad mensual de radiación fotosintéticamente activa en el Golfo de California a nivel región.

En las regiones del norte del Golfo (R1-R6) el promedio anual es de 43.86 Einstein m<sup>2</sup> D, en las regiones del centro (R7-R10) es de 45.49 Einstein m<sup>2</sup> D, y en las regiones del sur del Golfo (R11-R14) se alcanza un promedio anual de 45.28 Einstein m<sup>2</sup> D.

El año tipo del carbono inorgánico particulado (fig. 19, anexo V) presenta los valores más altos y más variables en una zona del norte del Golfo, específicamente la región del Delta del Río Colorado y en el Alto Golfo (regiones 1 y 2) esto probablemente sea un dato mal calculado debido a que es una zona muy somera y la reflectancia del fondo incorpore ruido a la medida tomada por el sensor. Las regiones del centro presentaron poca variabilidad y las del sur concentraron los valores más bajos de todos (menores a  $0.01 \text{ mol m}^{-3}$ ).

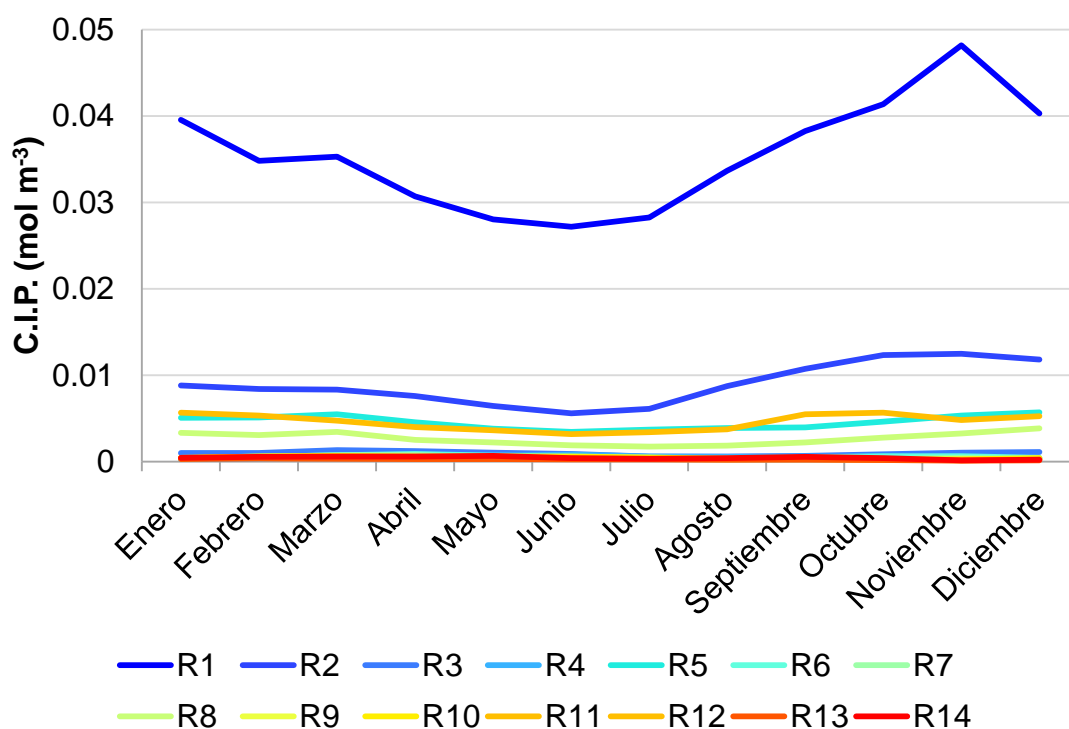


Figura 19 - Variabilidad anual del carbono inorgánico particulado en el Golfo de California a nivel región.

El promedio anual más alto se presenta en las regiones del norte del Golfo (R1-R6) con  $0.0085 \text{ mol m}^{-3}$ , el más bajo en las regiones del centro (R7-R10) con  $0.0010 \text{ mol m}^{-3}$ , y un valor de  $0.0014 \text{ mol m}^{-3}$  en las regiones del sur (R11-R14).

El año tipo del carbono orgánico particulado (fig. 20, anexo VI) presenta también un patrón estacional en algunas regiones con los valores más altos durante los meses fríos (noviembre a marzo) en la mayoría de las regiones, con concentraciones mayores en las regiones 5, 8 y 11, las cuales son adyacentes a los estados de Sonora y Sinaloa con valores superiores a los 550 mg m<sup>-3</sup>. Los valores más bajos de carbono orgánico se presentan durante la temporada cálida (especialmente en los meses de julio y agosto).

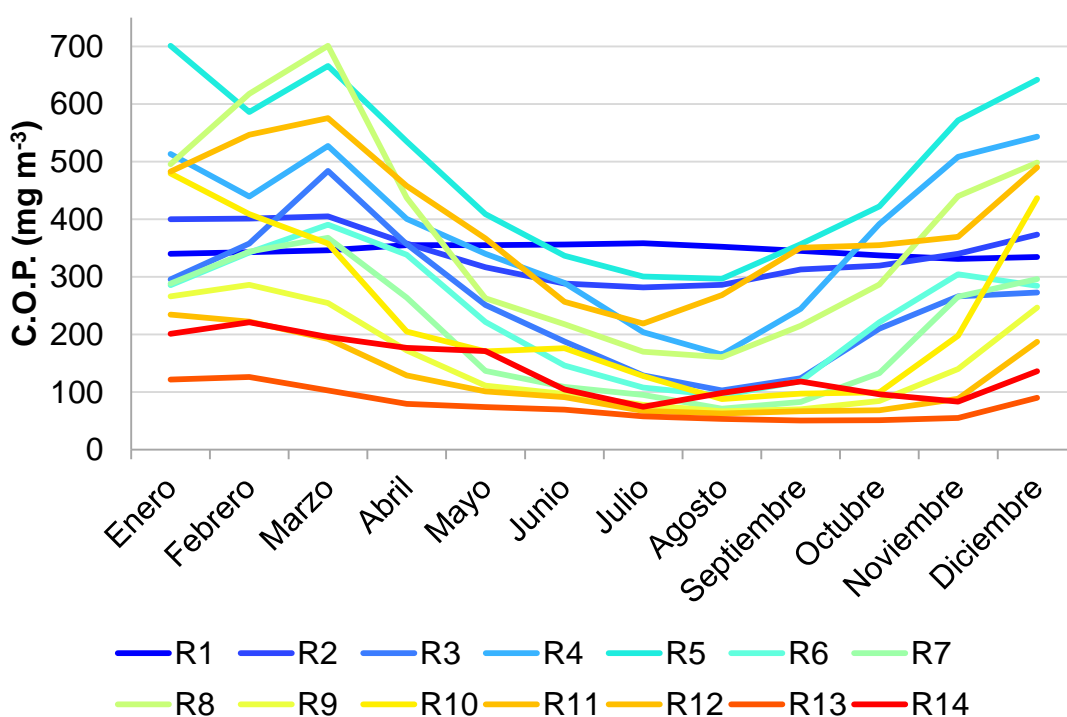


Figura 20 - Variabilidad mensual de carbono orgánico particulado en el Golfo de California a nivel región.

Las regiones del norte del Golfo de California (R1-R6) presentan de manera anual el promedio más alto con 340.47 mg m<sup>-3</sup>, mientras en las regiones del centro (R7-R10) las concentraciones de carbono descenden a 243.16 mg m<sup>-3</sup>, y en las regiones del sur se tiene el promedio anual más bajo con 184.50 mg m<sup>-3</sup>.

El año tipo de la materia coloreada disuelta (fig. 21, anexo VII), presenta los valores más altos durante la primavera en la región del Alto Golfo (región 2), con valores superiores a los  $6.5 \text{ m}^{-1}$ , mientras que en las regiones del sur del Golfo se presentan los valores más bajos con menos de  $2 \text{ m}^{-1}$ , esto ocurre en agosto, mes en que la mayoría de las regiones presentan los valores más bajos. Los valores más altos las regiones se presentan entre los meses de marzo y mayo.

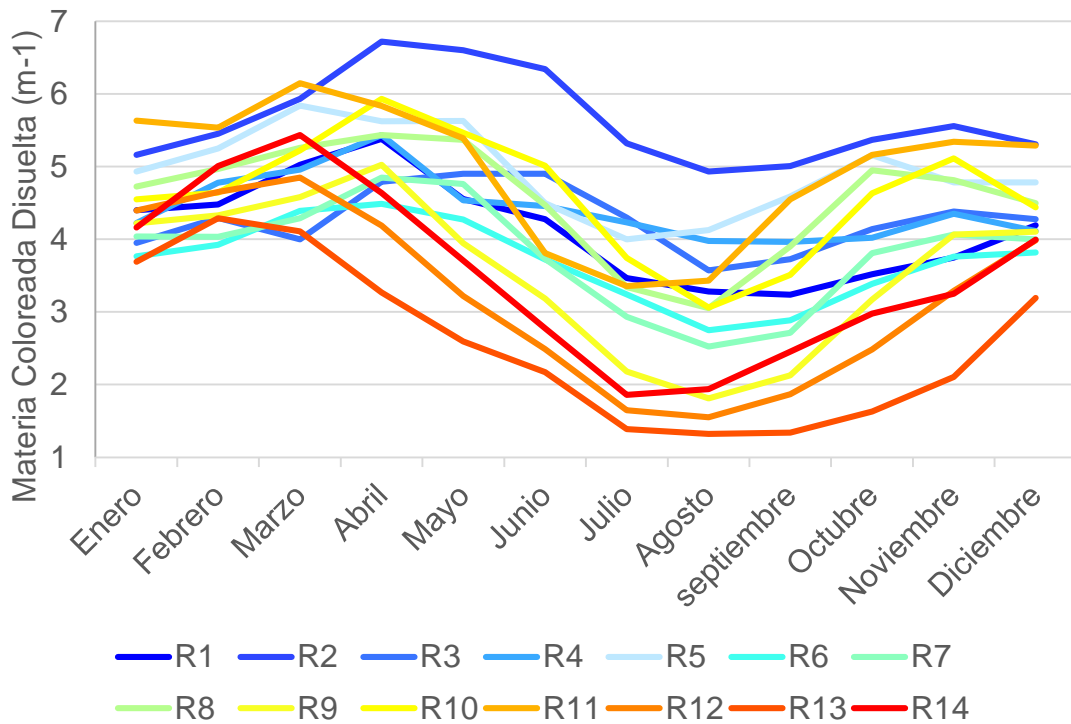


Figura 21 - Variabilidad mensual de la materia coloreada disuelta en el Golfo de California a nivel región.

Las regiones del norte del Golfo (R1-R6) son las que presentan los valores anuales más altos, con un promedio de  $4.51 \text{ m}^{-1}$ , para las regiones del centro (R7-R10) este valor promedio desciende a  $4.13 \text{ m}^{-1}$  y finalmente para las regiones del sur (R11-R14) el promedio anual para esta zona es de  $3.57 \text{ m}^{-1}$ .

### *Variables medidas in situ*

Las mediciones *in situ* (tabla IV, anexo VIII) muestran la existencia de un gradiente en los valores del oxígeno disuelto, fosfatos y salinidad disminuyendo de norte a sur, con valores especialmente altos en el norte del Golfo, desde el sur de las Grandes Islas hasta el delta del Río Colorado (R1-R5). Los valores más bajos se presentan en las regiones de entrada del Golfo, desde la región 11 a la 14.

TABLA IV - valores promedio de las variables medidas *in situ*.

<b>Región</b>	<b>Salinidad (ups)</b>	<b>Fosfatos (<math>\mu\text{mol/l}</math>)</b>	<b>Silicatos (<math>\mu\text{mol/l}</math>)</b>	<b>Oxígeno disuelto (ml/l)</b>
R1	36.117	1.014	13.372	5.118
R2	35.720	0.992	13.839	5.379
R3	35.370	0.898	16.649	5.646
R4	35.184	1.289	19.716	4.821
R5	35.250	1.354	16.808	5.701
R6	35.217	1.327	13.132	5.085
R7	35.304	0.865	5.556	5.063
R8	35.271	0.875	5.246	4.930
R9	35.126	0.713	4.637	5.086
R10	35.026	0.610	3.072	5.107
R11	34.817	0.557	10.391	4.910
R12	34.946	0.509	5.955	4.863
R13	33.230	0.426	5.011	4.632
R14	35.339	0.322	12.696	4.840



## Regionalización biológica

### *Regionalización a nivel phylum*

El análisis de k – promedios para cada phylum, y la exploración visual de las regionalizaciones obtenidas, indicó un total de siete grupos o regiones para los moluscos y equinodermos, ocho para artrópodos y anélidos y seis para los cnidarios (fig. 22).

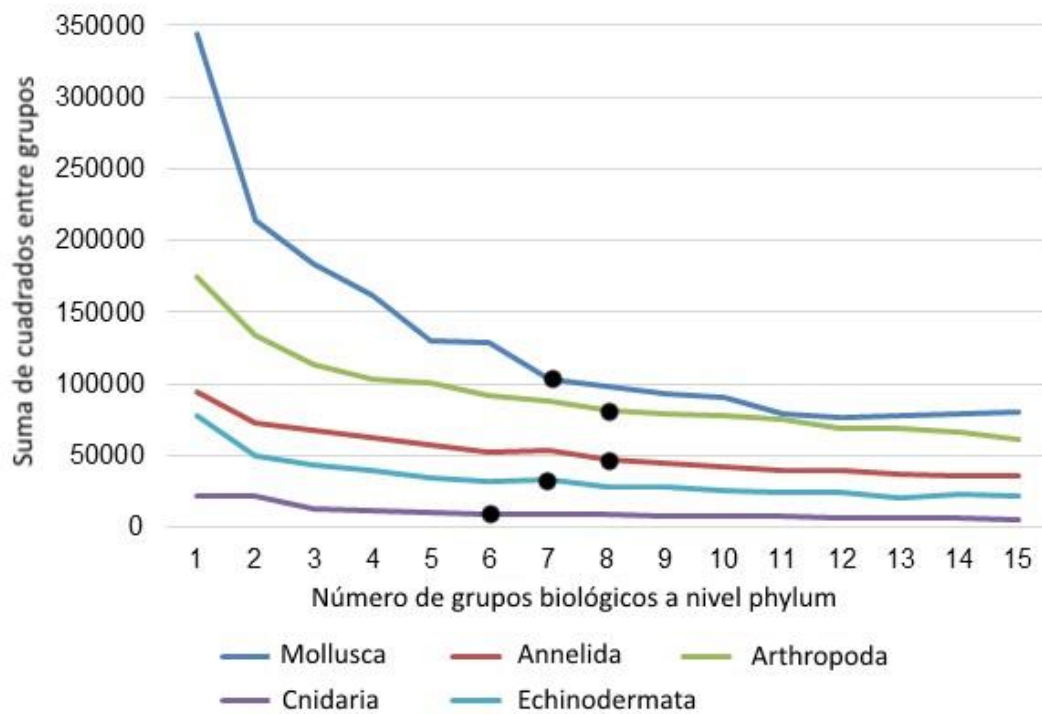


Figura 22 - Índice de k – promedios para los cinco fila seleccionados de macroinvertebrados del Golfo de California.

Para ejemplificar la distribución de los macroinvertebrados en el Golfo de California, se presenta un mapa de riqueza específica (fig. 23), el cual es la suma de todos los rasters de distribución geográfica para las 3,496 especies y expresa cuantas de ellas habitan en cada una de las 3,502 celdas de 9 km<sup>2</sup>. Es claro el gradiente de riqueza de sur a norte, y de este a oeste, siendo más el número de especies en zonas tropicales y en la plataforma continental desde Guaymas hasta el estado de Nayarit.

También es claro que la mayor riqueza se presenta en la zona costera, disminuyendo hacia las zonas más profundas, y especialmente en las cuencas y en la entrada del Golfo, la cual presenta la mayor profundidad del área y conecta con el Océano Pacífico.

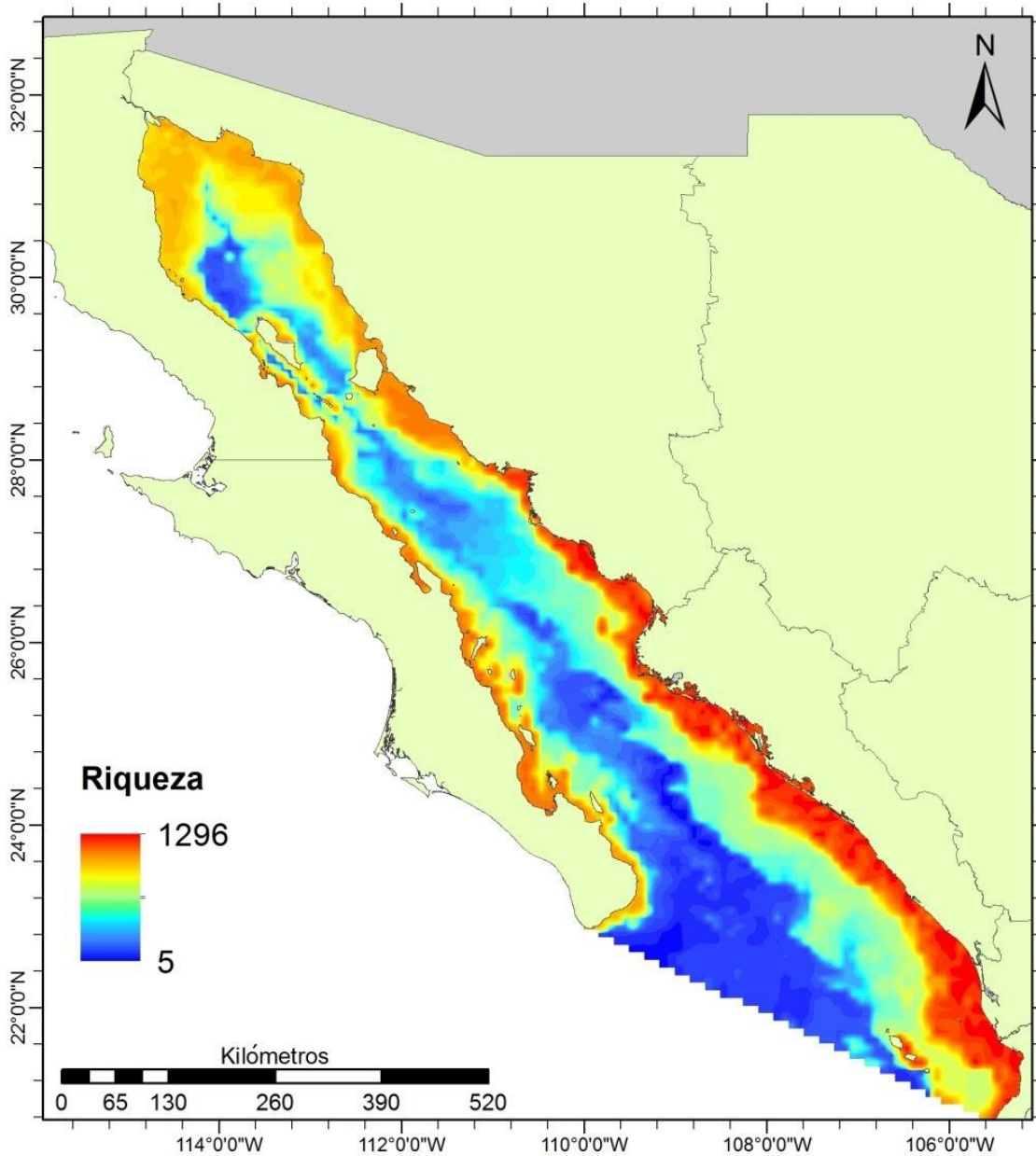


Figura 23 - Riqueza específica de macroinvertebrados en el Golfo de California.

La regionalización del phylum Mollusca presenta siete divisiones, tres en zona costera y cuatro localizadas en zonas oceánicas (fig. 24A). La composición de las especies señala una diferenciación por grupos (fig. 24B) estando dentro de una misma rama las regiones costeras (R1, R3 y R5), y las oceánicas (R2, R4, R6 y R7) en otra rama del dendrograma. La mayor riqueza de especies (fig. 24C) se encuentra en R5 que abarca desde Guaymas, hasta Bahía de Banderas. En general la zona costera presenta la mayor riqueza con regiones con más de 600 especies cada una, mientras las zonas oceánicas presentan menos de 250 especies. Incluso hay zonas donde no se han llevado estudios sobre este phylum y hay aparente ausencia de especies en algunas de las cuencas y zonas más profundas del Golfo de California.

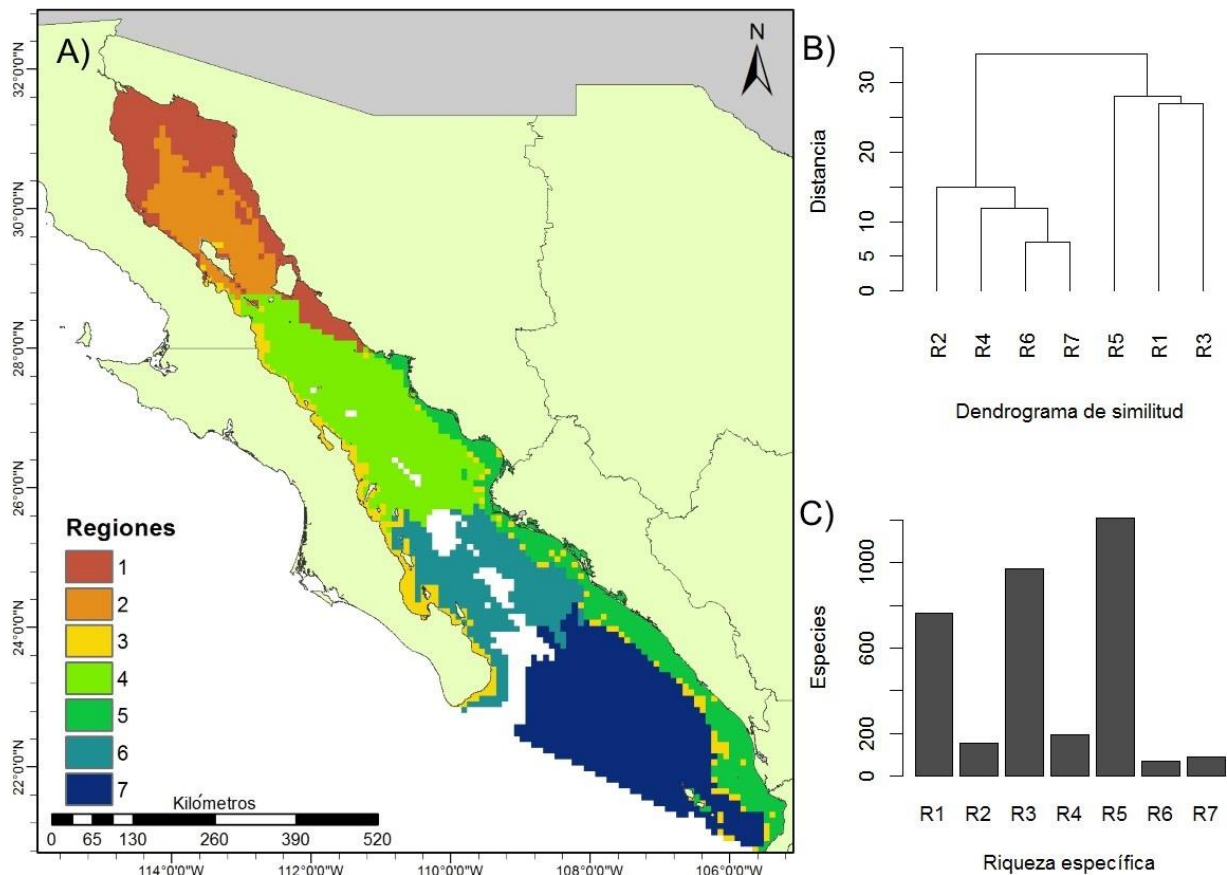


Figura 24 - A) Regionalización del phylum Mollusca. B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. C) Riqueza de específica de especies a nivel región.

La regionalización de los equinodermos (fig. 25A) incluye siete secciones que se diferencian en riqueza y composición. La mayor similitud está entre las regiones 2, 4 y 6 (fig. 25B) las cuales presentan la mayor riqueza con más de 100 especies (fig. 25C). Esos sitios abarcan la zona costera del Golfo, excepto la región del Alto Golfo, la cual se agrupa con las regiones 3, 5 y 7 que corresponden a zonas oceánicas con una riqueza de especies inferior a las 100 especies.

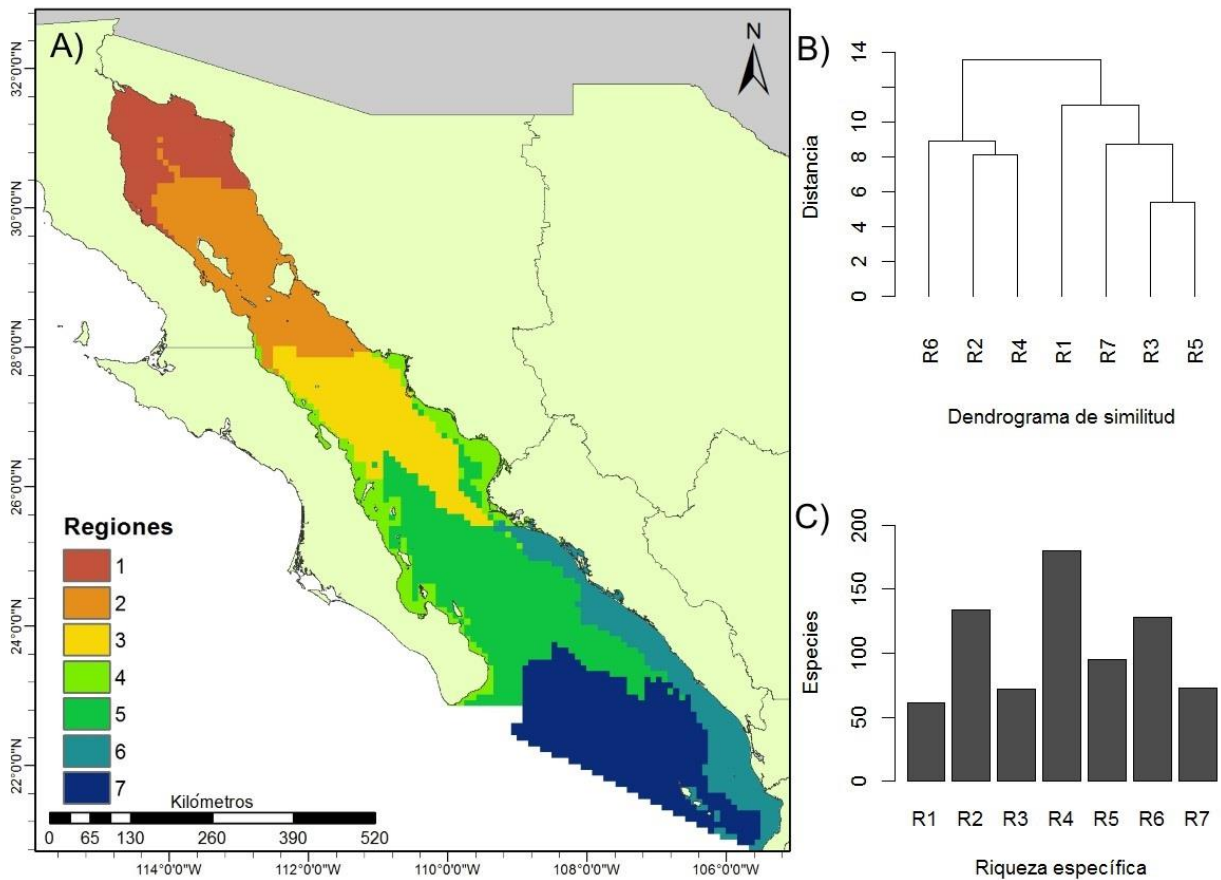


Figura 25 - (A) Regionalización del phylum Echinodermata. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región.

La distribución de los Cnidarios se encuentra restringida a las zonas más costeras del Golfo, aparentemente sin registros para las zonas de mayor profundidad (fig. 26A). El dendrograma muestra una diferenciación de la R4 y R1 respecto al resto de las regiones, las cuales se agrupan dentro del mismo nodo (fig. 26B). La riqueza de especies es inferior en la R5 con menos de 25 mientras las demás superan las 60 (fig. 26C).

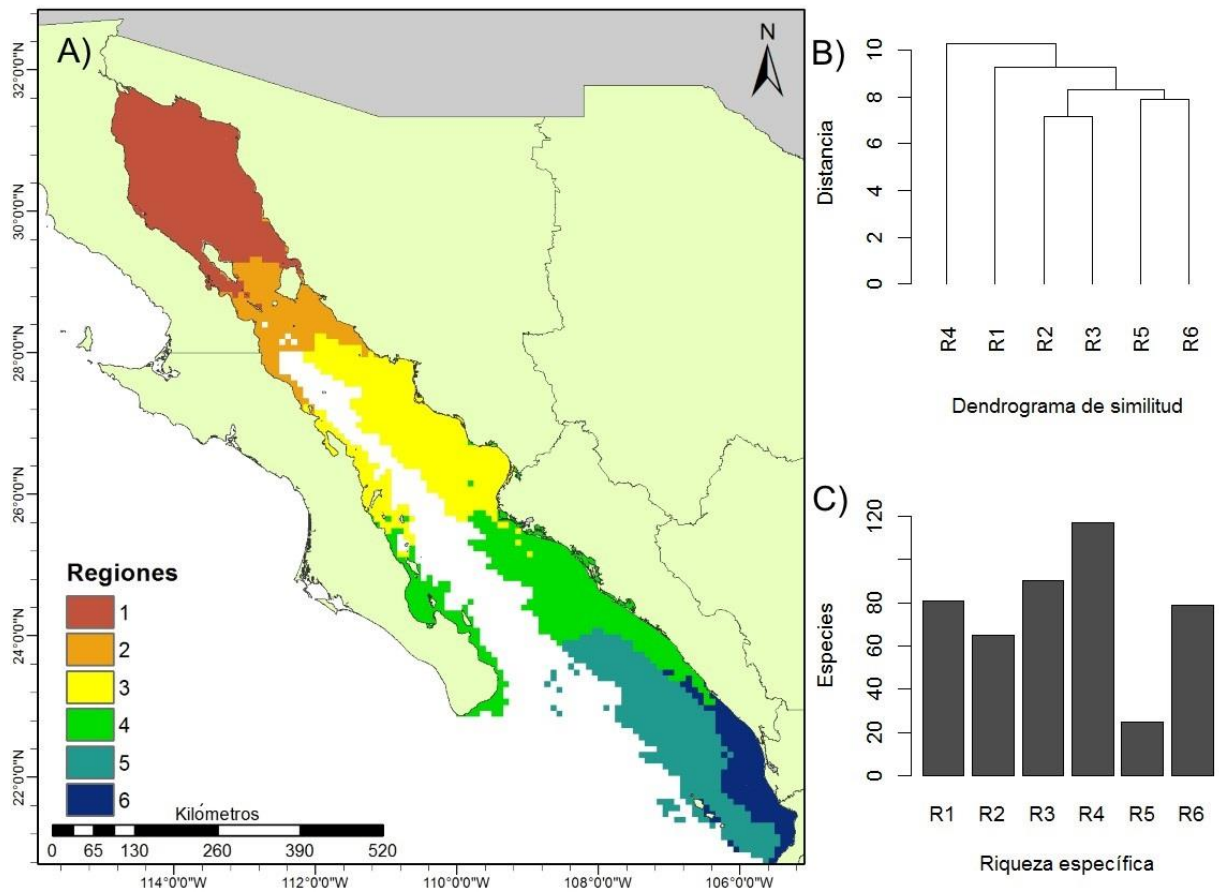


Figura 26 - (A) Regionalización del phylum Cnidaria. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región.

La regionalización del phylum Arthropoda (fig. 27A) muestra ocho regiones, tres en la zona costera (R1, R5 y R6), las cuales presentan alta similitud y se agrupan en el mismo nodo (fig. 27B). Las regiones oceánicas (R2, R3, R4, R7, R8), se agrupan en el siguiente nodo, estas regiones presentan la menor riqueza con menos de 200 especies (fig. 27C). En las partes costeras la riqueza supera las 400 especies, y la máxima está en la región 5 con 730 especies; esta comprende la costa peninsular desde Bahía de San Francisquito hasta Cabo San Lucas, con algunos pixeles en la costa continental, entre los estados de Sonora y Sinaloa.

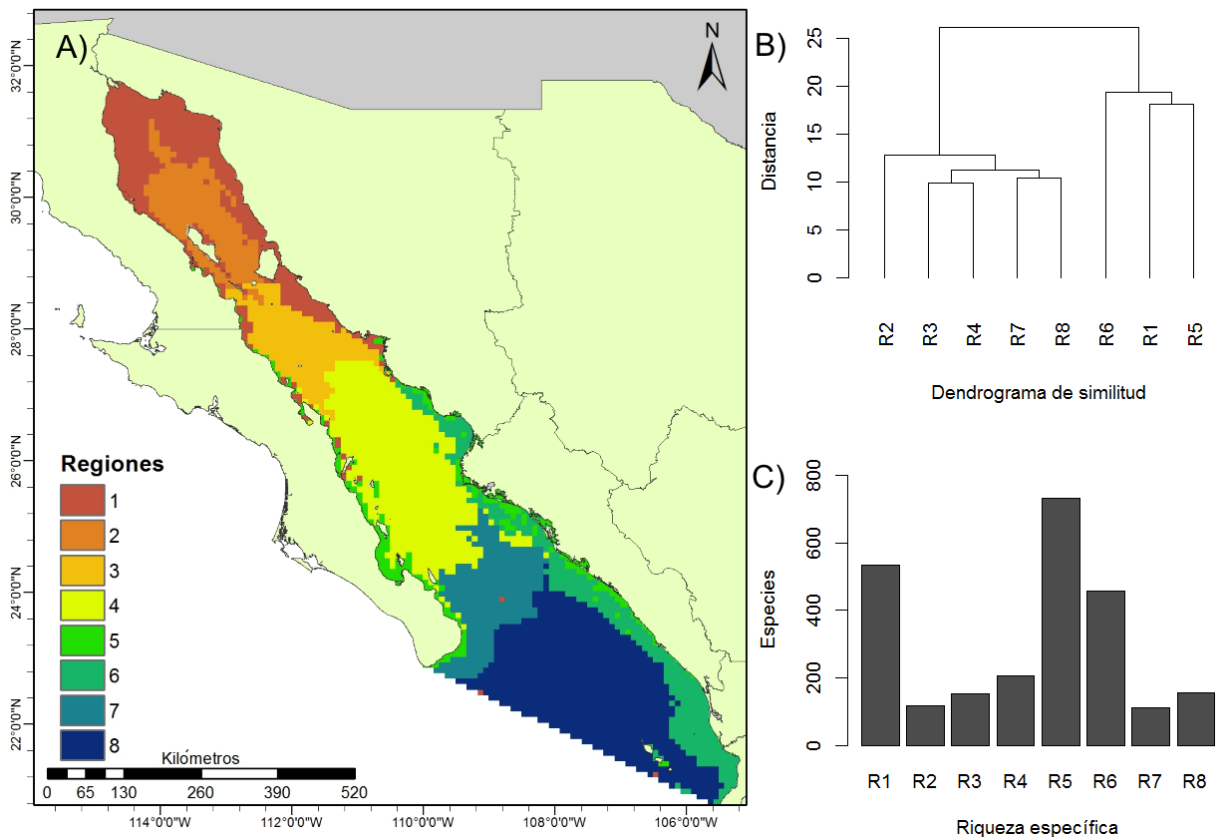


Figura 27 - (A) Regionalización del phylum Arthropoda. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies.

Se formaron 8 regiones para el phylum Annelida (fig. 28A), de las cuales R3, R5 y R8 son mayormente costeras (fig. 28B). La región tres abarca ambas costas (peninsular y continental) presentando la mayor riqueza con más de 300 especies (fig.



28C). Finalmente, las regiones que abarcan aguas oceánicas (R1, R2, R4, R6, R7) presentan menor riqueza respecto a las costeras, siempre con menos de 200 especies en cada región.

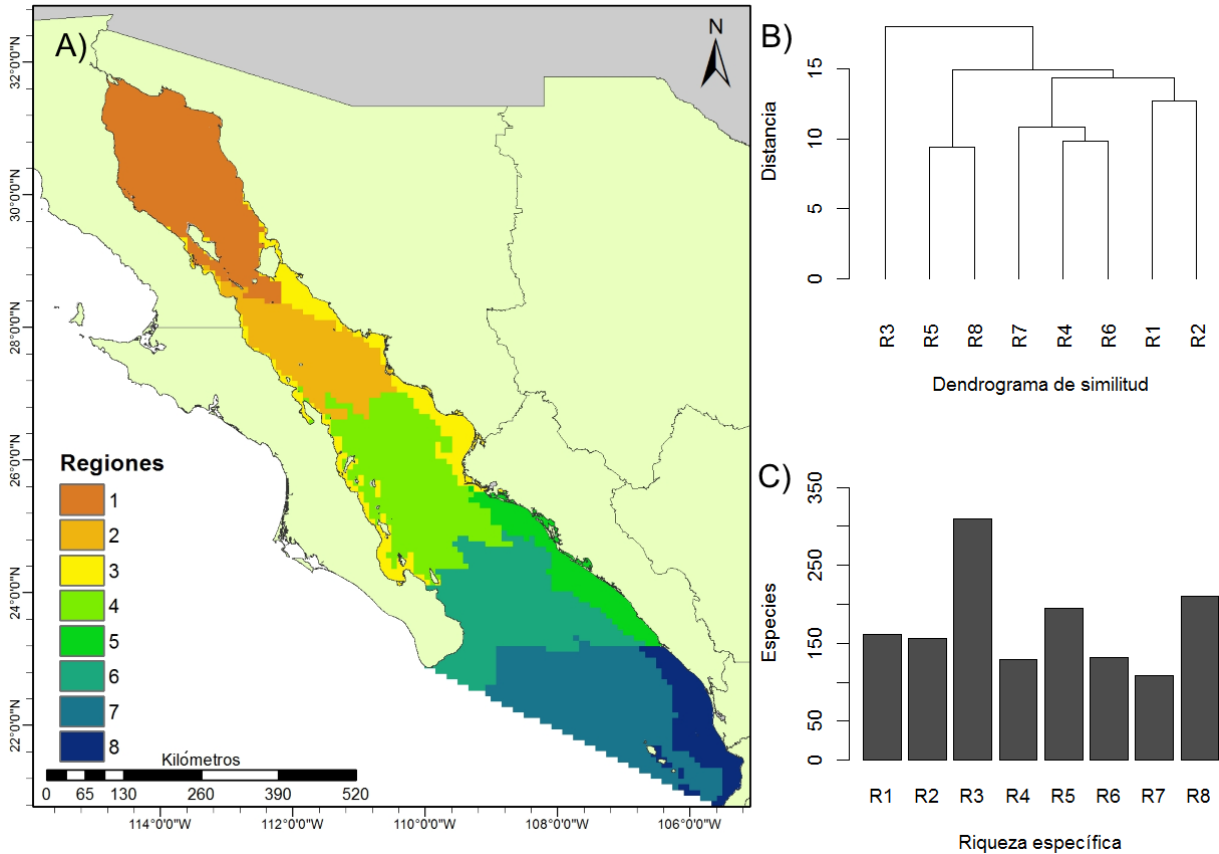


Figura 28 - (A) Regionalización del phylum Annelida. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región.

### *Regionalización general de macroinvertebrados*

La propuesta de regionalización general de los macroinvertebrados del Golfo de California (fig. 29A) obtenida mediante el coeficiente de Gower (1971) a partir de la ponderación de las cinco regionalizaciones biológicas presentadas anteriormente, presenta 9 grupos; 6 en las zonas de gran profundidad y 3 en la zona costera. Las regiones costeras fueron la R1, R5 y R7, la primera rodea el norte del Golfo, desde San Francisquito hasta Guaymas, la R5 se encuentra en dos segmentos, uno incluye la zona costera continental, desde Guaymas hasta Topolobampo, y el otro la costa península que llega hasta la Isla Cerralvo. La R7 incluye el resto de la costa peninsular

desde la isla Cerralvo hasta Cabo San Lucas y en el lado continental desde Topolobampo hasta Bahía de Banderas. Estas tres regiones costeras presentaron alta similitud biológica (fig. 29B), y riqueza de especies superior a las 2,000 a nivel región (fig. 29C).

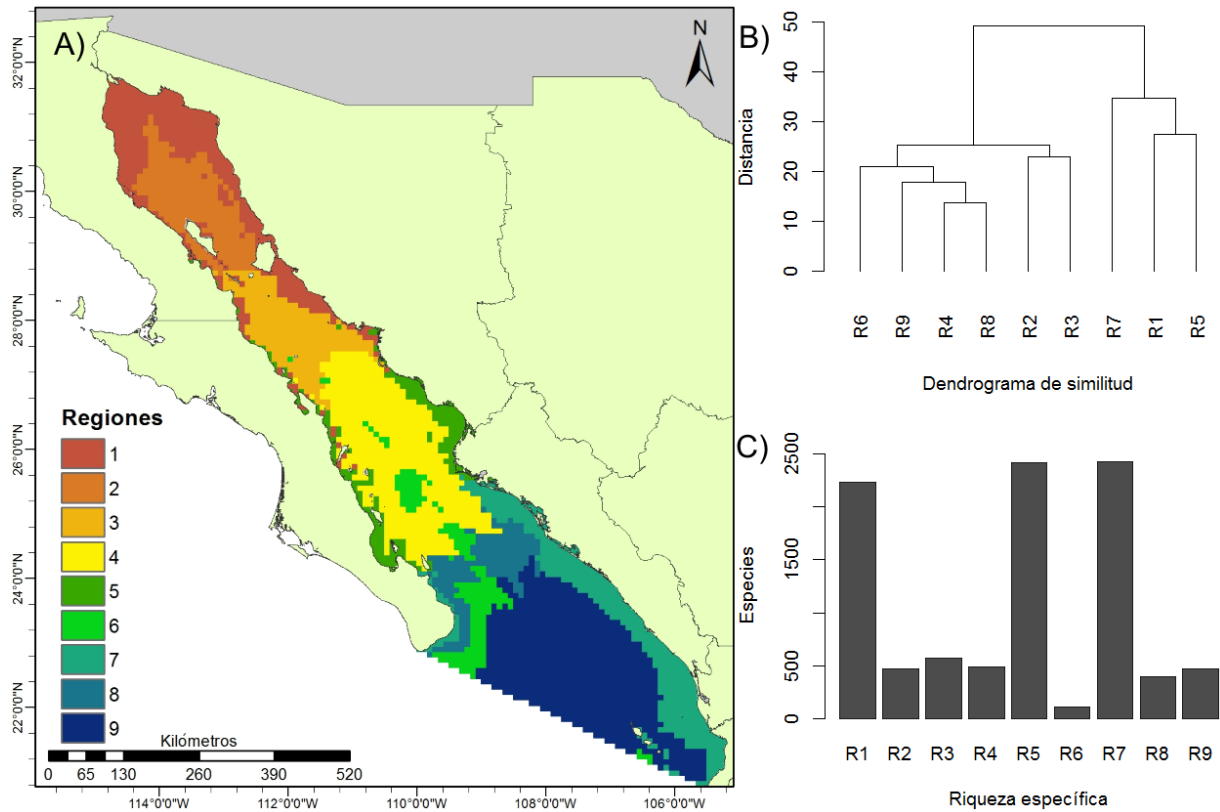


Figura 29 - (A) Regionalización biológica del Golfo de California. (B) Dendrograma de similitud biológica entre regiones. (C) Riqueza de específica de especies a nivel región.

Para las regiones oceánicas, hubo dos grupos importantes, las R2 y R3 ubicadas en el norte y centro del Golfo, y el grupo de las regiones del sur (R4, R6, R8, R9). En general, las regiones oceánicas presentaron la menor riqueza de especies (no más de 700 especies en total) siendo la R6 (cuencas oceánicas) la de menor diversidad al tener menos de 250 especies.



## **Biomás del Golfo de California**

Finalmente, al unir las características oceanográficas y biológicas mediante la ponderación de las distintas regionalizaciones (con ponderación del 50% oceanográficas y 50% para las regiones biológicas) presentadas previamente para formar biomas marinos, se encontraron un total de 10 para el Golfo de California (fig. 30A), seis biomas oceánicos y cuatro costeros. Todos los primeros presentaron segmentos en la península y en el macizo continental.

De norte a sur, los biomas costeros son el B1, el cual abarca el área del Alto Golfo desde la Bahía de San Luis Gonzaga hasta el norte del Canal del Infiernillo. El bioma B2 se presenta desde el Canal de Ballenas hasta San Francisquito en el lado peninsular, y desde el Canal del Infiernillo hasta Guaymas en su parte continental. El bioma B6 ocupa desde San Francisquito hasta Punta Arenas en la península, y desde Guaymas hasta los 23°N en el lado continental. Finalmente el bioma B8, que va desde Punta Arenas hasta Cabo San Lucas y desde los 23°N hasta Bahía de Banderas en el lado continental. Estos cuatro biomas costeros (B1, B3, B6 y B8) en el análisis de similitud biológica (fig. 30C) están dentro del mismo grupo, con B6 y B8 en un subgrupo y B3 con B1 en el otro, los cuales geográficamente están contiguos. Mientras que por similitud oceanográfica solo agruparon en el mismo nodo el bioma B6 con B3. Los biomas B6 y B8 presentaron la mayor riqueza, siendo superior a 2,000 especies cada uno, seguidas por el bioma B1 y B3, las cuales tienen una riqueza entre 1,000 y 1,700 especies cada uno (fig. 30D). Por otra parte dentro de los biomas oceánicos (B2, B4, B5, B7, B9 y B10), el bioma B2 está ubicado en el norte del Golfo y se agrupó por similitud oceanográfica con los biomas costeros B1 y el B8 (fig. 30B), mientras que biológicamente lo hizo con los biomas oceánicos B4 y B5 (fig. 30C). Por otra parte oceanográficamente los biomas B4 y B5 presentan mayor similitud con el bioma B7, estos tres biomas se encuentran en el centro del Golfo de California. Finalmente los biomas B9 y B10 ubicados al sur del Golfo, oceanográficamente se agrupan en el mismo nodo, mientras que por similitud biológica se agrupan también con el bioma B7 (fig. 30C). Los biomas oceánicos presentan una riqueza de menos de 500 especies cada una, es decir un 20% del número de especies que habitan los biomas costeros (fig. 30D).

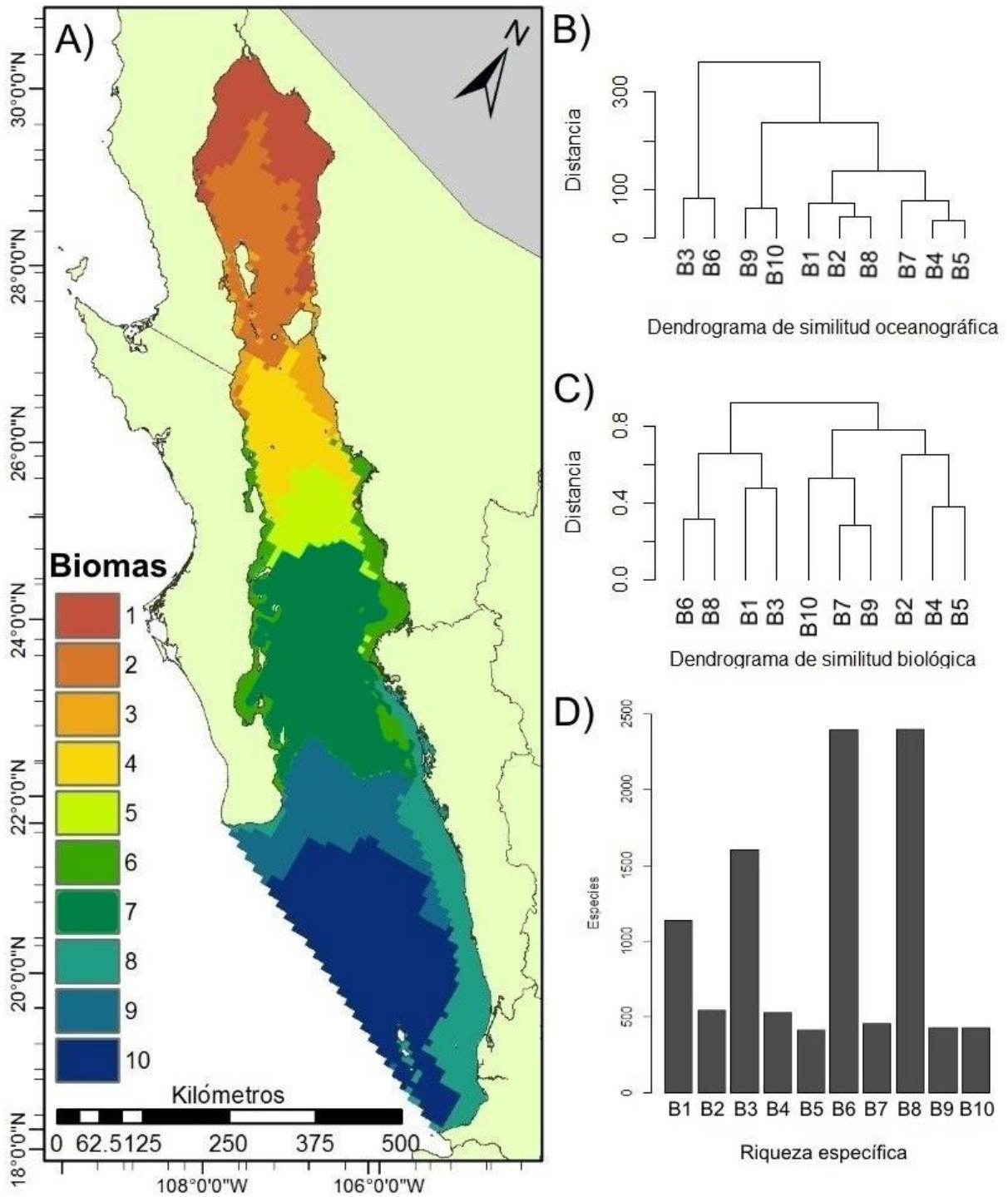


Figura 30 - (A) Biomás del Golfo de California. (B) Dendrograma de similitud oceanográfica entre biomas. (C) Dendrograma de similitud biológica entre biomas. (D) Riqueza de especies a nivel bioma.

## DISCUSIÓN

### Regionalización oceanográfica

El Golfo de California presenta características bastante diferenciables en la distribución de la fauna y en las características oceanográficas, y es por ello que diversos autores desde hace más de 70 años lo han subdividido en regiones para simplificar el análisis de la complejidad biológica y ambiental del mismo. En el aspecto oceanográfico se han descrito de 2 a 14 regiones, a partir de mediciones *in situ* (Allen, 1937; Cupp y Allen, 1938; Sverdrup, 1941; Gilbert y Allen 1943; Round 1967; Roden y Emilson, 1979; Lavin y Marinone, 2003), datos de sensores remotos (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994; Gaxiola-Castro *et al.*, 1995; Arias-Arechiga, 1998; Lluch-Cota y Arias-Arechiga, 2000; Kahru *et al.*, 2004, Hidalgo-Gonzalez y Alvarez-Borrego, 2004; Ulloa *et al.*, 2006) e incluso simulaciones de corrientes superficiales y conectividad hidrográfica (Marinone, 2012; Santiago-García *et al.*, 2014). Las variables utilizadas para realizar esas zonaciones fueron la temperatura, el fitoplancton, pigmentos fotosintéticos, atenuación de la luz y modelos de corrientes marinas. En ese sentido, la propuesta de zonación oceanográfica presentada en este trabajo (fig. 12), contiene una serie de variables (materia coloreada disuelta, carbono orgánico e inorgánico particulado y radiación fotosintéticamente activa) que no fueron consideradas anteriormente. Además, incorpora por primera vez variables químicas del océano para su regionalización en el Golfo de California, estas variables son los silicatos, fosfatos, oxígeno disuelto y finalmente la salinidad. El uso de estas características físico-químicas da un mayor sustento a la regionalización, ya que no se enfoca en un solo tipo de variables y aunque no se pudo determinar el año tipo de las variables químicas, debido que no se lleva un monitoreo adecuado espacial y temporal para todo el Golfo, al acumular los registros históricos, promediarlos e interpolarlos, los resultados muestran la amplia variabilidad en la concentración de nutrientes en el Golfo, y demuestran un gradiente de sur a norte de estos valores (tabla IV, anexo VIII), para reforzar así la existencia de una diferenciación latitudinal en el Golfo de California.

Algunas de las regiones oceanográficas encontradas en este trabajo que ya han sido señaladas por otros autores son, la región Delta del Río Colorado (R1) la cual

aparece en el trabajo de Santamaría del Ángel y colaboradores en 1994, Lavín y Marinone en 2003, y Kahru y colaboradores en 2004, los autores encontraron esta región al trabajar con valores de temperatura y clorofila *a*, pese a que la regionalización de esta tesis se realizó con un conjunto de 11 variables oceanográficas, características como la variabilidad de la temperatura, de carbón inorgánico particulado y alta salinidad hacen de esta zona una región con características únicas dentro del Golfo de California, esta región también aparece en el trabajo de Marinone (2012) y Santiago-García y colaboradores (2014), al presentar pequeños giros y corrientes residuales. Otra región aquí propuesta, y que ha sido delimitada como región por otros autores es la zona de las Grandes Islas, la cual aparece en los trabajos de Lluch-Cota y Arias Arechiga (2000), Lavín y Marinone (2003) y Kahru y colaboradores (2004). Lavín y Marinone (2003) establecen esta zona por sus características físicas, la cual presenta una fuerte mezcla por mareas, por lo que se puede deducir que esta región es de las más distintivas del GC ya que aparece al analizar no solo la oceanografía física, sino también por las variables medidas por el color del océano y además por la alta concentración de nutrientes. Respecto a la oceanografía física, las regiones oceánicas definidas en la tesis son consistentes con los giros oceanográficos del Golfo de California reportados por Lavín y colaboradores, 1997, Pegau y colaboradores en 2002 y Zamudio y colaboradores en 2008. Los primeros autores describen un gran remolino estacional reversible y que abarca la región Golfo Norte. Al centro y sur del Golfo, describen la presencia de varios remolinos que cambian con la circulación estacional del Golfo, ya que los patrones de corrientes son generalmente ciclónicos en verano y anticiclónicos en invierno (Sánchez-Velasco *et al.*, 2009). Las regiones oceánicas delimitadas en esta tesis pertenecen a zonas de presencia de continuos remolinos a mesoescala, y probablemente estas regiones sean el reflejo del efecto del afloramiento de nutrientes, la mezcla de las distintas masas de agua (de origen y composición distinta), especialmente en la entrada y centro del Golfo (Trasviña *et al.*, 1999) que ayudaron a delimitar las regiones en mar abierto de este trabajo.

Si bien, aunque esta regionalización diferencia las zonas costeras de las oceánicas, pero concuerda en términos generales con el patrón de tres grandes regiones: norte, centro y sur, es decir, regiones de templado a tropical (López-Martínez

*et al.*, 2012) con las que es segmentado el Golfo de California tradicionalmente. Es entendible que regularmente se use un número limitado de regiones con cortes a lo ancho del Golfo, debido a que son más fáciles de entender y que en los primeros estudios no se contaba con información detallada y a gran escala como en la actualidad, prueba de ello es que con el primer trabajo con imágenes de satélite para el GC (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994), el número de regiones se incrementó a 14 cuando con anterioridad se manejaban de 2 a 4 zonas. Como se puede apreciar en estos resultados (fig. 15-21, anexo I-X) las zonas costeras y oceánicas poseen características distintas, no solo en las condiciones ambientales, sino también en la distribución de algunas especies (fig. 24-28) por lo que una regionalización adecuada, debe diferenciar las zonas costeras y las oceánicas.

Los resultados indicaron que la formación de las regiones se debe a un intenso cambio en la mayoría de las variables ambientales que se da estacionalmente, donde, cada región responde con poca o alta variabilidad, dependiendo de su latitud y si se trata de una zona oceánica o costera, por ejemplo, en las condiciones de temperatura y clorofila *a*, usadas en las regionalizaciones marinas donde la temperatura se toma como el componente físico, y la clorofila *a* como el componente biológico (González-Silvera *et al.*, 2004) los intervalos son más altos en el alto Golfo, para las temperaturas, mientras que la concentración de clorofila también se presenta un patrón estacional, especialmente en las regiones costeras de los estados de Sonora y Sinaloa, mientras al norte del Golfo se mantienen valores altos la mayor parte del año y las concentraciones bajas de clorofila se localizan al sur. Se encontró además una alta correlación entre variables (anexo XI), por ejemplo la Clorofila *a* con la atenuación, en invierno cuando se tiene los valores más altos de esta variable, se correlacionan en un 99% con la atenuación de la luz, y superior al 90% con el carbono orgánico disuelto, debido a la contribución que hacen las proliferaciones de fitoplancton en el carbono, el cual se ha estimado que es entre el 70 y 80% (Hernández-Alfonso, *et al.*, 2007) mientras que en temporada cálida y con menor cantidad de clorofila en el Golfo, el fitoplancton se correlacionó en un 90% con el carbono inorgánico particulado, debido a la incorporación de carbono inorgánico por los cocolitofóridos (Fernández *et al.*, 1993). Por otra parte, la temperatura superficial en temporada fría se correlacionó con

la radiación fotosintéticamente activa, probablemente debido a que en invierno el florecimiento del fitoplancton se incrementa en el Golfo, relacionado con las bajas temperaturas. Este incremento en los pigmentos fotosintéticos hacen que la actividad fotosintética de estos organismos sea mejor detectada por los sensores. Además de la radiación fotosintética, las temperaturas bajas se correlacionaron negativamente con las concentraciones de fosfato (-89%) y es que estos últimos son especialmente altos al norte del Golfo, mientras que las temperaturas son bajas en esa zona y altas al sur, donde se tienen características templado-tropicales y las concentraciones de fosfatos disminuyen, sin embargo, este efecto de disminución del fosfato aparentemente no es causalidad de las altas temperaturas, contrario a lo que ocurre con la salinidad con la que tiene presenta una correlación del 72% y es que las altas temperaturas en verano hacen del Golfo una cuenca de evaporación (Roden, 1958), haciendo el agua hasta 2.8 UPS (Tabla IV) más salina en las regiones del norte que en la boca, la cual está en contacto con el pacífico. Para facilitar la interpretación de las correlaciones y la variabilidad de las condiciones ambientales del Golfo, se presenta un análisis de componentes principales (fig. 31) en la que se muestran los dos primeros componentes, los cuales explican en conjunto la variabilidad del 66% de los datos (49.8 y 16.6 % respectivamente), se presentan los eigenvectores de las distintas variables oceanográficas en sus condiciones máximas y mínimas, así como la localización en el eigenespacio generado para las 14 regiones oceanográficas. En la gráfica se muestra la amplia variabilidad estacional de las condiciones, así como las correlaciones descritas anteriormente, además de la distancia entre regiones, por lo que se fundamenta la necesaria utilización de distintas variables físico-químicas en mares de alta variabilidad como lo es el Golfo de California (Soto-Mardones *et al.*, 1999; Álvarez-Borrego, 2010; Escalante *et al.*, 2013).

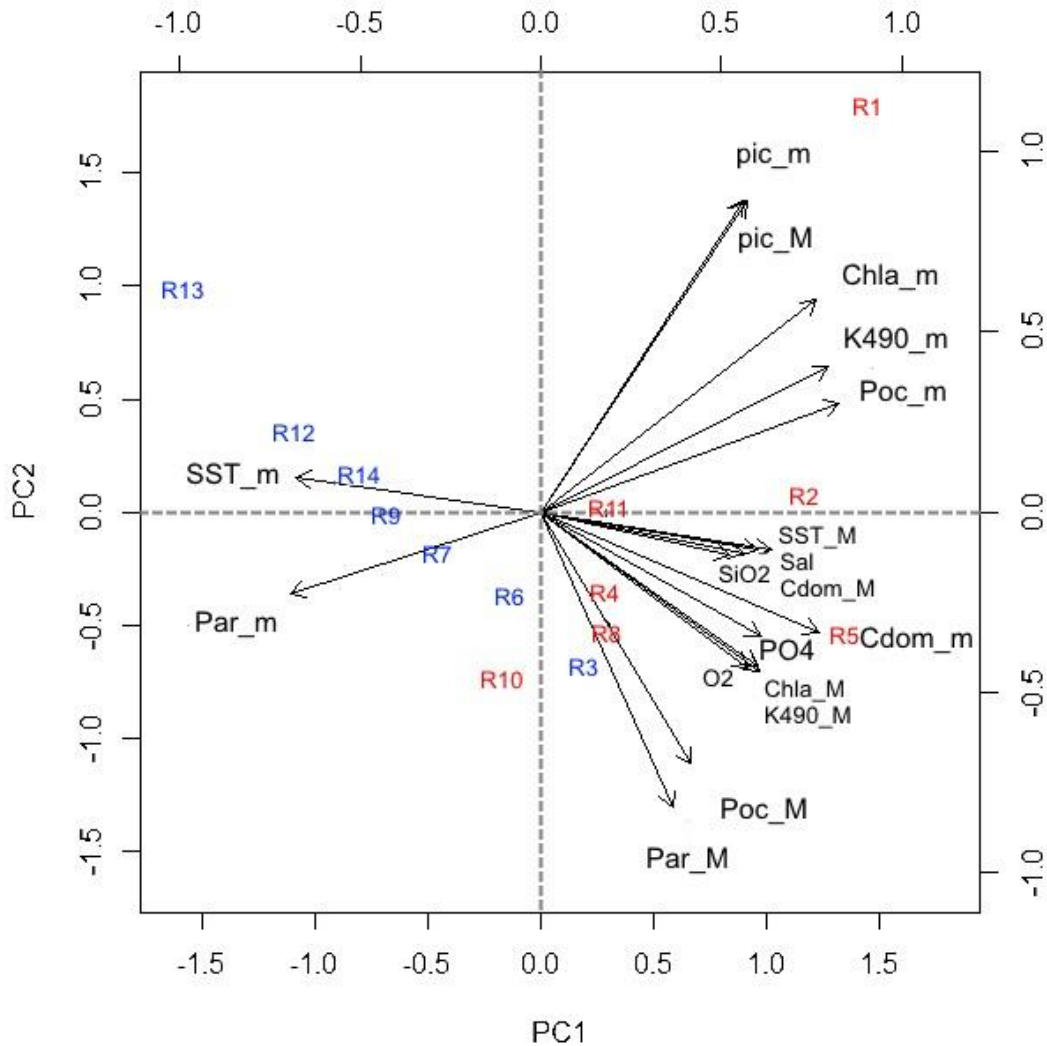


Figura 31 - Componentes principales de las variables oceanográficas para la regionalización del Golfo de California (regiones indicadas en la Tabla I, en rojo las regiones costeras, en azul las regiones oceánicas) Donde: sst\_M=Temperatura máxima, sst\_m=Temperatura mínima, Chla\_M=Clorofila a máxima, Chla\_m=Clorofila a mínima, pic\_M=Carbono inorgánico máximo, pic\_m=Carbono inorgánico mínimo, poc\_M=Carbono orgánico máximo, poc\_m=carbono orgánico mínimo, par\_M=Radiación fotosintética máxima, par\_m= Radiación fotosintética mínima, k490\_M=atenuación de luz máxima, k490\_m=atenuación de luz mínima, cdom\_M=Materia coloreada máxima, cdom\_m=Materia coloreada mínima, Sal=Salinidad, Po4=Fosfatos, SiO2=Silicatos, O2=Oxígeno disuelto.

La separación de las regiones oceánicas y las costeras se presenta en zonas poco variables estacionalmente y con los valores más altos de temperatura durante el invierno, es decir las regiones localizadas en las latitudes más tropicales, y es que las temperaturas mínimas (invierno) tuvo una correlación negativa con el componente

principal uno, también la radiación fotosintética respondió en el mismo sentido ya que fue baja debido a una menor concentración de fitoplancton en aguas oceánicas del sur del GC. Por otra parte, en el componente uno se asociaron las variables de Clorofila *a*, carbono orgánico particulado, atenuación de la luz y materia coloreada, todas de manera positiva, y en ella se asociaron las regiones que presentaron altos valores y amplio intervalo estacional para estas variables, es decir, las regiones costeras a excepción de la región R3 (Golfo Norte) la cual se consideró oceánica en este trabajo, sin embargo presenta valores altos de clorofila y por eso se asocia con las regiones costeras en este análisis de componentes principales.

Para el segundo componente, se aprecia una correlación positiva con el carbono inorgánico particulado y la clorofila *a*, en el que se asocia la región (R1) Delta del Río Colorado, ya que presenta altos valores durante todo el año (fig. 19) mientras que de manera negativa está relacionado con las variables de carbono orgánico particulado y de radiación fotosintéticamente activa, también es por ello que la región R3 (Golfo Norte) se asocia en ese espacio, debido a que presenta altos valores de radiación fotosintética la mayor parte del año (anexo IV).

En resumen, las regiones del GC se caracterizan por tener una estacionalidad muy marcada en la zona costera y con intervalos de variabilidad bajos en las zonas oceánicas, además del gradiente latitudinal existente entre las Grandes Islas y el norte del Golfo con alta concentración de nutrientes, lo que genera gran cantidad de alimento, para sostener un ecosistema en el que se realiza la mayor parte de las pesquerías (Ulloa *et al.*, 2006), mientras que en el sur la concentración de nutrientes y la productividad primaria es más baja, sumado a la baja variabilidad de las condiciones oceanográficas.



## **Regionalización biológica**

La regionalización biológica se realizó por separado (una por cada phylum) para evitar que al acumular a todas las especies indistintamente, la tendencia representara al phylum con mayor número de especies, en este caso los moluscos, sin conocer los patrones espaciales de los demás fila, cuando lo que se busca es generar los patrones de distribución de las especies más representativas, y es que como se aprecia en regionalizaciones previas de peces (Walker, 1960; Robertson y Cramer, 2009), y crustáceos (Brinton y Townsend, 1980; Siegel-Causey 1982; Boschi, 2000), cada grupo de especies se distribuye de manera distinta.

La regionalización biológica de este trabajo (fig. 29A), utiliza por primera vez la distribución de miles de especies para el Golfo de California, y además con una resolución espacial con el más alto nivel de detalle hasta ahora (cinco minutos geográficos), por ejemplo, otro trabajo que utiliza una gran cantidad de especies es el de Robertson y Cramer (2009), el cual analiza la distribución de 1,139 especies de peces costeros del Pacífico Oriental Tropical, de los cuales, solo 698 especies pertenecen a la provincia zoo geográfica del cortés, la cual incluye al Golfo de California. Ese trabajo se realizó con una resolución espacial de 1° geográfico, por lo que los resultados de esta tesis representan una mejora en el estudio de la biogeografía del Golfo de California, al dar patrones espaciales para más de 3,400 especies de cinco distintos fila, a una mejor resolución espacial y que confirman los cambios en la diversidad tanto latitudinal como batimétrico (fig. 24-28), y establece además nuevos límites geográficos, especialmente en la zona oceánica. Por ejemplo, los principales puntos de convergencia entre regiones de los distintos fila se presentan en San Luis Gonzaga para moluscos y equinodermos, Guaymas para los moluscos, equinodermos, cnidarios y artrópodos, Bahía de los Ángeles para moluscos, cnidarios y anélidos, la Bahía de San Francisquito para equinodermos, anélidos, y artrópodos. También la Bahía de La Paz es una zona de convergencia de regiones para los moluscos, equinodermos y anélidos (al igual que para los peces de acuerdo con Walker, 1960 y Thompson, 2000). La Bahía San Esteban lo es para los equinodermos, cnidarios y anélidos. Por otra parte resulta interesante que las regiones biológicas de mar profundo coincidan latitudinalmente con la presencia de cuencas, por ejemplo para

las cuencas Carmen y Farallón, los equinodermos, artrópodos y anélidos presentaron una región con la misma extensión geográfica, lo mismo ocurre con la cuenca de Guaymas, donde una región de los equinodermos y de artrópodos coinciden de nuevo con esa cuenca, además en la cuenca Pescadero ocurre algo similar con los artrópodos y anélidos. Probablemente las fallas y cuencas sirven de barreras en la distribución de algunos grupos de especies (Hendrickx, 2008) y es por eso que los límites geográficos de las regiones biológicas se relacionan con la presencia de ellas en las zonas más profundas del Golfo.

Al unificarse las regionalizaciones de cada phylum en una regionalización de macroinvertebrados (fig. 29A), se puede observar que solo tres regiones son las abarcan la zona costera, la primera coincide con las regiones oceanográficas de alta variabilidad (R1-R5), las cuales se encuentran al norte del Golfo, presentan características templadas y de mayor endemismo (Hendrickx y Brusca, 2007; Robertson y Cramer, 2009; Petatán-Ramírez *et al.*, 2014) debido al aislamiento y al cambio en las condiciones ambientales. La segunda región costera corresponde a la costa rocosa (la cual incluye algunas playas arenosas) de la península de Baja California, desde Bahía de San Francisquito hasta Cabo San Lucas, y de Guaymas a Bahía San Esteban, donde se encuentran zonas principalmente arenosas. Esta región presenta una mayor similitud biológica con la región que corresponde a la zona costera al norte del Golfo, debido a la proximidad geográfica y a que comparten un tipo de sedimento similar, terrígeno mezclado con arena y limo (INAPESCA, 1994), lo que limita al tipo de especies que pueden habitar ambas zonas. Finalmente, el margen costero desde Sinaloa hasta Nayarit, el cual presenta la mayor riqueza de especies, probablemente debido a la gran diversidad de hábitats, pues cuenta con playas arenosas, ecosistemas de manglar, lagunas costeras, estuarios, entre otros (Castro-Aguirre *et al.*, 1996, Ulloa *et al.*, 2006). Tiene además una menor variabilidad en las condiciones oceanográficas, con características tropicales, y junto con el Alto Golfo, presenta una de las mayores plataformas continentales del Golfo de California (SEMARNAT, 2006), lo que representa más espacio para la distribución de organismos.

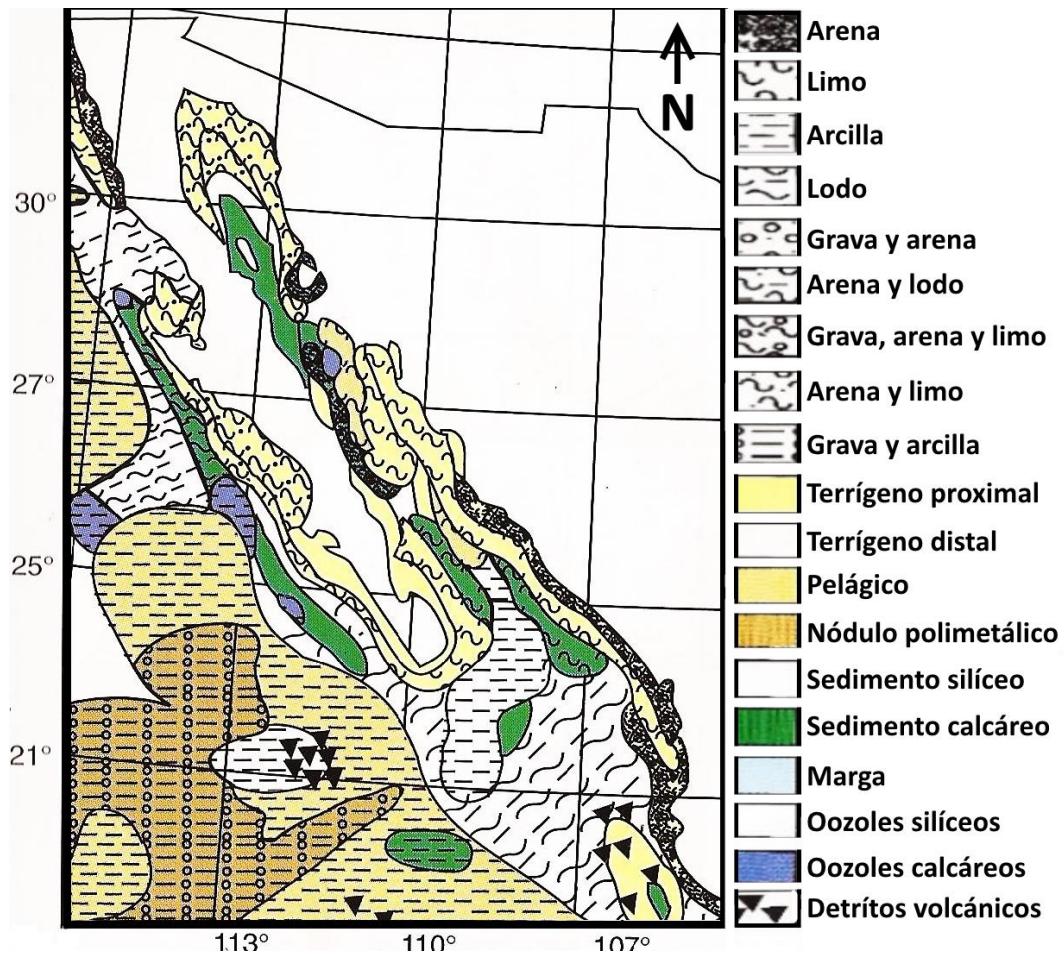


Figura 32 - Sedimentología del Golfo de California. (modificado de INAPESCA, 1994).

Es de destacar que las tres regiones biológicas costeras previamente descritas, aparentemente coinciden geográficamente en áreas ocupadas por determinados sedimentos, por ejemplo, los límites geográficos de la región 1, ubicada al norte del Golfo, es coincidente los límites del limo del Alto Golfo (fig. 32), luego, la región 5, que abarca la costa peninsular desde San Francisquito hasta Cabo San Lucas y desde Guaymas hasta Bahía San Esteban, tiene el mismo tipo de sedimento en ambas costas (limo) y finalmente, la región 7, que abarca desde Bahía San Esteban hasta Nayarit, presenta un único tipo de sedimento (arena). Aunque la información de sedimentos no se utilizó para la zonación biológica ya que estos datos no se encontraron georreferenciados de manera precisa, esta aparente coincidencia de las regiones biológicas con los sedimentos y el tipo de costa, es consistente con lo que

han mencionado otros autores, que además de los factores ambientales del océano, la materia orgánica en sedimentos, el tamaño de grano, la latitud y los pigmentos del sedimento son indicadores importantes en la distribución de la macrofauna (Hendrickx, 2008; Méndez, 2012).

Por otra parte, en las regiones de aguas profundas podemos observar una mayor variación latitudinal en las regiones, en tres grandes grupos. El primer grupo está dado por la región 2 y 3, las cuales abarcan desde la cuenca Wagner hasta la cuenca de Guaymas y presentan alta similitud (fig. 29B), seguidas por la región 4 y 8 que están geográficamente contiguas, y finalmente el grupo con las regiones de mayor profundidad, una de las cuales incluyen las cuencas del centro del Golfo (región 6) y la región 9 que está en contacto directo con el Océano Pacífico. Estas últimas zonas presentan la diversidad más baja de todas las regiones, con menos de 250 especies, e incluso, en algunas zonas de estas regiones destaca la ausencia de registros para algunos grupos de especies como los cnidarios y moluscos (fig. 24, 26). Esta información es importante ya que es la primera en su tipo para el Golfo de California, además es información base que podría servir de referencia para la determinación zonas para la investigación y planeación territorial (Ray y Hayden 1992) como la Reserva de la Biosfera Zona Marina Profunda Golfo de California, la cual propone nueve polígonos en las cuencas y fallas del Golfo, ya que se infiere que estos ecosistemas presentan un excelente estado de conservación con una enorme diversidad biológica, (CONANP, 2011). Por otra parte, a diferencia de las regiones costeras, en las regiones oceánicas no hubo coincidencia exacta con los distintos tipos de sedimentos, el cual, en la zona oceánica es aparentemente más diversa en cuanto al tipo de sedimentos que la zona costera (fig. 32), aunque para una mejor comparación, es necesaria una actualización en la información del tipo de sedimentos del Golfo de California.

## **Los biomas del Golfo de California.**

Este trabajo utiliza únicamente datos de la superficie del mar para denotar a las condiciones oceánicas como el componente ambiental y la distribución de macroinvertebrados como el componente biológico para una primera aproximación en la generación de biomas marinos del Golfo de California, el cual no había sido abordado previamente en ningún trabajo de regionalización de esta zona. Aunque varios de los límites propuestos en la regionalización oceanográfica y las regionalizaciones biológicas presentadas anteriormente en esta tesis ya habían sido propuestos en otros trabajos, estos límites variaron entre los distintos grupos de especies y la regionalización oceanográfica también presentó diferencias respecto a otras regionalizaciones que se basaron únicamente en variables físicas o químicas del Golfo. Esta es la razón de por qué los 10 biomas encontrados al integrar toda la información no coinciden de manera exacta con trabajos previos, los cuales se basaron únicamente en algunas variables oceanográficas o en un número reducido de especies, también puede deberse al hecho de que muchos trabajos de regionalización no utilizaron herramientas de análisis espacial, ni información al nivel de detalle de este trabajo.

El único trabajo nombrado como una bioregionalización del Golfo de California es el de Santamaría del Ángel y colaboradores (1994), el cual analiza la variabilidad espacio-temporal de los pigmentos fotosintéticos a nivel superficial como un indicador biológico, ese trabajo presentó algunas similitudes con la propuesta de regionalización oceanográfica de esta tesis, sin embargo, al compararlo con la regionalización biológica los cinco grupos de invertebrados aquí seleccionados, los patrones no coincidieron, por lo que tampoco coincide con esta propuesta de biomas del Golfo de California, probablemente debido a que aquí se consideran una mayor cantidad de variables físico-químicas y además de fauna que habita desde superficie hasta profundidades superiores a los 4,000 m, donde se encuentra la masa de Agua Profunda del Pacífico, la cual posee características muy distintas a la de Agua del Golfo de California y el Agua Superficial Ecuatorial (Torres-Orozco, 1993; Lavín *et al.*, 1997; CONANP, 2011) encontradas en la superficie.

Los biomas del Golfo de California (fig. 30A), como se pudo apreciar, muestra cuatro regiones costeras con cierta similitud a la propuesta de Walker (1960) para peces, sin embargo lo importante de este trabajo es que es el primero que se realiza a partir del análisis espacial y numérico de datos oceanográficos y biológicos, como han sugerido algunos autores (Córdova *et al.*, 2006; Hendrickx, 2008). Además de localizar por primera vez los biomas de las zonas profundas del Golfo de California, del cual aún se tiene poco conocimiento. Esta información puede resultar útil para mejorar la planeación sistemática del medio marino, ya que se pueden usar de contexto para la preservación de especies y ecosistemas (Lourie y Vincent, 2004).

Aunque en los biomas, ya que son el conjunto de características ambientales y biológicas, se podría esperar que en un análisis de similitud, el acomodo de los biomas en la parte ambiental dentro de un dendrograma correspondiera al acomodo que tendrían esos biomas en la similitud biológica, esto no ocurre en el Golfo, como se aprecia en la fig. 30 B y C, los biomas presentaron una similitud oceanográfica que difiere de la similitud biológica, mientras que las especies se concentran en dos grandes grupos, en un nodo los de alta diversidad (costeros) los cuales se acomodan con su bioma contiguo, lo mismo ocurre con la similitud biológica de los biomas de aguas profundas, dos grandes grupos (norte y sur) con alta similitud entre biomas contiguos a diferencia del acomodo de los biomas por similitud oceanográfica, donde la similitud no ocurre siempre entre los biomas contiguos, por ejemplo, aparecen dentro del mismo nodo los biomas 1 y 2 (norte del Golfo) con la costa de Sinaloa, el cual presenta altos valores de clorofila en ciertos meses del año (fig. 16), es decir, presenta una estacionalidad marcada como ocurre con las regiones del norte y por ello esa similitud. Sin embargo, en lo general se denota como los biomas van cambiando latitudinalmente, así como los cambios que se dan en la similitud y diversidad biológica (riqueza específica), en cada uno de ellos, además de en las condiciones ambientales y es curioso que los lugares que ocupan estas zonas, sobre todo los biomas costeros tengan aparente correspondencia con los sedimentos y tipo de costa a pesar de no haberse usado esta información como insumo para la regionalización.

En este punto se puede decir que, a partir de la similitud, biológica y oceanográfica, la zona templada del GC empieza Guaymas en el lado continental y en la Bahía de San Francisquito, BCS, en el lado peninsular e incluye la zona profunda desde la cuenca de Guaymas, ya que es notorio el cambio en la biodiversidad (fig. 30 D), la cual disminuye a pesar de tratarse zonas costeras (B1 y B3), este cambio de diversidad biológica y el aislamiento de las características subtropicales del sur hacen que la zona presente un alto endemismo (Hendrickx y Brusca, 2007). Una baja diversidad y un alto endemismo son características de ecosistemas aislados, si bien la parte sur del Golfo comparte mucha de la biodiversidad con zonas aledañas en algunos grupos de especies (Walker, 1960; Simison, 2006), la parte norte del Golfo sí puede considerarse como un ecosistema aislado.

Por otra parte, la Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) el cual es una característica ambiental importante ya que representa una barrera fisiológica para la migración vertical en la columna de agua de las especies, por ejemplo, se sabe que en algunas regiones, las bajas concentraciones de oxígeno genera zonas prácticamente azoicas (sin fauna) (Serrano y Hendrickx, 2011). Esta variable se aborda en esta tesis solo con los valores superficiales de oxígeno disuelto, sin embargo la ZMO se localiza en las masas de agua profunda, y no se aborda en esta tesis debido a que en la actualidad se cuenta con poca información al respecto, debido al alto costo operativo que se tiene al llevar a cabo la toma de muestras, pues requieren un gasto de \$5,000 a \$50,000 USD o más por día de operación (Hendrickx, 2012), sin embargo sería importante incorporar información de la columna de agua para generar resultados más exactos.

El Golfo de California es el segundo ecosistema marino y costero prioritario en materia de conservación a nivel mundial (CONANP, 2011). En ese sentido, estos resultados representan un avance substancial ya que este trabajo brinda información base sobre la distribución y agrupamiento de especies y condiciones ambientales.

## CONCLUSIONES

Con la información y las herramientas disponibles en la actualidad es posible generar regionalizaciones con mayor sustento, para simplificar la complejidad del océano. En el caso del Golfo de California, aunque se han realizado varios intentos de regionalización oceanográfico y biológico, aún existe la necesidad de información oceanográfica y de la distribución de las especies más detallada que los complemente, sin embargo con este trabajo puede decirse que:

Resultó evidente que la zona costera y la zona oceánica presentan características muy distintas (anexo I-X), por lo que un trabajo de regionalización debe de separar ambas zonas, especialmente en mares de alta variabilidad oceanográfica espacial y temporal como lo es el GC y no en cortes a lo ancho como con frecuencia se hace.

Existen 14 regiones oceanográficas en el Golfo de California, siete correspondientes a la zona costera y el resto a las zonas oceánicas, con un marcado patrón estacional.

Cada phylum presenta distinto número de regiones, así como límites geográficos variables.

En la mayoría de las regionalizaciones de los cinco fila, es notorio que las zonas de mayor profundidad presentaron una mayor cantidad de regiones respecto a la cantidad de zonas para la zona costera, a pesar de la baja biodiversidad de estos sitios.

Los macroinvertebrados en su totalidad presentan una zonación de nueve regiones dentro del Golfo de California, de los cuales, tres corresponden a la zona costera, con una disminución en la biodiversidad de sur a norte, sin embargo, se presenta un incremento en el endemismo.

Las regiones oceanográficas de mar abierto y las regionalizaciones de las especies están altamente relacionado a las cuencas y fallas del Golfo.



Se determinó la existencia de 10 biomas marinos en el Golfo de California, el cual es el resultado de fusionar las regiones oceanográficas con las biológicas en una regionalización única.

Se encontró que los biomas costeros están limitados no solo por las condiciones ambientales sino por el tipo de costa y de sedimentos.

Por otra parte, los biomas oceánicos presentaron relación con la complejidad batimétrica de las zonas profundas del Golfo.

## RECOMENDACIONES

Para mejorar este trabajo se recomienda incorporar información oceanográfica de la columna de agua, especialmente del nivel de oxígeno disuelto, para determinar la variación espacio temporal de la Zona Mínima de Oxígeno, el cual se considera menor a 0.5 ml/l, esto es importante ya que una baja concentración limita la distribución de organismos aeróbicos, los cuales pueden ser potencialmente explotables (Serrano, 2012). Existen pocas publicaciones acerca de la ZMO en el Pacífico Mexicano y el Golfo de California (Parker, 1963; Gaxiola-Castro *et al.*, 2002; Sánchez-Velasco *et al.*, 2004; Hendrickx y Serrano, 2010; Serrano y Hendrickx, 2011; y Serrano, 2012). Aunque es poca la información, se sabe que en México la ZMO es muy amplia en el sur del Golfo de California y a lo largo de la costa suroeste de México (Hendrickx, 2001; Hendrickx y Serrano, 2010).

Específicamente en el Golfo de California, se sabe que en el sur, la ZMO empieza a los 74 m (en las costas del estado de Sinaloa) y hacia el norte en la zona central del Golfo de California empieza una profundidad de 255 m con un espesor casi constante de 1,167 m (Serrano, 2012). Otro motivo por el cual es necesario la integración de información oceanográfica de la columna de agua para generar un mejor escenario de regionalización oceanográfica es que el Golfo está compuesto por cinco masas de agua, las cuales tiene características fisicoquímicas muy distintivas (Lavín y Marinone, 2003). Por lo que una mejora a este trabajo sería incluir esa información ya que en esta tesis solo trabaja con datos oceanográficos de superficie, sin embargo estos datos tienen que ser medidos *in situ*, que como se mencionó en un principio, son escasos y solo se lleva monitoreo espacio temporal adecuado en pocas partes del mundo (Callejas-Jiménez *et al.*, 2012). Por otra parte, también es necesario mejorar el conocimiento de la macrofauna y su distribución, especialmente en las zonas más profundas del Golfo de California, pues los estudios son escasos, con lo que se podría realizar una actualización en la distribución geográfica y batimétrica de las especies para generar una mejor representación cartográfica y en consecuencia una mejor regionalización biológica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, W. E. 1937. Plankton diatoms of the Gulf of California obtained by the G. Allan Hancock Expedition of 1936. University of Southern California Press. Hancock Pacific Exp. 3: 47-59.
- Alvarez-Borrego, S. y J. R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: The Gulf and Peninsular Province of the Californias.(J. P. Dauphin y B. R. T Simoneit, eds.). American Association of Petroleum Geologist. Memoir, 47: 603-616.
- Alvarez-Borrego, S. 1995. Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity. *Geofísica Internacional*, 35(1).
- Alvarez-Borrego, S. 2002. Physical Oceanography. En: T.J. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra (eds.). A new island biogeography of the sea of Cortes. Oxford University Press. New York. 669 pp.
- Alvarez Borrego, S. 2010. Physical, chemical, and biological oceanography of the Gulf of California. En: Richard C. Brusca, Editor, The Gulf of California: biodiversity and conservation. University of Arizona Press. ISBN: 2009046445. 24-48 p.
- Álvarez Cáceres, R. 1994. Estadística multivariante y no paramétrica con SPSS. Aplicación a las ciencias de la salud. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- Arias-Arechíga, J.P. 1998. Regionalización del Golfo de California: Una propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 57p.
- Arriaga, L., E. Vázquez, J. González, R. Jiménez, E. Muñoz y V. Aguilar. 1998. Regiones prioritarias marinas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Ayón-Parente, M., M.E. Hendrickx y A. Hinojosa-Corona. 2014. Análisis de las comunidades observadas en transectos. Capítulo 7. Pp 224-243. En: Explorando el mar profundo del Golfo de California. CICESE, México

- Boschi, E. 2000. Species of decapod crustaceans and their distribution in the American marine zoogeographic provinces. *Rev. Invest. Des. Pesq.* 13:7–136
- Briggs, J. C., y Bowen, B. W. 2012. A realignment of marine biogeographic provinces with particular reference to fish distributions. *Journal of Biogeography*, 39(1), 12-30.
- Brinton, E. y A. W. Townsend. 1980. Euphasiids in the Gulf of California, the 1957 Cruises. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 21: 211-236
- Brusca, R. C., Findley, L. T., Hastings, P. A., Hendrickx, M. E., Cosio, J. T., y van der Heiden, A. M. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California. *Biodiversity, ecosystems, and conservation in Northern Mexico*, 179.
- Brusca, R. C. y M. E. Hendrickx. 2008. The Gulf of California Invertebrate Database: The Invertebrate Portion of the Macrofauna Golfo Database. <http://www.desertmuseum.org/center/seaofcortez/database.php>.
- Brusca, R. C. y M. E. Hendrickx. 2010. Invertebrates biodiversity and conservation. En: *The Gulf of California: biodiversity and conservation*. Brusca, R. C. (Ed.). (2010). University of Arizona Press.
- Brusca, R. C. (Ed.). (2010). *The Gulf of California: biodiversity and conservation*. University of Arizona Press.
- Callejas-Jimenez, M., Santamaría-del-Angel, E., Gonzalez-Silvera, A., Millán-Nuñez, R., y Cajal-Medrano, R. 2012. Dynamic Regionalization of the Gulf of Mexico based on normalized radiances (nLw) derived from MODIS-Aqua. *Continental Shelf Research*, 37, 8-14.
- Campero, M., Van Damme, P., Arévalo, B., y Claros, D. 2003. Análisis de correspondencia canónica vs. regresión múltiple: ¿pueden mostrar diferencias entre hidroecoregiones?. *Revista Boliviana de Ecología*, 13, 55-64.
- Castro-Aguirre JL, Balart EF y Arvizu-Martínez J. 1995. Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México. *Hidrobiología*. 5: 1-2

- Chollett, I., Mumby, P. J., Müller-Karger, F. E., y Hu, C. 2012. Physical environments of the Caribbean Sea. *Limnology and Oceanography*, 57(4), 1233.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. 2007. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Conanp, The Nature Conservancy, Pro Natura, Semarnat, CBD, México, DF
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2011. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del área natural protegida con la categoría de Reserva de la Biosfera Zona Marina Profunda Golfo de California, localizada frente a las costas de los Estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit y Jalisco, México, 117 páginas + 4 anexos. Marzo 2012.
- Contreras, E. F. 2002, Importancia de la pesca ribereña en México. Departamento de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, *ContactoS* 46: 5-14.
- Córdova, A., Vázquez, F. R. V., Hernández, G. E., y De la Torre, B. H. 2006. Ordenamiento ecológico marino. Visión integrada de la regionalización. Instituto Nacional de Ecología. México 226p
- Cupp, E. E., y W. E. Allen. 1938. Plankton diatoms of the Gulf of California obtained by the Allan Hancock Pacific Expedition of 1937, in Hancock Pacific Expedition, Publ. 3, pp. 61-74, Univ. of South. Calif., Los Angeles.
- De la Lanza-Espino, G. 2001. Características Físico-Químicas de los Mares de México. *Temas Selectos de Geografía en México*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Dietrich, D. 1957. *General Oceanography: An Introduction*. Interscience Publishers, New York.
- Escalante, F., Valdez-Holguín, J. E., Álvarez-Borrego, S., y Lara-Lara, J. R. 2013. Variación temporal y espacial de temperatura superficial del mar, clorofila a y

- productividad primaria en el golfo de California. *Ciencias marinas*, 39 (2), 203-215.
- Escalante, T. 2009. Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista mexicana de biodiversidad*, 80(2), 551-560.
- Fernández, E., P. Boyd, P.M. Holligan y D.S. Harbour. 1993. Production of organic and inorganic carbon within a large scale coccolithophore bloom in the North Atlantic ocean. *Marine Ecology Progress Seris*. 97: 271-285
- Gaxiola-Castro G., S. Álvarez-Borrego, S. Nájera-Martínez y A. R. Zirino. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del golfo de California. *Ciencias Marinas* 28: 297-309
- Gaxiola-Castro G., Gracia-Córdova J., Valdez-Holguín J.E. y. Botello-Ruvalcaba M. 1995. Spatial distribution of chlorophyll a and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. *Continental Shelf Research*. 15: 1043-1059.
- Lindsey, George E. y Iris H. W. Engstrand. 2002. History of scientific exploration in the Sea of Cortés. In: Ted J. Case, Martin L. Cody y Exequiel Ezcurra (eds.), *A New Island Biogeography of the Sea of Cortés*. New York: Oxford University Press. pp. 3-13
- Gilbert, J. Y. y W. E. Allen. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the "E. W. Scripps" in 1939 and 1940, *J. Mar. Res.*, 5(2), 89-110.
- González-Cuellar, O. 2012. Estructura comunitaria y zonación geográfica de peces de arrecifes rocosos del norte del Golfo de California. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- González-Silvera, A., E. Santamaría-del-Ángel, V. M. T. García, C. A. E. García, R. Millán-Núñez, F. Müller-Karger. 2004. Biogeographically regions of the tropical and subtropical Atlantic Ocean off South America: classification based on pigment (CZCS and chlorophyll-a (SeaWiFS) variability. *Continental Shelf Research*. 24, 983-1000

- Gower, J. C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. *Biometrics*, 857-871.
- Hayden, B. P., Ray, G. C., y Dolan, R. 1984. Classification of coastal and marine environments. *Environmental Conservation*, 11(03), 199-207.
- Hendrickx, M.E. 2001. Occurrence of a continental slope decapod crustacean community along the edge of the minimum oxygen zone in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Belgian Journal of Zoology* 131 (Suppl. 2): 95-109.
- Hendrickx, M. E. 2012. Operaciones oceanográficas en aguas profundas: los retos del pasado, del presente y del proyecto TALUD en el Pacífico mexicano (1989-2009). Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano. P. Zamorano, ME Hendrickx y M. Caso (eds.). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE), 23-104.
- Hendrickx, M. E., Brusca, R. C. y Ramírez-Reséndiz, G. 2002. Biodiversity of macrocrustaceans in the Gulf of California, Mexico. *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Mexico.
- Hendrickx, M. E., Brusca, R. C., Cordero, M. y Ramírez, G. 2007. Marine and brackish-water molluscan biodiversity in the Gulf of California, Mexico. *Scientia Marina*, 71(4), 637-647.
- Hendrickx, M.E., D.L. Pawson, B.E. Mejía-Mercado, M. Ayón-Parente y A. Hinojosa-Corona. 2014. Registros de especies de Holothuroidea (Echinodermata). Capítulo 5. Pp. 193-203. En: *Explorando el mar profundo del golfo de California 2008-2014*. CICESE, Baja California, México.
- Hendrickx, M. E. y R. C. Brusca. 2007. Distribución de invertebrados marinos endémicos en el golfo de California, México. *Memorias del XII Congreso Latinoamericano de Ciências do Mar XII COLACMAR*, 15-19 abril, Florianópolis. p. 1-4

- Hendrickx, M.E. y D. Serrano. 2010. Impacto de la zona de mínimo de oxígeno sobre los corredores pesqueros en el Pacífico mexicano. *Interciencia* 35:12-18
- Hendrickx, M.E. 2008. Biodiversidad y ecosistemas: El caso del Pacífico Mexicano. En: Córdova, Rosete, Enríquez, Fernández (Compiladores), *Marine Ecologic Ordering. Thematic Vision of Regionalization*. México.
- Hernández-Alfonso, J. R., Martínez-López, A., y Maeda-Martínez, A. N. 2007. Variabilidad del carbono orgánico particulado en una laguna somera de Baja California. Hernández de la Torre B., G. Gaxiola (eds). *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. Instituto Nacional de Ecología y CICESE. México, 159-170.
- Hidalgo-González, R. M., y Alvarez-Borrego, S. 2004. Total and new production in the Gulf of California estimated from ocean color data from the satellite sensor SeaWiFS. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6), 739-752.
- Instituto Nacional de Pesca. 1994. *Atlas Pesquero de México*. ISBN 968-817-319-3
- International Hydrographic Organization (IHO).1953. *Limits of Oceans and Seas*, International Hydrographic Organization. Bremerhaven, PANGAEA .
- IOCCG, 2009. *Partition of the Ocean into Ecological Provinces: Role of Ocean-Colour Radiometry*. Dowell, M. y Platt, T. (eds.), Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group, No. 9, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- Kahru, M., Marinone, S. G., Lluch-Cota, S. E., Parés-Sierra, A., y Greg Mitchell, B. 2004. Ocean-color variability in the Gulf of California: scales from days to ENSO. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*,51(1), 139-146.
- Kintigh, K. W., y Ammerman, A. J. 1982. Heuristic approaches to spatial analysis in archaeology. *American Antiquity*, 31-63.
- Krebs C.J. 1989. *Ecological methodology*. Harper y Row, NY, USA.



- Lara Lara, J. R., V. Arenas Fuentes, M. D. C. Bazan Guzman, M. De La Cruz García Abad, V. M. Diaz Castañeda, E. Escobar Briones, G. Gaxiola Castro, E. G. Robles Jarero, R. Sosa Avalos, L. A. Soto González, M. Tapia García y J. E. Valdez Holguín. 2008. Los ecosistemas marinos. En: Jorge Soberón, Gonzalo Halffter y Jorge Llorente, Editores, "Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad". Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Lavín, M.F., E. Beier, y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En M.F. Lavín. Ed. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana.
- Lavín, M. F., y Marinone, S. G. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics. Springer Netherlands.
- Linares Fleites, G. 1990. Análisis de datos. Universidad de La Habana. Facultad de Matemática-Cibernética, ENPES, MES, 321-47.
- Lourie, S. A., y Vincent, A. C. 2004. Using biogeography to help set priorities in marine conservation. *Conservation Biology*, 18(4), 1004-1020.
- Lluch-Cota SE, Arias-Aréchiga JP. 2000. Sobre la importancia de considerar la existencia de centros de actividad biológica para la regionalización del océano: El caso del Golfo de California. En: Lluch-Belda D, Elorduy-Garay J, Lluch-Cota SE, Ponce-Díaz G (eds.), BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano. CIB, CICIMAR, CONACYT. La Paz, México.
- Longhurst, A., Sathyendranath, S., Platt, T., y Caverhill, C. 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research*, 17(6), 1245-1271.
- López-Martínez J, Acevedo-Cervantes A., Herrera-Valdivia E., Rodríguez-Romero J. y Palacios-Salgado D.S. 2012. Composición taxonómica y aspectos

- zoogeográficos de peces de profundidad (90-540m) del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)*. 60, (1). 347-360.
- Marinone, S. G. 2012. Seasonal surface connectivity in the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 100, 133-141.
- Massin, C., y Hendrickx, M. E. 2011. Deep-water Holothuroidea (Echinodermata) collected during the TALUD cruises off the Pacific coast of Mexico, with the description of two new species. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(2), 413-443.
- Méndez, N. 2012. Poliquetos (Annelida, Polychaeta) del talud continental suroriental del golfo de California y su relación con algunas variables ambientales. *Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 161-222.
- Merrifield, M. A. y C. D. Winant. 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: A description of the Variability. *Journal of Geophysical Research*, 94: 18133-18160
- Millán-Núñez, R., Santamaría-del-Angel, E., González-Silvera, A., 2006. Methods for the regionalization of the ocean zone through biologic aspects. In: Córdova, Rosete, Enríquez, Fernández (Compiladores), *Marine Ecologic Ordering. Thematic Vision of Regionalization*. México.
- Miranda, I. 1997. Análisis de cluster como estrategia multivariada de clasificación. Solución a un problema taxonómico. Tesis para optar por el título de Master en Matemática Aplicada a las Ciencias Agropecuarias. CENSA- ISAAC
- Molina-Cruz A. 1984. Evolución oceanográfica de la Boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional.
- Morrone, J. J. y J. Márquez. 2003. Aproximación a un atlas biogeográfico mexicano: Componentes bióticos principales y provincias biogeográficas. En *Una*

perspectiva latinoamericana de la biogeografía, J. J. Morrone y J. Llorente (eds.). Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F. p. 1-4.

Okolodkov, Y. 2010. Biogeografía Marina. Centro EPOMEX-UAC.

Parker, R.H. 1963. Zoogeography and ecology of some macro-invertebrates, particularly mollusks, in the Gulf of California and the continental slope off Mexico. Vidensk avelige fra Dansk Medd Naturhistorisk Forening 126: 1-178

Pegau, W. S., Boss, E., y Martínez, A. 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. Geophysical Research Letters, 29(9), 6-1.

Petatán-Ramírez D., R. Brusca, H. Reyes-Bonilla y J.L. García-Corona. "Spatial patterns of mollusc species richness in the Gulf of California and a proposal of biogeographic zonation". Congreso Mollusca. Ciudad de México, Junio 2014.

Pielou, E.C. 1979. Biogeography. Wiley-Interscience, New York, EE.UU. 351 pp.

Prieto Guerra, R.E., 2006. Técnicas estadísticas de clasificación, un ejemplo de análisis cluster. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.

Ray, G.C. y B.P. Hayden. 1992. Coastal zones ecotones. En: A. J. Hansen y F. di Castri (eds). Landscape Boundaries, Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows. Springer-Verlag, New York, EE.UU. 452 pp.

Ripa P. 1997. Towards a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California Journal of Physical Oceanography 27 597-614

Robertson, D. R., y Cramer, K. L. 2009. Shore fishes and biogeographic subdivisions of the Tropical Eastern Pacific. Marine Ecology Progress Series, 380, 1-17.

Roden, G.I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pac. Sci., (12)21-45

Roden, G. I., y I. Emilsson. 1979. Physical oceanography of the Gulf of California, paper presented at the Gulf of California Symposium, Univ. Nac. Autón. de Méx., Mazatlán, Sinaloa, México.

- Round, F. E. 1967. The phytoplankton of the Gulf of California, I, Its composition, distribution and contribution to the sediments, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1, 76--97.
- Sánchez-Velasco, L., V.M. Godínez-Sandoval, B. Shirasago, y M. Peguero-Icaza. 2004. Informe Técnico 16560. Serie Oceanografía Física. CICESE. México. A1-28. 12 pp.
- Sánchez Velasco Laura, Lavín M.L., Peguero-Icaza M., León-Chávez C.A., Contreras-Catala F., Marinoe S.G., Gutiérrez-Palacios I.V., y Godínez V.M. 2009. Seasonal changes of larval fish assemblages in a semi-enclosed sea (Gulf of California). *Continental Shelf Research*. 29(14): 1697-1710.
- Sánchez-Velasco, L., Lavin, M. F., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Montes, J. M., y Turk-Boyer, P. J. 2012. Larval fish habitats and hydrography in the Biosphere Reserve of the Upper Gulf of California (June 2008). *Continental Shelf Research*, 33, 89-99.
- Sánchez-Velasco, L., Lavín, M. F., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., Godínez, V. M., Santamaría-del-Angel, E., y Hernández-Becerril, D. U. 2013. Three-dimensional distribution of fish larvae in a cyclonic eddy in the Gulf of California during the summer. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 75, 39-51.
- Sánchez-Velasco, L., Lavín, M. F., Jiménez-Rosenberg, S. P. A., y Godínez, V. M. 2014. Preferred larval fish habitat in a frontal zone of the northern Gulf of California during the early cyclonic phase of the seasonal circulation (June 2008). *Journal of Marine Systems*, 129, 368-380.
- Santamaría del Angel, E., Alvarez-Borrego, S., y Müller-Karger, F. E. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 99(C4), 7411-7421.
- Santamaría del Angel, E., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., y Cajal-Medrano, R. 2010. Comparison of In Situ and Remotely-Sensed Chl-a concentrations: a Statistical Examination of the Match-up Approach. Chap. 15, 221-238.

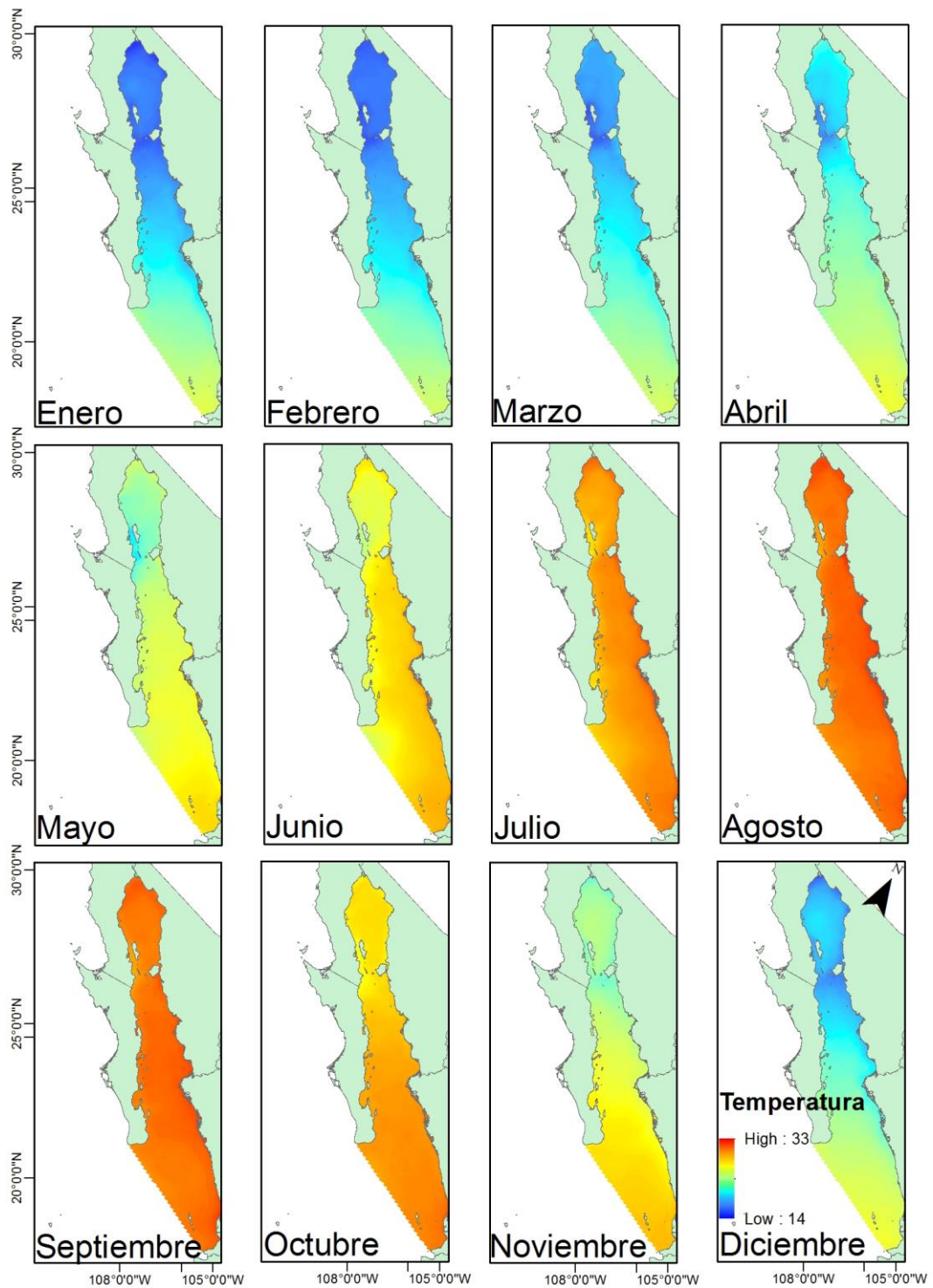
- Santiago García, M. W., S. G. L. Marinone Moschetto y O. U. Velasco Fuentes. 2014. Three-dimensional connectivity in the Gulf of California based on a numerical model. *Progress in Oceanography*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2006. Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de California. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 129 pp.
- Serrano, D. y M.E. Hendrickx. 2011. Debajo de la zona del mínimo de oxígeno. *Investigación y Ciencia* 417: 13-15.
- Serrano, D. 2012. La zona del mínimo de oxígeno en el Pacífico mexicano. Biodiversidad y comunidades del talud continental del Pacífico mexicano. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), 101-115.
- Siegel-Causey, D. 1982. Factors determining the distribution of hyperiid Amphipoda in the Gulf of California. Ph. D. Dissertation, Univ. Arizona.
- Simison, W. B. 2006. Patterns of endemism for nearshore gastropod molluscs: a new view of the Gulf of California. *Journal of molluscan studies*, 72(1), 53-63.
- Soto-Mardones, L., Marinone, S. G., y Parés-Sierra, A. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1), 1-30.
- Sheng, Y. S. Y. 1999. Visualizing upwelling at Monterey Bay in an integrated environment of GIS and scientific visualization. *Marine Geodesy*, 22(2), 93-103.
- Spalding, M. D., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M. A. X., y Robertson, J. 2007. Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57(7), 573-583.
- Sverdrup, H. U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise of the EW Scripps in February and March 1939. In *Proc. 6th Pac. Sci. Congr* (Vol. 3, pp. 161-166).

- Szteren, D., y Auriolos-Gamboa, D. 2011. Ecological regionalization of *Zalophus californianus* rookeries, as a tool for conservation in the Gulf of California  
Regionalización ecológica de las colonias reproductivas de *Zalophus californianus*, como herramienta para su conservación en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 37(3), 349-368.
- Thomson DA, Findley LT y Kersthich A. 2000. Reef fishes of the sea of Cortez. Wiley. New York. 374 p
- Torres, L. G., Read, A. J., y Halpin, P. 2008. Fine-scale habitat modeling of a top marine predator: do prey data improve predictive capacity. *Ecological Applications*, 18(7), 1702-1717.
- Torres-Orozco E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del golfo de California. MSc thesis, Centro de Investigación científica y de Educación Superior de Ensenada, México, 80 pp
- Trasviña A., D. Lluch-Cota, A.E. Filonov y A. Gallegos. 1999. "Oceanografía y El Niño". En : V. Magaña, V. (ed.) *Los Impactos del Niño en México*. UNAM.
- Ulloa, R., Torre, J., Bourillón, L., Gondor, A., y Alcanzar, N. 2006. Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. Final report to the Nature Conservancy. Guaymas (Mexico): Comunidad y Biodiversidad, AC.
- Walker BW. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. *Systematic Zoology*. 9: 123-133
- Ward, J.H.J., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58, 236–244.
- Wilkinson T, Wiken E, Bezaury Creel J, Hourigan T, Agardy H, Herrmann H, Janishevski L, Madden C, Morgan L y Padilla M. 2009. *Ecoregiones Marinas de América del Norte*. Comisión para la cooperación ambiental. Montreal. 200 p.
- Zacharias, M y J. Roff. 2000. A hierarchical approach to conserving marine biodiversity. *Conservation Biology*, 14(5):1327-1334.

- Zamorano, P., Hendrickx, M. E., Ríos-Jara, E., Esqueda-González, M. C., y Galván-Villa, C. M. 2007. Biocenosis y distribución de los moluscos de aguas profundas en el Pacífico mexicano: una evaluación de los avances. *Estudios Sobre la Malacología y conquiliología en México*, 48-49.
- Zamorano, P., Hendrickx, M. E., y Toledano-Granados, A. 2007. New geographic and depth records for deep-water mollusks in the Gulf of California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(2), 311-318.
- Zamudio, L., P. Hogan, y E. J. Metzger. 2008. Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train, *J. Geophys. Res.*, 113
- Zar, H. J. 1999. *Biostatistical Analysis*, Prentice Hall, USA, New Jersey, 123 pp.

# ANEXO I

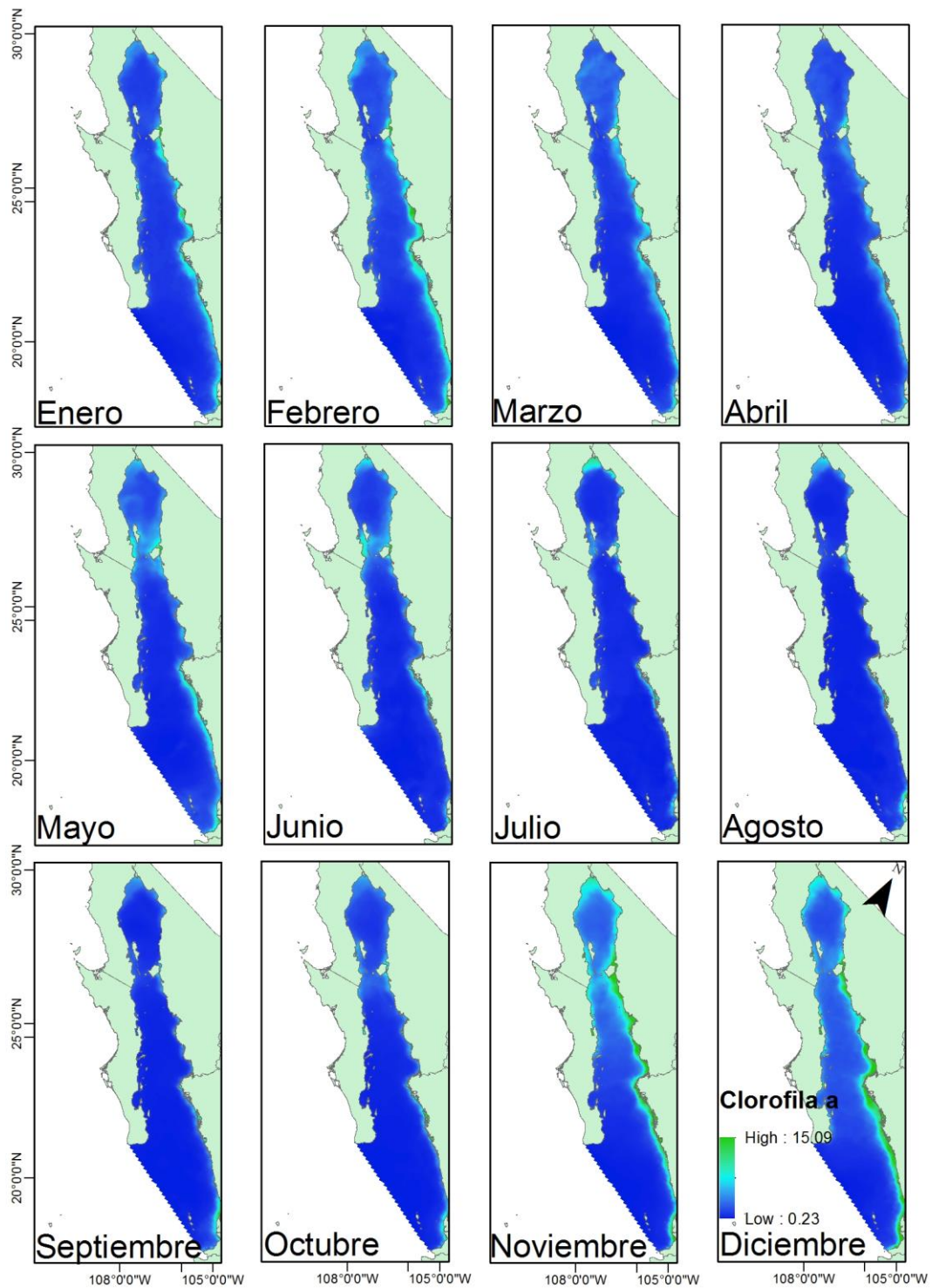
Año tipo de la temperatura superficial en promedios mensuales (2003 – 2012).





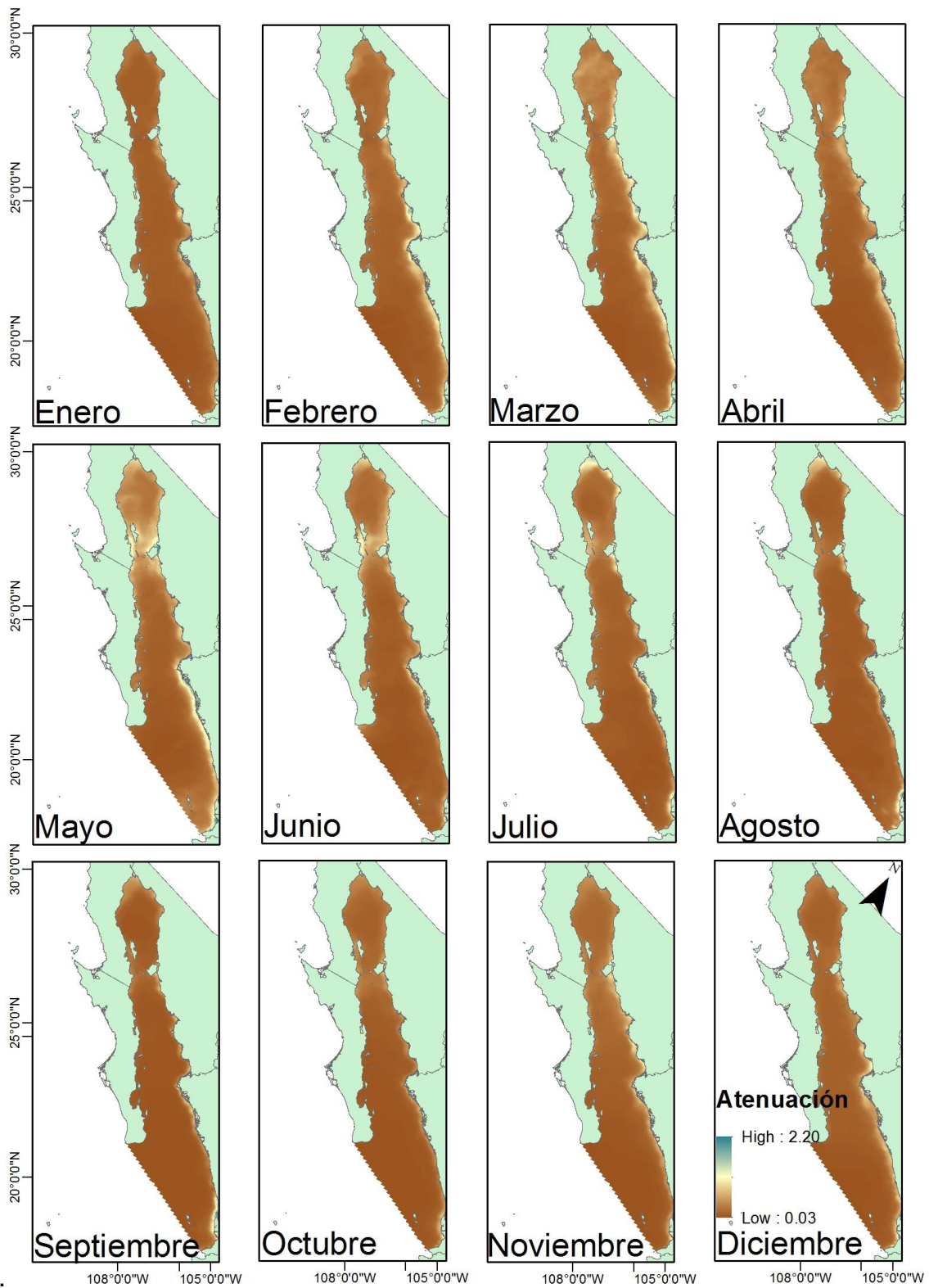
## ANEXO II

Año tipo de la Clorofila a superficial en promedios mensuales (2003 – 2012).



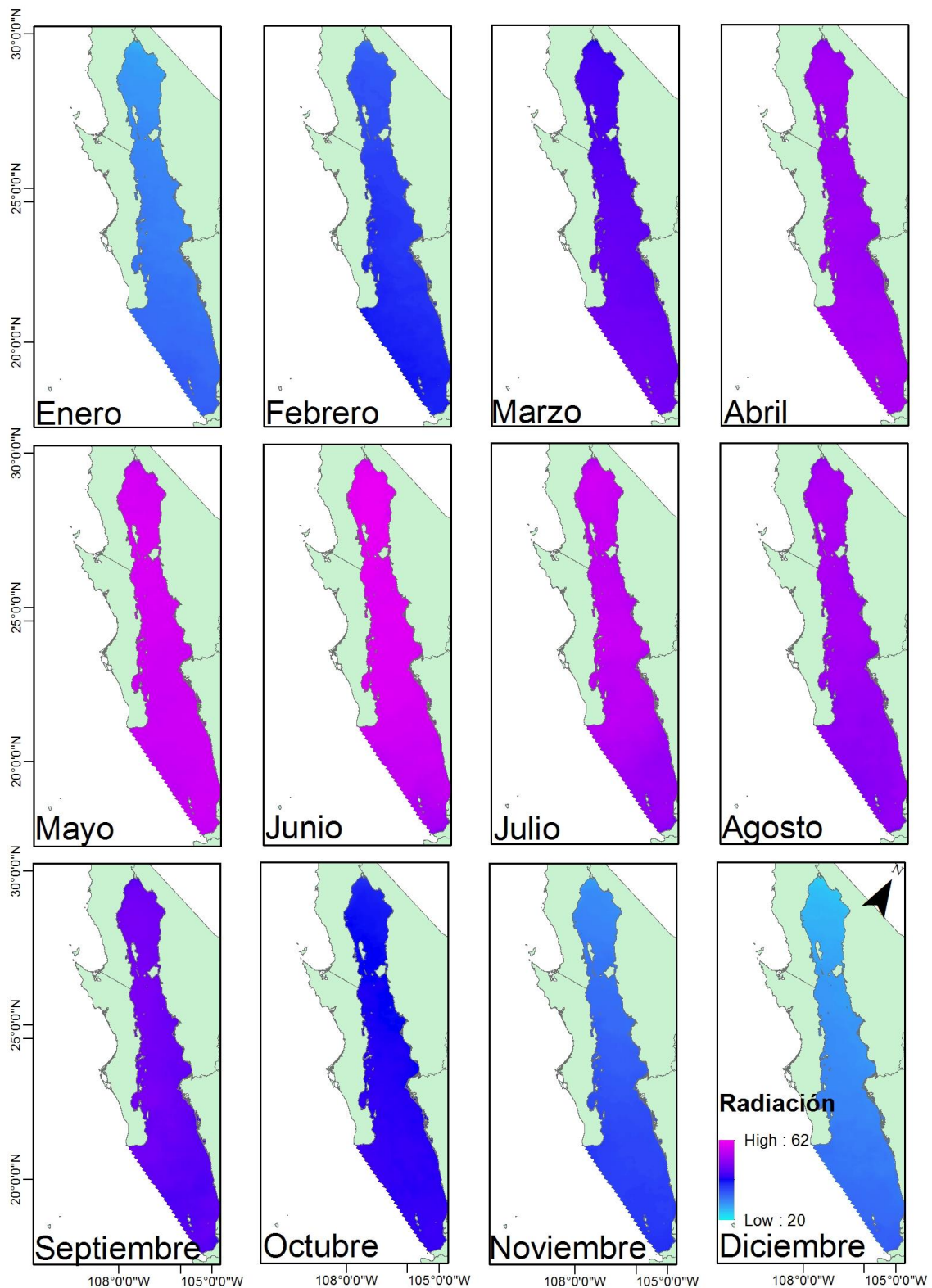
### ANEXO III

Año tipo de la atenuación de la luz en promedios mensuales (2003 – 2012).



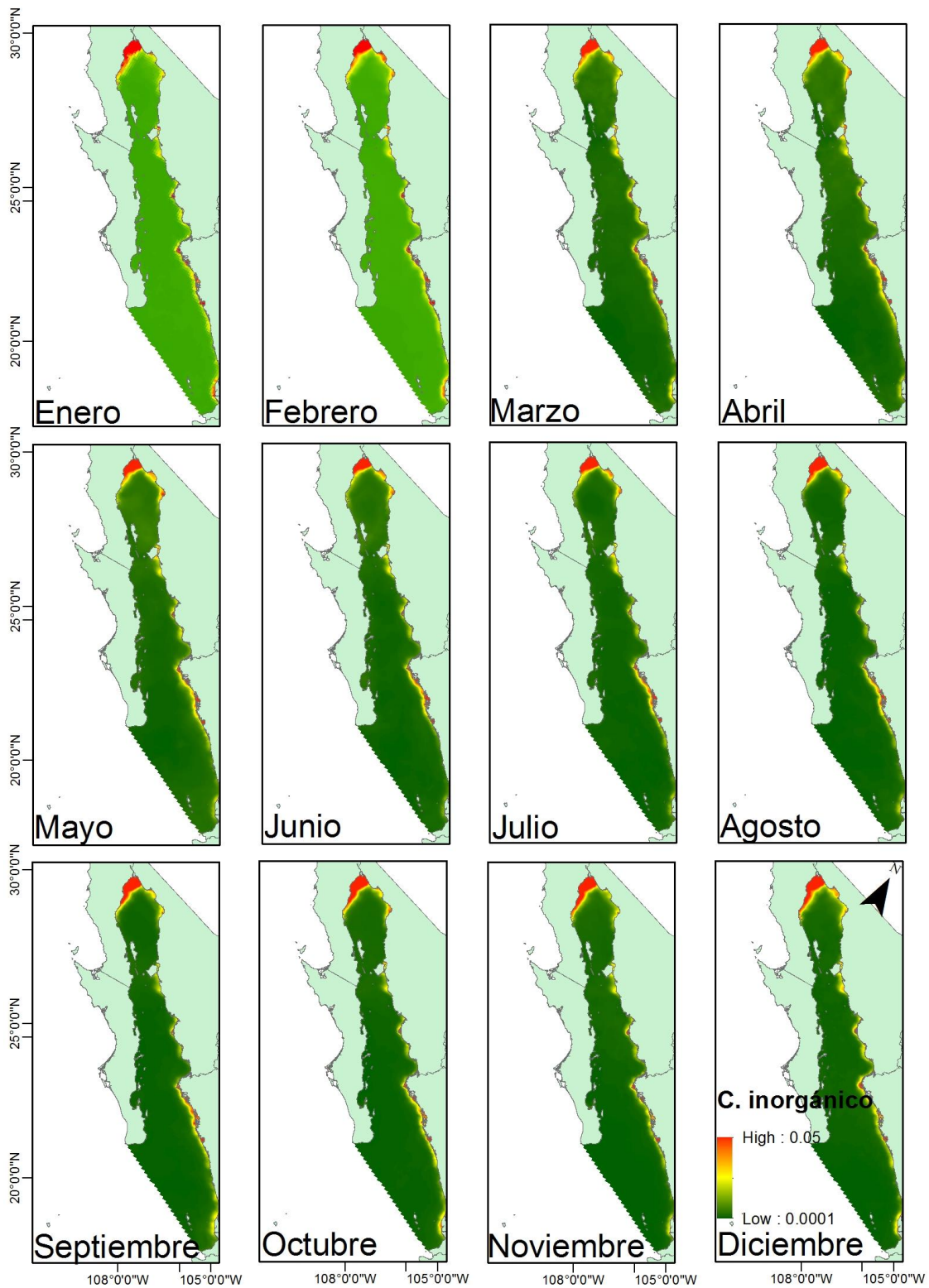
## ANEXO IV

Año tipo de la radiación fotosintética en promedios mensuales (2003 – 2012)



## ANEXO V

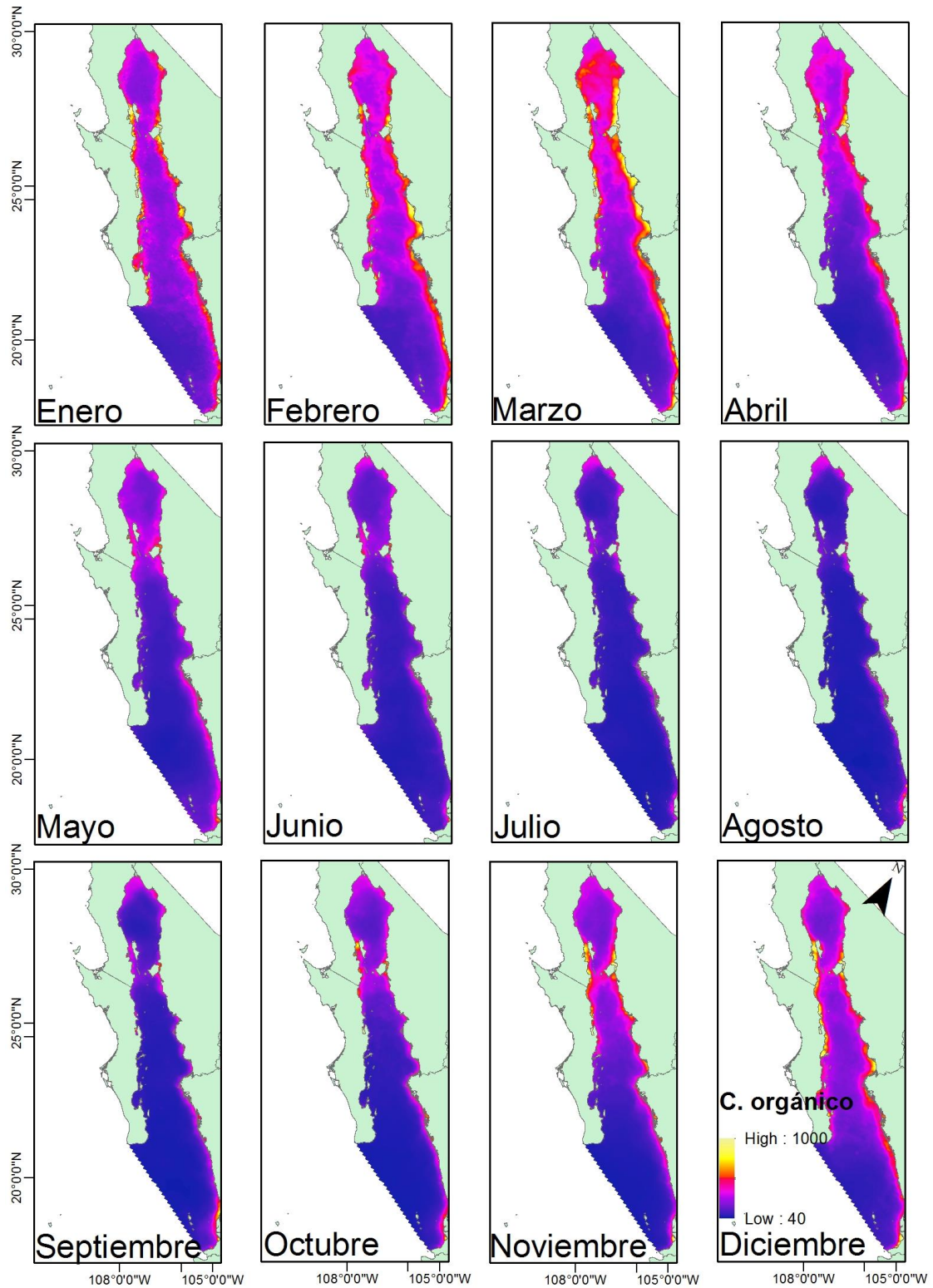
Año tipo del carbono inorgánico superficial en promedios mensuales (2003 – 2012)





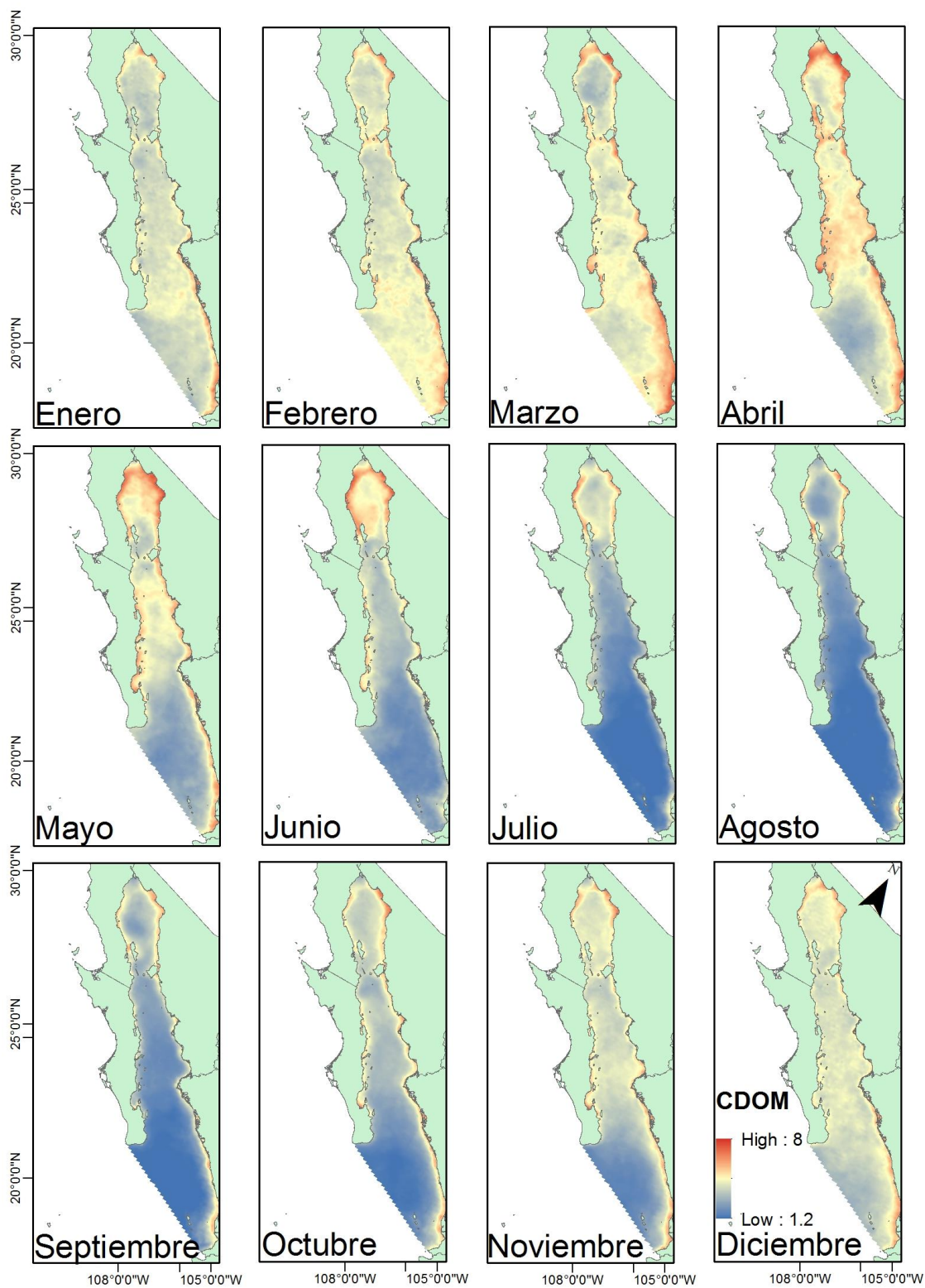
## ANEXO VI

Año tipo del carbono orgánico superficial en promedios mensuales (2003 – 2012).



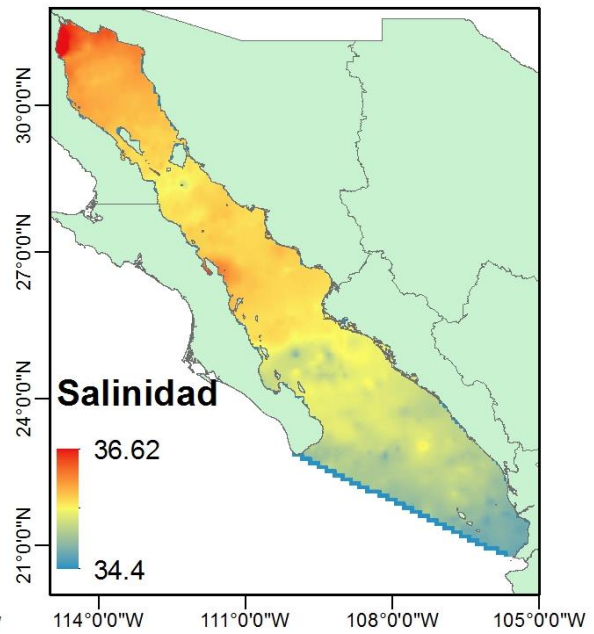
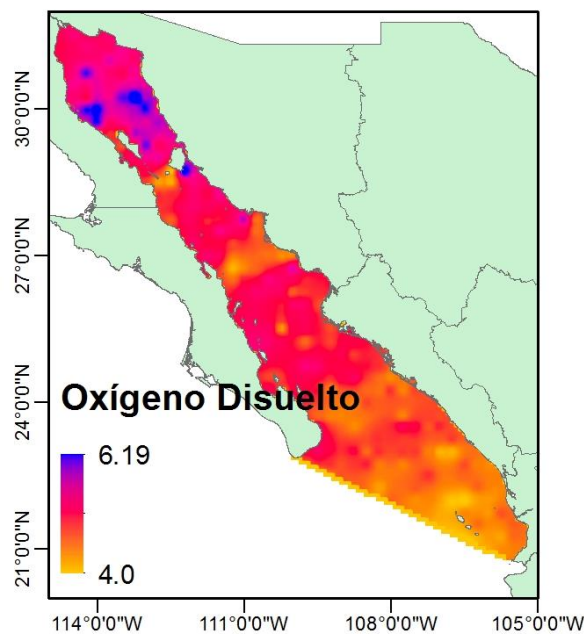
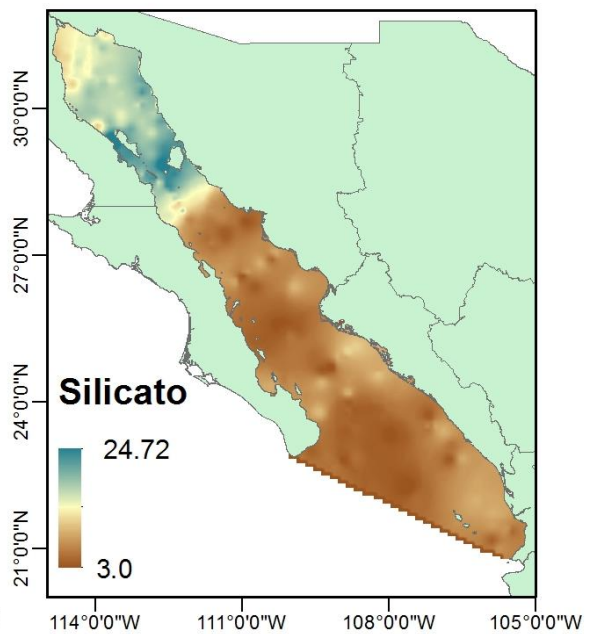
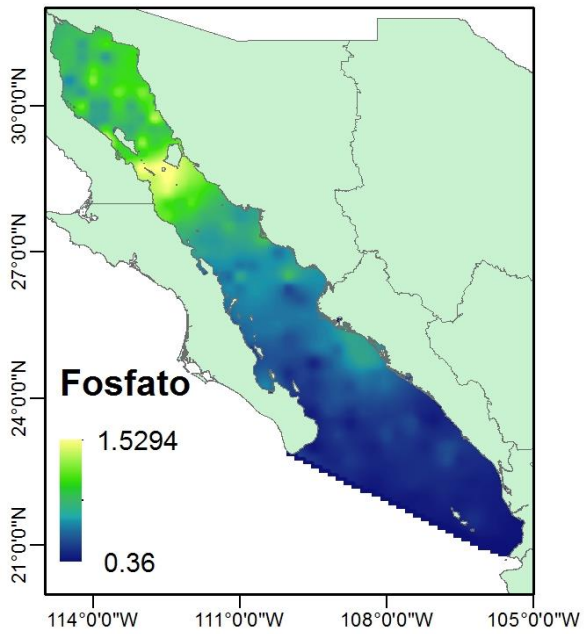
## ANEXO VII

Año tipo de la materia coloreada en promedios mensuales (2003 – 2012).



## ANEXO VIII

Valor promedio histórico (1939-2007) de fosfato, silicato, oxígeno disuelto y salinidad.



## ANEXO IX

Valores máximos de las regiones en las variables medidas por el color del océano.

Región	Temperatura	Clorofila a	Carbono Inorgánico	Carbono Orgánico	Radiación Fotosintética	Atenuación	Materia Coloreada
<b>Delta del Río Colorado</b>	31.859	3.666	0.04816	358.349	57.487	0.29	5.381
<b>Alto Golfo</b>	31.600	3.373	0.01249	405.101	59.575	0.25	6.720
<b>Golfo Norte</b>	30.794	3.473	0.00134	483.693	60.341	0.26	4.904
<b>Grandes islas</b>	29.852	3.194	0.00083	542.942	60.001	0.24	5.435
<b>Isla Tiburón</b>	32.007	7.569	0.00571	700.649	59.203	0.55	5.839
<b>Grandes islas sur</b>	31.026	2.781	0.00091	390.358	59.744	0.22	4.489
<b>Cuenca de Guaymas</b>	31.067	2.068	0.00077	367.588	59.506	0.17	4.850
<b>Sur de Sonora</b>	31.946	7.256	0.00385	700.838	59.076	0.54	5.434
<b>Cuencas Carmen - Farallón</b>	31.094	1.545	0.00067	286.241	59.119	0.14	5.024
<b>La Paz-Loreto</b>	30.504	2.107	0.00069	479.095	59.058	0.18	5.931
<b>Sinaloa – Nayarit</b>	31.772	6.761	0.00569	575.430	57.323	0.49	6.150
<b>Cuenca Pescadero</b>	30.818	1.259	0.00052	234.684	58.029	0.12	4.849
<b>Boca del Golfo</b>	29.061	0.598	0.00036	126.037	54.446	0.07	4.289
<b>Islas Marías</b>	31.608	1.430	0.00066	221.263	58.395	0.13	5.434



## ANEXO X

Valores mínimos de las regiones en las variables medidas por el color del océano.

Región	Temperatura	Clorofila a	Carbono Inorgánico	Carbono Orgánico	Radiación fotosintética	Atenuación de la luz	Materia Coloreada
<b>Delta del Río Colorado</b>	15.319	3.222	0.02720	331.098	23.138	0.23	3.238
<b>Alto Golfo</b>	16.123	1.708	0.00559	281.511	24.453	0.16	4.931
<b>Golfo Norte</b>	16.799	0.440	0.00061	103.067	25.845	0.06	3.571
<b>Grandes islas</b>	16.374	1.016	0.00030	164.882	27.297	0.10	3.964
<b>Isla Tiburón</b>	16.532	1.681	0.00346	296.897	27.277	0.19	4.001
<b>Grandes islas sur</b>	16.966	0.381	0.00043	93.737	27.950	0.06	2.747
<b>Cuenca de Guaymas</b>	18.151	0.261	0.00027	71.144	28.574	0.05	2.525
<b>Sur de Sonora</b>	18.216	0.662	0.00173	160.736	28.357	0.10	3.054
<b>Cuencas Carmen - Farallón</b>	19.774	0.237	0.00026	66.561	29.526	0.05	1.809
<b>La Paz-Loreto</b>	20.235	0.371	0.00023	87.895	29.865	0.06	3.063
<b>Sinaloa – Nayarit</b>	21.683	1.306	0.00318	219.032	30.836	0.15	3.355
<b>Cuenca Pescadero</b>	21.340	0.200	0.00015	62.839	30.832	0.05	1.553
<b>Boca del Golfo</b>	21.558	0.164	0.00010	50.740	30.169	0.04	1.322
<b>Islas Marías</b>	24.433	0.288	0.00017	74.241	33.363	0.05	1.861

## ANEXO XI

Correlación de las variables oceanográficas. Donde: sst\_M=Temperatura superficial máxima, sst\_m=Temperatura Superficial mínima, Chla\_M=Clorofila a máxima, Chla\_m=Clorofila a mínima, pic\_M=Carbono inorgánico máximo, pic\_m=Carbono inorgánico mínimo, poc\_M=Carbono orgánico máximo, poc\_m=carbono orgánico mínimo, par\_M=Radiación fotosintética máxima, par\_m= Radiación fotosintética mínima, k490\_M=atenuación de luz máxima, k490\_m=atenuación de luz mínima, cdom\_M=Materia coloreada máxima, cdom\_m=Materia coloreada mínima, Sal=Salinidad, Po4=Fosfatos, SiO2=Silicatos, O2=Oxígeno.

Variables	sst_M	Chla_M	pic_M	poc_M	par_M	k490_M	cdom_M	sst_m	Chla_m	pic_m	poc_m	par_m	k490_m	cdom_m	sal	Po4	Sio2	O2
<b>sst_M</b>	1.00																	
<b>Chla_M</b>	0.64	1.00																
<b>pic_M</b>	0.39	0.18	1.00															
<b>poc_M</b>	0.47	<b>0.90</b>	0.01	1.00														
<b>par_M</b>	0.34	0.21	-0.18	0.50	1.00													
<b>k490_M</b>	0.64	<b>1.00</b>	0.19	<b>0.90</b>	0.20	1.00												
<b>cdom_M</b>	0.53	0.50	0.23	0.51	0.25	0.49	1.00											
<b>sst_m</b>	-0.17	-0.35	-0.45	-0.47	-0.50	-0.34	-0.14	1.00										
<b>Chla_m</b>	0.49	0.47	<b>0.90</b>	0.32	-0.04	0.47	0.51	-0.56	1.00									
<b>pic_m</b>	0.39	0.18	<b>1.00</b>	0.01	-0.19	0.19	0.20	-0.44	<b>0.89</b>	1.00								
<b>poc_m</b>	0.58	0.67	0.72	0.52	0.08	0.66	0.66	-0.59	<b>0.94</b>	0.71	1.00							
<b>par_m</b>	-0.20	-0.27	-0.66	-0.31	-0.31	-0.26	-0.21	<b>0.93</b>	-0.71	-0.64	-0.67	1.00						
<b>k490_m</b>	0.58	0.65	0.77	0.48	-0.01	0.65	0.61	-0.54	<b>0.97</b>	0.77	<b>0.99</b>	-0.64	1.00					
<b>cdom_m</b>	0.37	0.60	0.28	0.70	0.54	0.57	0.73	-0.70	0.59	0.26	0.75	-0.68	0.66	1.00				
<b>sal</b>	0.72	0.29	0.51	0.36	0.70	0.29	0.45	-0.53	0.54	0.50	0.52	-0.54	0.50	0.55	1.00			
<b>Po4</b>	0.19	0.44	0.21	0.57	0.58	0.43	0.10	<b>-0.89</b>	0.43	0.21	0.51	-0.70	0.46	0.66	0.46	1.00		
<b>Sio2</b>	0.16	0.32	0.23	0.34	0.40	0.29	0.24	-0.51	0.47	0.23	0.53	-0.47	0.47	0.64	0.42	0.63	1.00	
<b>O2</b>	0.44	0.41	0.15	0.47	0.57	0.40	0.33	-0.59	0.32	0.14	0.45	-0.57	0.39	0.62	0.50	0.53	0.45	1.00