

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**



**ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DEL INTERMAREAL
ROCO SO ASOCIADAS AL MEJILLÓN *Mytilus californianus* EN
LA COSTA OESTE DE BAJA CALIFORNIA**

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

CARLOS EDUARDO PEÑA MEJÍA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

SEPTIEMBRE de 2011

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

**ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DEL INTERMAREAL
ROCO SO ASOCIADAS AL MEJILLÓN *Mytilus californianus*
EN LA COSTA OESTE DE BAJA CALIFORNIA.**

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

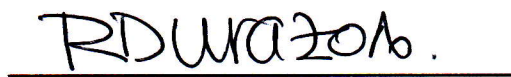
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

CARLOS EDUARDO PEÑA MEJÍA

Aprobada por:


Dr. Eugenio de Jesús Carpizo Ituarte
Director de Tesis


Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Sinodal


Dra. Gabriela Montaña Moctezuma
Sinodal

DEDICATORIA

A mi familia, mi soporte e inspiración.

Por su amor incondicional

Por nunca perder la fe en los caminos que he decidido andar,
apoyándome de mente, espíritu y corazón siempre.

Los amo.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eugenio Carpizo por su amistad, confianza, tiempo y dedicación. Porque en medio de los choros, las clases, los datos, las discusiones, las risas, las burlas y los buenos vinos, siempre me ha enseñado su lado humano y a disfrutar la ciencia a pesar de todo. Gracias Eugenio!

Al Dr. Reginaldo Durazo por su apoyo y sus acertados comentarios que fueron un gran aporte para que este trabajo fuera más enriquecido.

A la Dra. Gabriela Montaña por su comprensión y apoyo que fueron de gran ayuda, junto con sus aportes en el trabajo.

Al Oc. Fernando García Pámanes y a la Oc. Guillermina Chi por sus valiosos consejos, comentarios y por el tiempo dedicado a mejorar este trabajo en el transcurso del proyecto de investigación.

Al M.C. Roberto Escobar por todo su apoyo en el campo, en el laboratorio y en el área logística del proyecto

Al Oc. Luis Aguilar y al Oc. Raúl Aguilar (q.e.p.d) quienes fueron claves para poder realizar este trabajo.

Al Dr. Adán Mejía por su valiosa colaboración con parte de los datos físicos.

Al los M.C. Arturo Ramírez, Tec. Javier García, M.C. Leopoldo Díaz, Dr. Benjamín Ruttemberg, Ofir, Omar y a todos aquellos que colaboraron tanto en el campo como en el procesamiento de datos que mi memoria no me permite mencionar.

A los estudiantes de licenciatura conocidos como “Los Tuffyteros” quienes con su paciencia, tiempo y entrega fueron fundamentales en la culminación de la parte de laboratorio. Mil gracias! Anabel, Ana Cristian, Olidia, Isabel, Eloisa, Claudia, Simone, Natalie, Martha, Jimena, Joel, Fabiola y Carlos Alberto (q.e.p.d).

A mis compañeros de laboratorio Paola, Polo, Raquel, Tatiana, Dora y Luvia por su amistad y tiempo como colegas dentro y fuera del laboratorio.

A todos mis compañeros de maestría (saben quienes son), la colonia colombiana y agregados (ustedes también saben quienes son), porque han sido lejos de mi hermosa Colombia mi familia en Ensenada.

A Jane quien ha sido últimamente mi compañera, amiga y mi apoyo. Thanks a lot.

A la familia Ricaurte Villota por su cariño y preocupación, en especial a Constanza quien fue mi familia y gran apoyo durante mucho tiempo y sigue siendo mi amiga incondicional, gracias Sasy.

A las familias Carpizo Lugo y Lugo Ochoa por su amistad y el tiempo compartido que hizo más llevadero el transcurso de la maestría.

A los directivos y personal administrativo de la Facultad de Ciencias Marinas e Instituto de Investigaciones Oceanológicas, a la Universidad Autónoma de Baja California, al CONACyT y a México por brindarme esta increíble oportunidad.

Y finalmente a todos aquellos que participaron de alguna u otra forma en el desarrollo de este proyecto pero que por mala memoria no menciono.

El presente estudio fue realizado en el Laboratorio de Ecología y Biología del Desarrollo asociado al Instituto de Investigaciones Oceanológicas-Universidad Autónoma de Baja California. Los recursos necesarios que permitieron el desarrollo de esta investigación, fueron otorgados por el proyecto de convocatoria interna UABC "Caracterización de las poblaciones de *Mytilus californianus* y *Pisaster ochraceus*, especies estructuradoras de la comunidad del intermareal rocoso y que son explotadas a lo largo de la costa Pacífico de Baja California" y la beca de maestría CONACyT No. 268378.

TABLA DE CONTENIDO

	Tabla de Contenido.....	i
	Índice de Figuras.....	iii
	Índice de Tablas.....	xi
	Abreviaturas.....	xii
	Resumen.....	xiii
Capítulo 1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
	1.1 Objetivos	5
	1.1.1 Objetivo General	5
	1.2.1 Objetivos Particulares	5
	1.3 Área de Estudio	6
Capítulo 2	PROCESOS Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LAS COMUNIDADES INTERMAREALES DE BAJA CALIFORNIA... ..	17
	Resumen	17
	2.1 Introducción	18
	2.2 Materiales y Métodos	22
	2.3 Resultados y Discusión	26
Capítulo 3	ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DEL INTERMAREAL ROCOSO.....	38
	Resumen	38
	3.1 Introducción	39
	3.2 Materiales y Métodos	43
	3.3 Resultados	50
	3.4 Discusión	106

TABLA DE CONTENIDO (continuación)

Capítulo 4	RECLUTAMIENTO, REPRODUCCIÓN DEL MEJILLÓN Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONECTIVIDAD DE LAS COMUNIDADES INTERMAREALES.....	123
	Resumen	123
	4.1 Introducción	124
	4.2 Materiales y Métodos	128
	4.3 Resultados	130
	4.4 Discusión	138
Capítulo 5	CONCLUSIONES GENERALES	144
Referencias	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Comunidad típica del intermareal rocoso (Tomado de Harmon, 2011).	2
1.2 Ubicación espacial de los nueve sitios de muestreo a lo largo de la costa de Baja California.....	6
1.3 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Medio Camino	8
1.4 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Bajamar.....	9
1.5 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Punta Morro.....	10
1.6 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Santo Tomas..	11
1.7 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Eréndira.....	12
1.8 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Punta Baja	13
1.9 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Ojitos	14
1.10 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Krutsio	15
1.11 Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Esmeralda	16
2.1 Diagrama esquemático del Sistema de la Corriente de California (SCC) cercano a la costa de Baja California durante la época de surgencia en primavera. Los círculos con puntos indican flujos hacia el ecuador, los círculos con X indican flujos hacia el polo. (Modificado de Roughgarden <i>et al.</i> , 1988)	19

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
<p>2.2 Valores promedio (15 días) de temperatura superficial del mar (TSM) para cinco localidades en la costa oeste de Baja California durante los años de 2006 y 2008. La línea azul marca los 14°C que representa la temperatura promedio del mar que caracteriza la presencia de aguas de surgencia costera en la zona.....</p>	26
<p>2.3 Valores promedio mensual de la TSM para la región oceánica y costera de la zona de estudio durante los años 2006 y 2008. Los meses corresponden a los meses donde se realizaron muestreos ecológicos.....</p>	28
<p>2.4 Promedio mensual de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) para la región oceánica de la zona de estudio durante los años 2006 y 2008. Los meses corresponden a las fechas donde se realizaron muestreos ecológicos.....</p>	29
<p>2.5 Índice de Surgencia promedio mensual durante el periodo de 2006 - 2009 para la región oceánica (30°N - 119°O) ubicada en frente de B.C. Valores obtenidos del Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA).....</p>	30
<p>2.6 Contornos del Índice de Surgencia ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} / 100\text{m}$) para las nueve localidades de estudio durante los años 2007 y 2008. (Referirse al texto para la abreviatura de los sitios)</p>	31
<p>2.7 Contornos de altura dinámica de la superficie del mar relativos a 500 dbar (cm dinámicos, 1 cm din = 0.01 J/kg). El intervalo de contornos es de 2 cm din. Las flechas indican la dirección de la corriente. Los valores corresponden a las medias climatológicas del conjunto de datos de los programas CalCOFI e IMECOCAL entre los años 1970 y 2008. El orden de las gráficas describen las diferentes estaciones del año: a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño. (Tomado de Durazo <i>et al.</i>, 2010).....</p>	33

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
<p>2.8 Valores del índice multivariado del ENSO (MEI) para el periodo comprendido entre el 2005 y 2010. La sección clara representa el periodo de marzo 2006 a marzo 2008 donde se realizaron muestreos ecológicos en la costa de Baja California. Datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division.....</p>	35
<p>2.9 Distribución y advección de masas de agua en la zona de transición oceánica de Baja California: a) condiciones normales descritas por Roden (1971) para Noviembre 1969 y b) condiciones descritas para el periodo de El Niño 1997-1998 por Durazo y Baumgartner (2002). Las flechas indican la dirección del flujo superficial asociado a las masas de agua del Agua Subártica (ASA), el Agua Subtropical Superficial (AStS), el Agua Tropical Superficial (ATS) y el Agua del Golfo de California (AGC), (Modificado de Durazo y Baumgartner, 2002).....</p>	36
<p>3.1 Zonación típica del intermareal rocoso de B.C. (Modificado de Carey, 2010).....</p>	40
<p>3.2 Cobertura de los diferentes grupos funcionales de macroalgas sobre el sustrato primario rocoso a lo largo de los nueve sitios de muestreo durante marzo de 2007. El eje de las X representa los sitios de estudio (ver texto para la clave de cada sitio). A) zona superior, B) zona media y C) zona inferior.....</p>	53
<p>3.3 Número de especies de macroalgas identificadas en cada una de las nueve localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (Ver texto para la clave de cada sitio).....</p>	55
<p>3.4 Índice de equidad (J') entre los grupos taxonómicos de macroalgas que fueron registrados en cada una de las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (Ver texto para la clave de cada sitio).....</p>	56
<p>3.5 Índice de diversidad (H') para las macroalgas que fueron registradas en cada una de las localidades muestreadas durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (Ver texto para la clave de cada sitio).....</p>	57

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
3.6 Agrupamiento de los sitios de muestreo según método de similitud de Bray-Curtis de los datos transformados del grupo de especies de macroalgas presentes durante el mes de marzo de 2007. (Ver texto para la clave de cada sitio).....	58
3.7 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante 2006. A) zona superior y B) zona media.....	69
3.8 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	70
3.9 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante 2006. A) zona superior y B) zona media.....	71
3.10 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	72
3.11 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante 2006. A) zona superior y B) zona media.....	73
3.12 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	74
3.13 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante 2006. A) zona superior y B) zona media.....	75
3.14 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
3.15 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante 2006. A) zona superior y B) zona media.....	77
3.16 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total	78
3.17 Porcentaje de cobertura de los principales grupos funcionales de invertebrados marinos sésiles presentes en la zona superior del intermareal para las localidades de estudio en marzo de 2007, A) zona superior. (Ver texto para clave de los sitios).....	84
3.18 Porcentaje de cobertura de los principales grupos funcionales de invertebrados marinos sésiles presentes en las diferentes zonas del intermareal para las localidades de estudio en marzo de 2007, B) zona media y C) zona inferior. (Ver texto para clave de los sitios).....	85
3.19 Número de especies de invertebrados marinos sésiles que ocuparon el sustrato primario y fueron registrados en las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (Ver texto para abreviaciones de los sitios).....	87
3.20 Índice de equidad (J') para los grupos de invertebrados marinos sésiles que ocuparon el sustrato primario y fueron registrados en las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (Referirse al texto para abreviaturas de los sitios).....	88
3.21 Índice de equidad (J') para los grupos de invertebrados marinos sésiles que ocuparon el sustrato primario y fueron registrados en las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (Referirse al texto para abreviaturas de los sitios).....	89
3.22 Agrupamiento de los sitios según método de similitud de Bray Curtis de los datos transformados del elenco de invertebrados sésiles que ocuparon el sustrato primario durante el mes de marzo de 2007. (Referirse al texto para abreviaturas de los sitios).....	90

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
3.23 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.....	92
3.24 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	93
3.25 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.....	94
3.26 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	95
3.27 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.....	96
3.28 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	97
3.29 Mortalidad masiva de choro registrada en Punta Baja durante Diciembre 2009.....	98
3.30 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.....	98
3.31 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
3.32 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.....	100
3.33 Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.....	101
3.34 Distribución espacial de la cobertura de los grupos funcionales de macroalgas e invertebrados sésiles, presentes en la zona del intermareal rocoso de B.C. en nueve localidades durante marzo de 2007. (Referirse al texto para la abreviatura de los sitios).....	103
4.1 Procesos que influyen en el reclutamiento de las especies bentónicas. (Modificado de Pineda <i>et al.</i> , 2009).....	126
4.2 Reclutamiento de mitílidos para los nueve sitios de estudio durante la primavera de 2007. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (Referirse al texto para las abreviaturas de los sitios).....	130
4.3 Reclutamiento de mitílidos para los nueve sitios de estudio durante la verano de 2007. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (Referirse al texto para las abreviaturas de los sitios).....	131
4.4 Reclutamiento de mitílidos para los nueve sitios de estudio durante la otoño de 2007. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (Referirse al texto para las abreviaturas de los sitios).....	132
4.5 Reclutamiento de mitílidos para los nueve sitios de estudio durante la invierno de 2008. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (Referirse al texto para las abreviaturas de los sitios).....	133

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación)

Figura	Página
<p>4.6 Promedio mensual de TSM vs. Log [tasa de reclutamiento], promedio mensual en nueve localidades de B.C. durante los años 2007 y 2008 ($r^2 = 0.627$, $p < 0.023$).....</p>	134
<p>4.7 Variación espacio temporal del los valores promedio del índice gonadal húmedo (IGH) del mejillón en los niveles alto y bajo durante 2006 y 2008. La variabilidad espacial para cada temporada se expresa en términos de su varianza ($p=0.05$). Los círculos representan la media de los datos y las líneas verticales el intervalo de confianza a 95%. (Referirse al texto para las abreviaturas de los sitios).....</p>	136
<p>4.8 Variación temporal y correlación de Spearman (r_s) de los valores promedio de índice gonadal húmedo (IGH) en mejillones de los niveles alto y bajo en cinco localidades de estudio entre 2006 y 2008. La variabilidad temporal se expresa en términos de su varianza ($p=0.05$). Los círculos representan la media de los datos y las líneas verticales el intervalo de confianza a 95%.....</p>	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
I. Lista de especies identificadas de macroalgas asignadas en los diferentes grupos funcionales y tróficos considerados.....	46
II. Lista de especies identificadas de invertebrados sésiles asignados en los diferentes grupos funcionales y tróficos considerados.....	47
III. Especies de macroalgas efímeras identificadas en el intermareal rocoso de B.C. durante los años 2006 y 2007.....	59
IV. Ocurrencia de las diferentes especies de macroalgas que hacen uso del sustrato primario en las nueve localidades de estudio durante los cinco periodos de muestreo. Los números hacen referencia a los periodos de muestreo: (1) marzo 2006, (2) junio 2006, (3) septiembre 2006, (4) diciembre 2006 y (5) marzo 2007.....	60
V. Lista sistemática de especies representativas e identificadas de invertebrados marinos sésiles en la costa oeste de B.C. entre marzo de 2006 a marzo de 2007.....	80
VI. Correlaciones de Spearman (r_s) entre la cobertura de los diferentes grupos funcionales de macroalgas e invertebrados sésiles, para las nueve localidades durante marzo de 2007. Los campos donde no existe asociación alguna se indican con un guión. ($p < 0.05$)	104
VII. Correlación de Spearman (r_s) entre el promedio de TSM y el porcentaje de cobertura de lo diferentes grupos funcionales para invierno de 2007 a lo largo de nueve localidades en las costas de Baja California.....	105

LISTADO DE ABREVIATURAS

MC	Medio Camino
BM	Bajamar
PM	Punta Morro
ST	Santo Tomas
ER	Eréndira
PB	Punta Baja
OJ	Ojitos
KR	Krutsio
ESM	Esmeralda
BC	Baja California
BSV	Bahía Sebastián Vizcaíno
TSM	Temperatura Superficial del Mar
SCC	Sistema de la Corriente de California
CC	Corriente de California
CU	Subcorriente de California
CCC	Contracorriente de California
ASA	Agua Subártica
AStS	Agua Subtropical Superficial
AESs	Agua Ecuatorial Subsuperficial
AIP	Agua Intermedia del Pacífico
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
SeaWiFS	SeaWiFS Wide Field of Sensor
CaCOFI	California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations
IMECOCAL	Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California
NOAA	National Oceanographic and Atmospheric Administration

**ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DEL INTERMAREAL
ROCOSO ASOCIADAS AL MEJILLÓN *Mytilus californianus* EN LA
COSTA OESTE DE BAJA CALIFORNIA**

RESUMEN GENERAL

El presente trabajo resume el esfuerzo realizado durante el estudio de la estructura de las comunidades del intermareal rocoso en la costa oeste de Baja California, que por ser ecosistemas costeros altamente diversos y dinámicos tienen una gran importancia biológica y económica en la región. La metodología en este estudio incluyó la medición y el monitoreo de varios parámetros ecológicos y oceanográficos entre los años 2006 y 2008 en nueve localidades de la región con el objetivo de poder entender la dinámica y el sistema de acoplamiento físico-biológico que existe entre estas comunidades y la región oceánica.

Se identificó y se determinó la cobertura y uso de sustrato primario, de 73 especies de macroalgas y de 14 especies de invertebrados sésiles,. Se cuantificó la tasa de reclutamiento y el índice gonadal del mejillón *Mytilus californianus*. Como información oceanográfica se obtuvieron los promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) a partir de datos del sensor AVHRR y datos de la concentración de clorofila-a con información del sensor SeaWiFS. Asimismo, se calculó el índice de surgencia costera para las localidades de estudio con la información de vientos superficiales obtenidos del sensor QuikSCAT. Adicionalmente se usaron las anomalías del índice multivariado del ENOS (El Niño Oscilación del Sur) y los patrones de circulación oceánica de la zona estimados en los estudios de CalCOFI e IMECOCAL.

Los resultados mostraron que existe un gradiente de zonación característico de estas comunidades donde el mejillón *M. californianus* mostró ser el invertebrado sésil dominante en las zona media e inferior del intermareal. El balánido *Chthamalus fissus* fue el organismo dominante de la zona superior, mientras que las especies de algas *Ralsfia pacifica*, *Corallina vancouveriensis* y *Lithophylum proboscideum* fueron las algas dominantes a

lo largo del intermareal. Se observó que en algunas localidades donde se realiza extracción comercial de recursos bentónicos y existe un mayor impacto antropogénico, la abundancia de mejillón es menor y existe un mayor porcentaje de sustrato rocoso expuesto.

El reclutamiento del mejillón *M. californianus* presentó una alta variabilidad espacio temporal. Mostrando la mayor tasa de reclutamiento en las localidades en verano de 2007 donde se encontró una relación positiva del reclutamiento con la Temperatura Superficial del Mar (TSM). En la localidad de Punta Baja se registró el menor reclutamiento de la zona, mientras que las localidades de la región sur del área de estudio ubicadas dentro en la Bahía de Sebastián de Vizcaíno presentaron un alto reclutamiento durante invierno de 2008. Asimismo, se observaron eventos alternos de desove a lo largo del periodo de muestreo y en invierno de 2007 se observó un desove principal de mejillón en todas las localidades.

La TSM presentó variabilidad estacional oscilando entre los 13.5 y 20°C, lo cual se encuentra asociado a la presencia de surgencias costeras y a uno de los rasgos oceanográficos de mayor escala en la región, y que influye fuertemente en la zona costera de Baja California, el Sistema de la Corriente de California (SCC). Se presentaron eventos de surgencia durante todo el año, con periodos de mayor intensidad entre los meses de febrero - abril 2007 y en los meses de abril y mayo en 2008. La circulación oceánica describe un flujo en sentido norte-sur durante todo el año.

En este estudio se logró determinar que a pesar de la complejidad de estos ecosistemas, parte de la variabilidad observada entre localidades puede ser explicada por algunos procesos biológicos y por la influencia de procesos oceanográficos característicos de la zona. La información recabada amplía el conocimiento de las comunidades del intermareal rocoso en la región y sirve como línea base y herramienta para definir mejores formas de uso y estrategias de conservación de estos ecosistemas costeros en Baja California.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Uno de los principales objetivos de realizar estudios ecológicos es el de entender los procesos y factores que producen variación en la estructura de las comunidades en una amplia variedad de escalas temporales y espaciales. Tradicionalmente los estudios en ecología marina se han enfocado en procesos que operan relativamente en escalas espaciales pequeñas (1–10 m). Las aproximaciones metodológicas han cambiado últimamente a un contexto más amplio con el objetivo de caracterizar regiones a grandes escalas y poder determinar patrones en diversidad y abundancia en los ecosistemas marinos (Connolly *et al.*, 2001; Menge *et al.*, 2004, Blanchette *et al.*, 2008). La aproximación en estas escalas intenta cubrir preguntas relacionadas con la conservación y manejo así como ampliar el conocimiento y entender conexiones entre patrones y procesos que operan en escalas globales.

En sistemas marinos, este aumento de escala ha traído un cambio conceptual de nuestro entendimiento acerca de la conectividad entre las poblaciones y comunidades costeras, así como la importancia de entender el sistema de acoplamiento físico-biológico que se da en estas mismas. En los últimos años se han intensificado los estudios de este sistema de acoplamiento, ya que las comunidades bentónicas están intrínsecamente conectadas y relacionadas con el ambiente oceánico por medio de procesos físicos altamente dinámicos como las corrientes marinas. Estas pueden llegar a controlar la disponibilidad de alimento, nutrientes, temperatura del agua, distribución de propágulos y larvas (Gaines *et al.*, 1985;

Roughgarden *et al.*, 1988; Bustamante *et al.*, 1995; Menge *et al.*, 1997a; Schiel, 2004).

El intermareal rocoso de las costas del mundo constituye un extenso hábitat de importancia central (Fig. 1.1). Tradicionalmente se ha utilizado como modelo para ejemplificar procesos ecológicos que regulan las comunidades de este hábitat y actualmente se utiliza para tratar de entender la interacción de los procesos oceanográficos costeros con el hábitat intermareal y submareal somero. Por otra parte, debido a su accesibilidad para el hombre, es objeto de constantes alteraciones que incluyen, la destrucción o modificación del hábitat, la colecta y sobreexplotación de especies, la contaminación del ecosistema, entre otros (Connolly y Roughgarden, 1998).



Figura 1.1 Comunidad típica del intermareal rocoso
(Tomado de Harmon, 2011).

En la costa oeste del estado de Baja California, el intermareal rocoso constituye un hábitat altamente dinámico y con una gran diversidad de especies, cuya distribución está regulada en parte por la influencia del Sistema de la Corriente de California (SCC). Al igual que muchas regiones costeras en el mundo, las comunidades del intermareal rocoso de Baja California se han visto constantemente alteradas y expuestas a una presión antropogénica que ha crecido en los últimos años. Actualmente, una de las especies clave en la estructura de estas comunidades se explota con fines comerciales a lo largo del Estado. Esta especie es el mejillón californiano o choro, *Mytilus californianus*. A pesar de su importancia como especie clave, se ha generado muy poca información en Baja California acerca de sus poblaciones, así como de la dinámica y estructura de las poblaciones de invertebrados y algas asociadas a esta especie, las cuales tienen una alta presencia en las costas del Pacífico de Baja California.

Las comunidades intermareales sostienen muchas de las pesquerías que se dan en la región como es el caso del choro *Mytilus californianus*, el erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*, la langosta, el abulón y en ocasiones algunas especies de macroalgas y otros invertebrados que se explotan con fines comerciales. En particular el choro es uno de los recursos de mayor importancia económica que existe en el intermareal rocoso de B.C., y se encuentra entre los organismos marinos de mayor valor alimenticio (Bardach *et al.*, 1972). Las consecuencias directas de perder un ecosistema de este tipo impactaría negativamente la economía local de algunas comunidades del estado, así como en la pérdida de la biodiversidad de uno de los ecosistemas marinos íconos de la región costera de Baja California.

Debido a su importancia, es necesario estudiar y comprender aún la dinámica y conectividad entre estos ecosistemas intermareales, entender la relación entre los factores bióticos y abióticos, así como del acoplamiento físico-biológico que determina y modula gran parte de los mecanismos, procesos y patrones existentes dentro de las mismas comunidades del intermareal rocoso. Es por ello que este estudio busca el documentar, analizar y relacionar ecológicamente algunos de los varios factores biológicos y parámetros ecológicos (estructura poblacional de macroalgas e invertebrados sésiles, disponibilidad de fitoplancton, tasa de reclutamiento y biología de la reproducción del mejillón *Mytilus californianus* y los procesos oceanográficos regionales de meso escala (surgencias costeras, temperatura superficial del mar y corrientes marinas).

La información resultante de este trabajo pretende complementar los estudios realizados en la zona así como caracterizar y describir desde una perspectiva actual las comunidades del intermareal rocoso y su compleja dinámica y conectividad a lo largo de la costa. La naturaleza de este estudio podría expandirse e intentar incorporar otros factores que pudieran tener una influencia significativa sobre la dinámica de las poblaciones y comunidades. Así mismo constituye una línea base para futuros estudios que busquen ser una herramienta para el entendimiento, conocimiento y uso de los recursos costeros que posee Baja California, considerando siempre un enfoque sostenible y ecosistémico.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. *Objetivo General*

Caracterizar las poblaciones del intermareal rocoso de las costas del Pacífico oeste de Baja California y establecer patrones y/o relaciones entre su estructura y las condiciones oceanográficas de la zona.

1.2.1. *Objetivos Particulares*

- Describir la estructura de la comunidad del intermareal rocoso en la costa Pacífico de Baja California.
- Caracterizar el patrón espacio-temporal del reclutamiento de mitílidos y su relación con la comunidad.
- Relacionar procesos oceanográficos con la estructura de las comunidades, el reclutamiento y el estado reproductivo de los mitílidos.
- Relacionar el reclutamiento de mitílidos con los patrones reproductivos de este grupo en la región.

1.2. ÁREA DE ESTUDIO

Para este estudio se establecieron nueve localidades de muestreo a lo largo de la costa oeste de Baja California (Fig.1.2). Los muestreos se realizaron durante los años 2006, 2007 y 2008. Las localidades y su posición geográfica de norte a sur fueron: Medio Camino (**MC**) ($32^{\circ}10'54''\text{N}$, $116^{\circ}54'40''\text{O}$), Bajamar (**BM**) ($31^{\circ}58'49''\text{N}$, $116^{\circ}47'38''\text{O}$), Punta Morro (**PM**) ($31^{\circ}51'41''\text{N}$, $116^{\circ}40'04''\text{O}$), Santo Tomas (**ST**) ($31^{\circ}38'20''\text{N}$, $116^{\circ}39'22''\text{O}$), Ejido Eréndira (**ER**) ($31^{\circ}16'41''\text{N}$, $116^{\circ}22'16''\text{O}$), Punta Baja (**PB**) ($29^{\circ}57'15''\text{N}$, $115^{\circ}48'35''\text{O}$), Los Ojitos (**OJ**) ($28^{\circ}52'55''\text{N}$, $114^{\circ}25'22''\text{O}$), Krutsio (**KR**) ($28^{\circ}46'23''\text{N}$, $114^{\circ}20'45''\text{O}$) y La Esmeralda (**ESM**) ($28^{\circ}30'54''\text{N}$, $114^{\circ}04'31''\text{O}$).

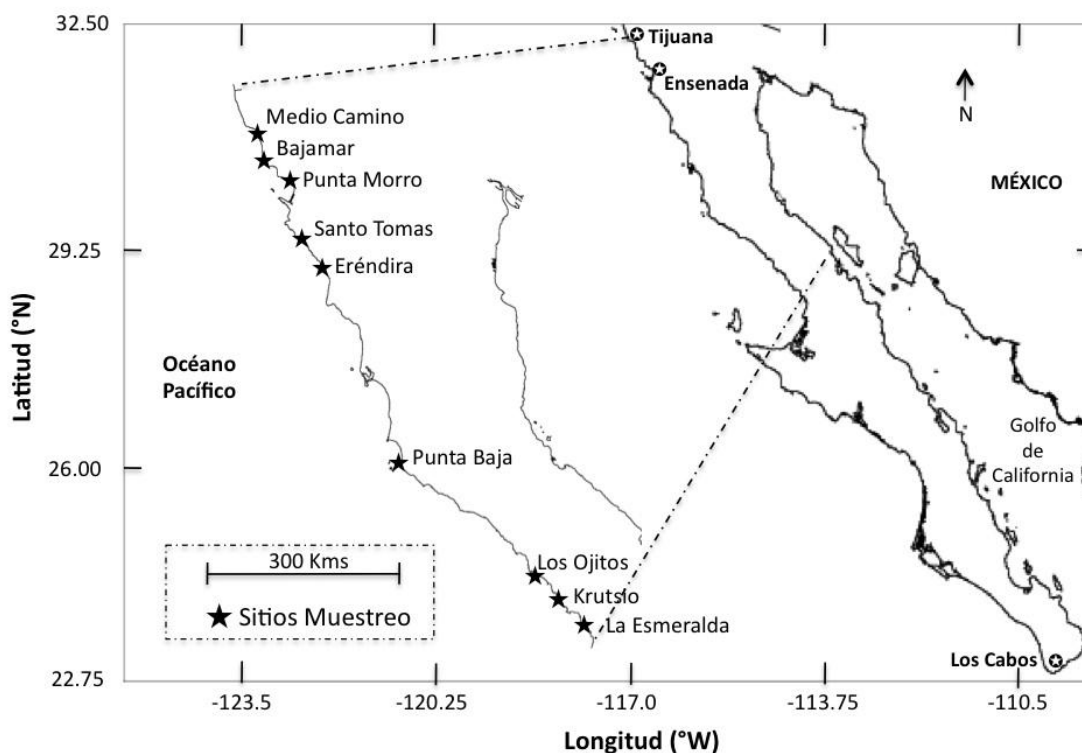


Figura 1.2. Ubicación espacial de los nueve sitios de muestreo a lo largo de la costa de Baja California.

La costa occidental de Baja California entre las latitudes 28 y 32°N, presenta en general un clima de tipo mediterráneo que se caracteriza por ser semiárido, con veranos secos calientes y lluvias entre los meses de noviembre y marzo. El promedio anual de precipitación es de 250 mm. Debido a la influencia del SCC la temperatura del agua marina varía entre los 13 y 20°C, con presencia de eventos de surgencias costeras estacionales principalmente entre los meses de abril – junio.

La vegetación terrestre dominante es el matorral costero y a lo largo de toda la línea de costa se destaca la presencia de zonas rocosas, dunas costeras y playas arenosas bordeadas de acantilados. Entre los principales cambios de la región se reporta que entre 1980 y 1990 la tasa anual de crecimiento poblacional se incrementó en las principales ciudades de la región como Tijuana, Ensenada y El Rosario (Escofet y Espejel, 1999). Los principales problemas ambientales y ecológicos en el área están relacionados con el suministro de agua, la contaminación de aguas costeras por desechos y descargas residuales, la pérdida de paisajes y alteración de ecosistemas naturales, así como la sobreexplotación de recursos marinos.

El número y localización de los sitios de muestreo estuvo limitado por la accesibilidad y distancia a los mismos. Los sitios de muestreo se ubicaron en plataformas rocosas que tuvieran una configuración y abundancia de organismos similar, buscando que fueran parecidas en términos de geomorfología, orientación y tipo de hábitat.

1.2.1. Sitios de Muestreo

1.2.1.1. Medio Camino (MC).

Se localiza a 20 km al sur del puerto de Rosarito, B.C. y a media distancia (40 km) entre las playas de Tijuana y el puerto de Ensenada ($32^{\circ}10'54''$ N, $116^{\circ}54'40'$ O). La costa de MC (Fig. 1.3), corresponde a una serie de terrazas rocosas de poca extensión, interrumpidas al norte por el playón de Primo Tapia y al sur por el puerto de La Salina. Presenta una costa semiprotégida al efecto del oleaje y su orientación hacia el mar es noroeste. Esta playa está formada por una plataforma de roca sedimentaria, en su mayoría por conglomerado (INEGI, 1985), y su meso litoral se prolonga hasta 70 m desde el límite con el supra litoral hasta el inicio de la zona submareal.



Figura 1.3. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Medio Camino.

1.2.1.2. Bajamar (**BM**).

Localidad situada a 30 km al norte del puerto de Ensenada, y 5 km al sur de la marina de La Salina ($31^{\circ}58'49''$ N, $116^{\circ}47'38'$ O). Forma parte de la extensión del litoral rocoso que se prolonga por más de 20 km desde la playa de La Salina, al norte, hasta la playa Salsipuedes. Su mesolitoral, formado por roca ígnea extrusiva, con aportaciones de andesita en la base (INEGI, 1985), está caracterizado por una terraza costera expuesta al oleaje intenso. La orientación con vista al mar es hacia el suroeste, y su intermareal se extiende por más de 40 m, a través de una pendiente pronunciada de más de 30 grados de elevación (Fig. 1.4).



Figura 1.4. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Bajamar.

1.2.1.3. Punta Morro (**PM**).

Ubicado en el extremo norte de la Bahía de Todos Santos (BTS), Ensenada, Baja California, ($31^{\circ}51'41''$ N, $116^{\circ}40'04'$ O) presenta un área rocosa semiprottegida al oleaje compuesta por macizo de roca ígnea extrusiva, principalmente basalto y andesita en su base y aluvi3n en la cresta (Tellez-García, 2003), en combinaci3n con arena gruesa y conchuela, adem3s de un 3rea menor de cantos rodados (Guardado-France, 1997). Su orientaci3n hacia el mar es sur, y su litoral lo conforma una plataforma de ligera pendiente (menor a 15 grados), para la cual la zona supra litoral esta interrumpida por un muro de protecci3n, y su zona meso litoral llega a extenderse por m3s 55 m (Fig.1.5).

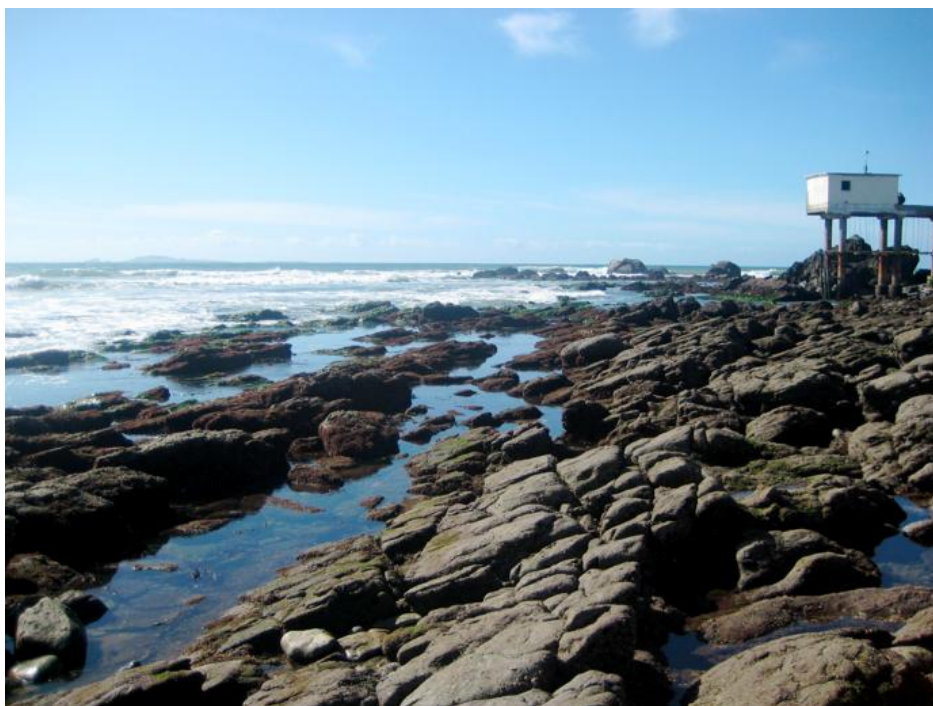


Figura 1.5. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Punta Morro.

1.2.1.4. Santo Tomás (ST).

Esta localidad se ubica al interior de la bahía que lleva el mismo nombre, y está aproximadamente 16 km al sur de la BTS y 1 km al norte de La Bocana del arroyo Santo Tomás (31°38'20" N, 116°39'22" O). La fisiografía de la costa, y la orientación de la playa son hacia el sur y le confieren a la playa de ST condiciones de semiprotección a la energía del oleaje. Su plataforma tiene 2 km de amplitud y su intermareal se prolonga por más de 35 m (Fig. 1.6).



Figura 1.6. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Santo Tomás.

1.2.1.5. Ejido Eréndira (**ER**).

Es una extensa terraza marina de rocas volcánicas terciarias sedimentarias, la cual incluye depósitos de limo y conglomerado (INEGI, 1985). Se sitúa a 60 km al sur de Ensenada, B.C. ($31^{\circ}16'41''$ N, $116^{\circ}22'16''$ O). Su costa esta semiexpuesta a la energía del oleaje y su orientación hacia el mar es suroeste. Su plataforma se extiende hasta por 30 m (Fig. 1.7).



Figura 1.7. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Eréndira.

1.2.1.6 Punta Baja (**PB**).

Es una formación de roca sedimentaria, conformada principalmente de arenisca y aportaciones de conglomerado, su litoral está formado por areniscas marinas recientes (INEGI, 1985). Localizada a la mitad de la costa occidental de Baja California, 50 km al sur de la Bahía de San Quintín y 15 km al suroeste del poblado El Rosario (29°57'15'' N, 115°48'35'' O).

El litoral de PB está caracterizado por una plataforma de abrasión litoral, con pendiente menor a 15 grados, que presenta significativa exposición al oleaje con orientación al noroeste y su zona intermareal se extiende por más de 100 m (Fig. 1.8).



Figura 1.8. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Punta Baja.

1.2.1.7. Los Ojitos (**OJ**).

Se localiza en el extremo norte de la Bahía Sebastián Vizcaíno (BSV), aproximadamente 50 km al norte del puerto de Santa Rosalita ($28^{\circ}52'55''$ N, $114^{\circ}25'22''$ O). Su costa se caracteriza por la presencia de varias puntas rocosas que dan lugar a playas de bolsillo, la mayor de estas puntas (Punta Lobos) le proporciona a OJ las características de playa semiprotegida con orientación hacia al sur. OJ presenta una plataforma rocosa poco extensa, compuesta principalmente de roca ígnea intrusiva ácida y granito (INEGI, 1985). Su intermareal se extiende hasta 23 m, con una pendiente mayor a 20 grados (Fig. 1.9).



Figura 1.9. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Ojitos.

1.2.1.8 Krutsio (KR).

Se ubica al norte de la BSV, a menos de 20 km al norte del puerto de Santa Rosalita, ($28^{\circ}46'23''$ N, $114^{\circ}20'45''$ O). KR se distingue por una plataforma costera de pendiente pronunciada, mayor a 30 grados, formada por roca ígnea extrusiva ácida (INEGI, 1985). Presenta una costa semiexpuesta al oleaje, su orientación con vista al mar es hacia el oeste. Su escarpada y reducida plataforma presenta un meso litoral de 14 m de extensión, interrumpido por un canal de condiciones submareales (Fig. 1.10).



Figura 1.10. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de Krutsio.

1.2.1.9. La Esmeralda (**ESM**).

Se ubica justo en el interior de la BSV, aproximadamente a 80 km al norte de Guerrero Negro, B.C.S. ($28^{\circ}30'54''$ N, $114^{\circ}04'31''$ O). La ESM presenta una costa semiexpuesta al oleaje y su orientación hacia al mar es suroeste. La plataforma rocosa de ESM, esta principalmente conformada por granito-diorita (INEGI, 1985). Se extiende por más de 3 km hacia el norte, partiendo desde el playón con el mismo nombre, y su intermareal se prolonga hasta por 24 m (Fig. 1.11).



Figura 1.11. Panorama de la configuración espacial de la plataforma rocosa de la localidad de La Esmeralda

CAPÍTULO 2

PROCESOS Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LAS COMUNIDADES INTERMAREALES DE BAJA CALIFORNIA

Resumen

Uno de los componentes oceanográficos de mayor escala en la región y que influye fuertemente en la zona costera de Baja California es el Sistema de la Corriente de California (SCC). Con el fin de caracterizar la región oceánica adyacente a la costa oeste del Baja California se determinaron varios parámetros físicos que representan algunos de los principales procesos oceanográficos de la zona. Para esto se obtuvieron los promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) a partir de datos del sensor AVHRR y de la concentración de clorofila-a con información disponible del sensor SeaWiFS. Se calculó el índice de surgencia para las localidades de estudio con la información de vientos superficiales obtenidos del sensor QuikSCAT. Adicionalmente se consultaron las anomalías del índice multivariado del ENOS para los periodos de muestreo y se usaron como referencia los patrones de circulación oceánica de la zona estimados por Durazo *et al.* (2010) a partir de datos de los programas CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) e IMECOCAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California). Dentro de los rasgos característicos para la región, la TSM presentó una variabilidad estacional que osciló entre los 13.5 y 20°C. Los valores más bajos de temperatura se registraron anualmente entre los meses de febrero a abril que corresponden a la estación de primavera, época donde se dan los eventos de surgencia en la zona. Los valores más altos de temperatura se registraron entre los meses de junio y septiembre. Las localidades del sur ubicadas en la Bahía de Sebastián de Vizcaíno registraron temporalmente las temperaturas más altas. Eréndira y Punta Baja presentaron las temperaturas más bajas de la región. Se presentaron eventos de surgencia durante todo el año, con los periodos de mayor intensidad entre los meses de febrero - abril 2007 y en los meses de abril y mayo en 2008. La circulación oceánica describe un flujo en sentido norte-sur durante todo el año modulada por la variabilidad estacional y los cambios en la intensidad de vientos que regulan las propiedades del SCC.

2.1 INTRODUCCIÓN

Avances recientes en el estudio de los ecosistemas costeros han demostrado la existencia de un acoplamiento entre los procesos oceanográficos y ecológicos en el océano (Menge *et al.*, 2003; Blanchete *et al.*, 2006; 2009). Uno de estos casos son los ecosistemas marinos que presentan eventos de surgencia costera, donde la variación de la estructura de las comunidades intermareales entre sitios puede ser explicada parcialmente por los patrones de variación espacial de los procesos oceanográficos inmediatamente adyacentes a la costa (Gaines y Roughgarden, 1985; Menge *et al.*, 1997a; Broitman *et al.*, 2005).

En la región oceánica frente a la costa oeste de Baja California uno de los procesos oceanográficos que destaca son los eventos de surgencia de tipo de frontera oriental. Estos eventos resultan de la interacción entre los vientos dominantes que van hacia el Ecuador, con la superficie del océano y la fuerza de Coriolis. Esta interacción genera el desplazamiento de agua superficial hacia afuera de la costa, la cual debe ser reemplazada con agua profunda fría y rica en nutrientes (Hickey, 1979). Estos eventos tienen una intensidad máxima de abril a junio, con un índice de surgencia costera de 50 a 300 m³/s por cada 100 m de costa. Su intensidad puede variar de acuerdo a las condiciones locales de viento y de la topografía del fondo. La variabilidad espacial de estos eventos también puede ser modulada por la influencia a meso escala de meandros presentes en la Corriente de California (Zaytsev *et al.*, 2003). Las condiciones que se generan a partir de las surgencias son de gran importancia a nivel local y regional ya que favorecen la productividad primaria y disponibilidad de alimento que mantienen a varias poblaciones de especies tanto en el sistema pelágico como en la zona costera.

De igual forma uno de los componentes oceanográficos de mayor escala en la región y que influye fuertemente en la dinámica costera de B.C. es el Sistema de la Corriente de California (SCC) (Fig. 2.1). El SCC está localizado principalmente en la región oceánica de la costa oeste de Norte América, y se extiende aproximadamente desde el Estrecho de Juan de Fuca (Canadá) hasta la Península de Baja California (México) (Hickey, 1998). Está constituido por una corriente superficial con dirección al Ecuador llamada Corriente de California (CC), por la Subcorriente de California (CU) la cual presenta un flujo subsuperficial con dirección hacia el polo norte y por la Contracorriente de California (CCC) que es costera y con una estacionalidad intermitente. Estas corrientes cambian en intensidad a escalas estacionales e interanuales debido a su interacción con varios procesos océano atmosfera (Lynn y Simpson, 1987).

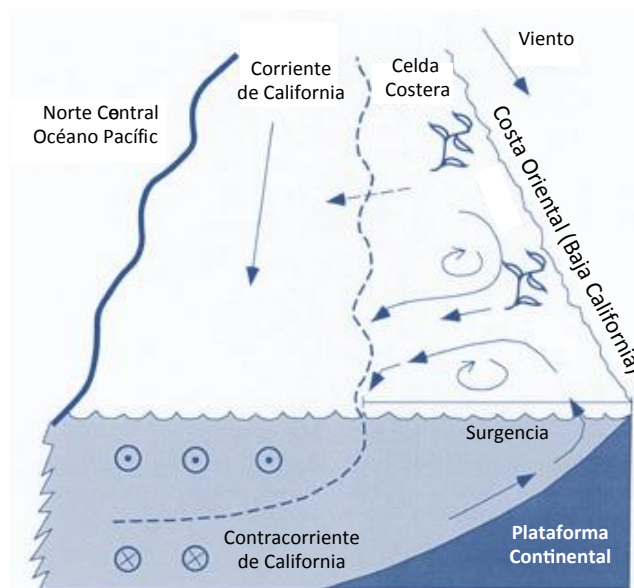


Figura 2.1. Diagrama esquemático del Sistema de la Corriente de California (SCC) cercano a la costa de Baja California durante la época de surgencia en primavera. Los círculos con puntos indican flujos hacia el ecuador, los círculos con X indican flujos hacia el polo. (Modificado de Roughgarden *et al.*, 1988).

La región oceánica de Baja California comprende la región sureña del SCC y es considerada una zona de transición (Roden, 1971), ya que cerca de la superficie confluyen la masa de Agua Subártica (ASA) que transporta la Corriente de California (CC), el Agua Tropical Superficial (ATS) y el Agua Subtropical Superficial (AStS) (Lynn y Simpson, 1987; Hickey, 1998). Debajo de la superficie (100-400 m), el flujo hacia el polo de la Contracorriente de California (CCC) acarrea Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs) (Durazo y Baumgartner, 2002). A mayor profundidad (>500 m) se encuentra agua que se hunde en el Pacífico norte y que es conocida como Agua Intermedia del Pacífico (AIP) (Talley, 1993). Las fronteras entre las masas de agua presentes cambian en escalas temporales muy diversas, desde semanales hasta decadales. Los cambios en las fronteras y la mezcla que resulta de su interacción, establecen muchas de las condiciones que modulan los cambios en la diversidad biológica y química de la región (Bograd y Lynn, 2003; Gaxiola-Castro *et al.*, 2008; Durazo *et al.*, 2010).

La variabilidad interanual de este sistema está fuertemente relacionada con los cambios en la circulación atmosférica de latitudes medias, asociada a eventos El Niño. Los efectos de El Niño en el SCC incluyen el calentamiento de agua locales, cambios en la salinidad, la disminución en las surgencias costeras y un incremento anómalo en el nivel del mar. Un aumento del flujo subsuperficial costero hacia el polo (Subcorriente de California, CU) y una Contracorriente de California más fuerte de lo normal (CC) son características que se esperan durante eventos de El Niño y que traen aguas más cálidas y salinas hacia el SCC. (Chelton *et al.*, 1982; Lynn *et al.*, 1998; Bograd *et al.*, 2001). Existen además evidencias de la presencia de aguas más frescas de lo normal durante algunos eventos El Niño a lo largo de las costas

de California y Oregón, aguas que se cree se originan por el incremento de las escorrentías o por el incremento del transporte hacia la costa de agua Subártica desde el océano abierto (Simpson, 1984; Huyer y Smith, 1985; Ramp *et al.*, 1997).

Incorporar los procesos oceanográficos dentro de un contexto ecosistémico es importante y necesario para poder entender muchos de los procesos ecológicos que suceden en la costa. La influencia de los procesos y parámetros oceanográficos como corrientes marinas, surgencias costeras, temperatura superficial del mar influyen en el transporte y dispersión larval. Así mismo son de gran importancia para el reclutamiento de organismos influyendo a la vez de varias formas en la dinámica de las comunidades intermareales ya que las diversas especies, se distribuyen según las condiciones ambientales del hábitat, de acuerdo con las características particulares de su fisiología.

Las propiedades y características principales del SCC se describen en este capítulo para el periodo de muestreo de este trabajo. Esto, con el objetivo de poder comprender el proceso de acoplamiento físico-biológico y relacionar algunos de los procesos oceanográficos asociados al SCC con los indicadores ecológicos obtenidos de las comunidades del intermareal rocoso de la región.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Temperatura Superficial del Mar (TSM).

Para poder caracterizar las condiciones oceanográficas por medio de los patrones espaciales y temporales de temperatura superficial del mar (TSM) se utilizó la base de datos disponibles del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de resolución nominal de 1.1 km y temporal de 1 día. La base de datos analizada contiene un total de 648 observaciones desde enero de 2006 hasta marzo de 2008. Se seleccionaron los pixeles correspondientes a las localidades de la zona de estudio y se promediaron los primeros tres pixeles más próximos la costa que cruzaban a cada una de las localidades, con el fin de obtener una serie de tiempo con un 80 a 97% de observaciones válidas. El promediar los tres pixeles que cruzan las localidades mejora la cobertura y disponibilidad de datos de temperatura, ya que en ocasiones existen pixeles ausentes en áreas cercanas a la costa. Además, se graficaron las imágenes satelitales con valores promedio mensuales de TSM para la región. Para el análisis de asociación de la TSM con los componentes biológicos se utilizaron las compuestas del promedio mensual de temperatura para las fechas de muestreo respectivas.

2.2.2 Concentración de Clorofila-a.

Se obtuvieron las concentraciones de clorofila-a en el agua de mar a partir de la base de datos del sensor remoto SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) y obtenidos de NASA/Goddard Earth Sciences (GES)/Distributed Active Archive Center (DAAC). Para las localidades de estudio durante los años de 2007 y 2008, se seleccionaron los pixeles correspondientes a su ubicación y se hicieron mapas espaciales con resolución de 9 km por pixel de las compuestas mensuales para los valores de clorofila-a de la región oceánica que comprende el área de estudio.

2.2.3 Índice de Surgencia

Los índices numéricos de la intensidad del proceso de surgencia costera inducida por el viento para la región de Baja California para las localidades y fechas de muestreo, fueron generados a través del cálculo del transporte superficial hacia afuera de la costa de Ekman. Para este cálculo se usó como parámetro de entrada el campo local de vientos a partir de datos de velocidad y dirección del viento del satélite meteorológico y de observación terrestre QuikSCAT, el cual provee una gradilla global de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ con resolución de tiempo de 6 horas.

Una vez conocidos los valores de velocidad y dirección del viento además de la orientación de la costa en cada una de las localidades se calculó el índice mediante la ecuación básica para calcular el transporte superficial de Ekman (1) :

$$\vec{E} = \frac{1}{f} (\vec{\tau} \hat{k}), \text{ (unidades = m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ / 100 metros de costa) } \quad (1)$$

f : Parámetro de Coriolis:

$$f = 2 \Omega \text{ sen } \Phi \quad (2)$$

siendo:

Ω : velocidad angular de rotación de la tierra = $7.66 \cdot 10^{-5} \text{ S}^{-1}$

Φ : latitud de la localidad

$\vec{\tau}$: vector esfuerzo cortante del viento superficial

$$\vec{\tau} = \rho_{\alpha} C_d |v| v \text{ (unidades = Nm}^{-2} \text{)} \quad (3)$$

siendo:

ρ_{α} : densidad del aire (1.2 kg m^{-3})

C_d : coeficiente de arrastre (0.0013)

v : velocidad del viento en (m s^{-1}) con magnitud $|v|$

\hat{k} : vector unitario dirigido verticalmente hacia la superficie del mar

Los valores de Índice de Surgencia calculados a partir del transporte de Ekman, se graficaron en forma de contornos espaciales para las nueve localidades de estudio durante los años de 2006, 2007 y 2008.

2.2.4 Condiciones y Circulación Oceánica.

Con el fin de conocer la dinámica costera y el comportamiento de la circulación oceánica adyacente a las costas de B.C. se usó como información de apoyo los datos de dinámica geostrofica, analizados y presentados por Durazo *et al.* (2010), a partir del cálculo de la anomalía geopotencial del conjunto de datos obtenidos de los programas CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations) e IMECOCAL (Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California) a lo largo de 38 años. Con el uso de esta información se pudo tener un panorama de los patrones de circulación en superficie y así poder relacionar procesos a meso escala que pudieran tener una asociación con los factores ecológicos y/o biológicos observados en la zona.

De la misma forma con la intención de complementar la información oceanográfica disponible, se graficaron los valores del índice multivariado del ENOS (MEI) obtenidos del Earth System Research Laboratory de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) para los periodos entre el 2005 y 2010. Lo anterior se realizó con el fin de ubicar los periodos de estudio (2006 a 2008) dentro de la variación de movimiento de las corrientes marinas que provoca la Oscilación Sur de El Niño y que simultáneamente presenta cambios en la circulación oceánica así como en las distribución de masas de agua en la región.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

2.3.1 Temperatura Superficial del Mar

Los valores promedio de TSM en la zona de estudio presentaron una variabilidad estacional que osciló entre los 13.5 y 20°C. Los valores más bajos de temperatura se dieron anualmente entre los meses de marzo a abril, que corresponden a la estación de primavera, época donde se dan los eventos de surgencia en la zona. Los valores más altos de temperatura se registraron entre los meses de julio a septiembre (Fig. 2.2). Los valores promedio mensuales de la TSM graficados en forma de imágenes espaciales para los meses en los cuales se realizaron muestreos ecológicos se presentan en la figura 2.3. La distribución superficial de temperatura (Fig. 2.3) muestra los valores mínimos cerca de la costa, lo cual refleja la presencia de eventos de surgencia costera con mayor presencia durante el mes de abril. Así mismo se puede observar los valores máximos de temperatura lejos de la costa como producto del calentamiento solar en esta región oceánica.

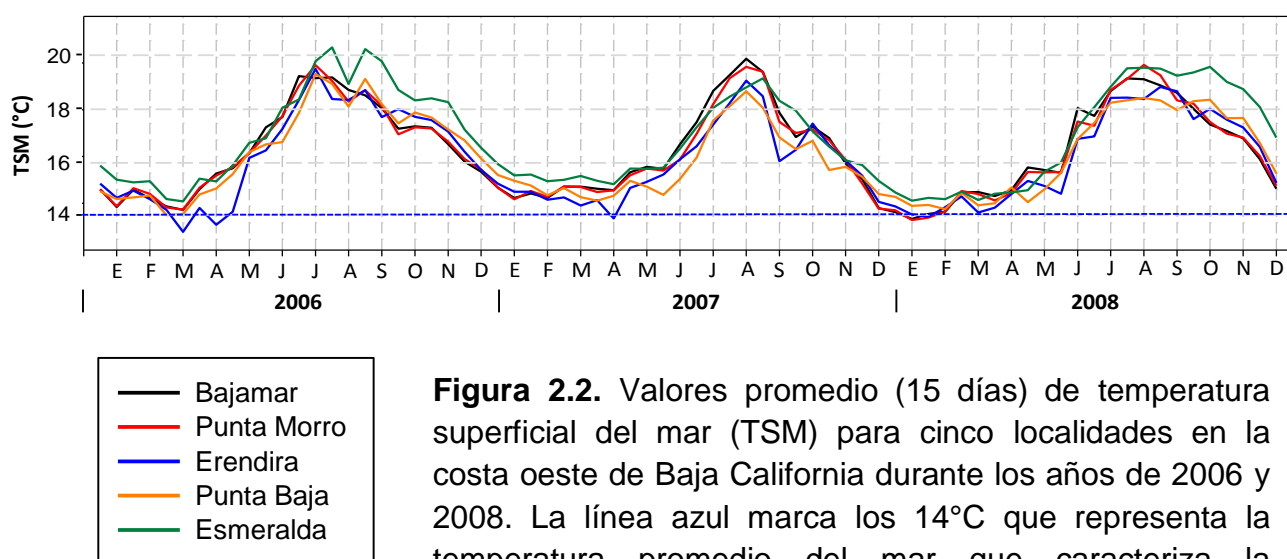


Figura 2.2. Valores promedio (15 días) de temperatura superficial del mar (TSM) para cinco localidades en la costa oeste de Baja California durante los años de 2006 y 2008. La línea azul marca los 14°C que representa la temperatura promedio del mar que caracteriza la presencia de aguas de surgencia costera en la zona.

Los valores más altos de temperatura en la serie de tiempo de TSM correspondieron a la localidad de ESM probablemente debido a que es la localidad ubicada más al sur y se encuentra dentro de la Bahía de Sebastián de Vizcaíno donde en ocasiones la temperatura aumenta como resultado de la estratificación que se observa en la época de verano y a las propiedades de cuenca parcialmente cerrada que esta región costera presenta. En la serie de TSM los valores menores de temperatura ocurrieron en las localidades de ER y PB, lo que pudiera estar relacionado con los eventos de surgencia costera intensos que se registran para ambas localidades a lo largo del año.

2.3.2 Concentración de Clorofila-a.

Los valores promedio mensuales de concentración de clorofila-a para la zona de estudio en el periodo de estudio presentaron una alta variabilidad y se muestran de manera gráfica en la figura 2.4. Los máximos de concentración promedio mensual de clorofila-a para la región costera de B.C. se registraron durante los meses de junio 2006, marzo y junio 2007, así como durante abril 2008. Los valores registrados para estas épocas se encontraron entre valores de concentración de clorofila de 10.2 y 32.6 mg m⁻³. Estos meses corresponden a los periodos de surgencia costera que promueve el aumento de la productividad primaria en la región oceánica. Aunque este parámetro biológico varía según las condiciones oceanográficas, la importancia de que exista una alta productividad primaria en la zona está relacionado directamente con la disponibilidad de alimento en la columna de agua para sostener algunas poblaciones de organismos marinos entre ellos algunos invertebrados filtro alimentadores que habitan las comunidades intermareales.

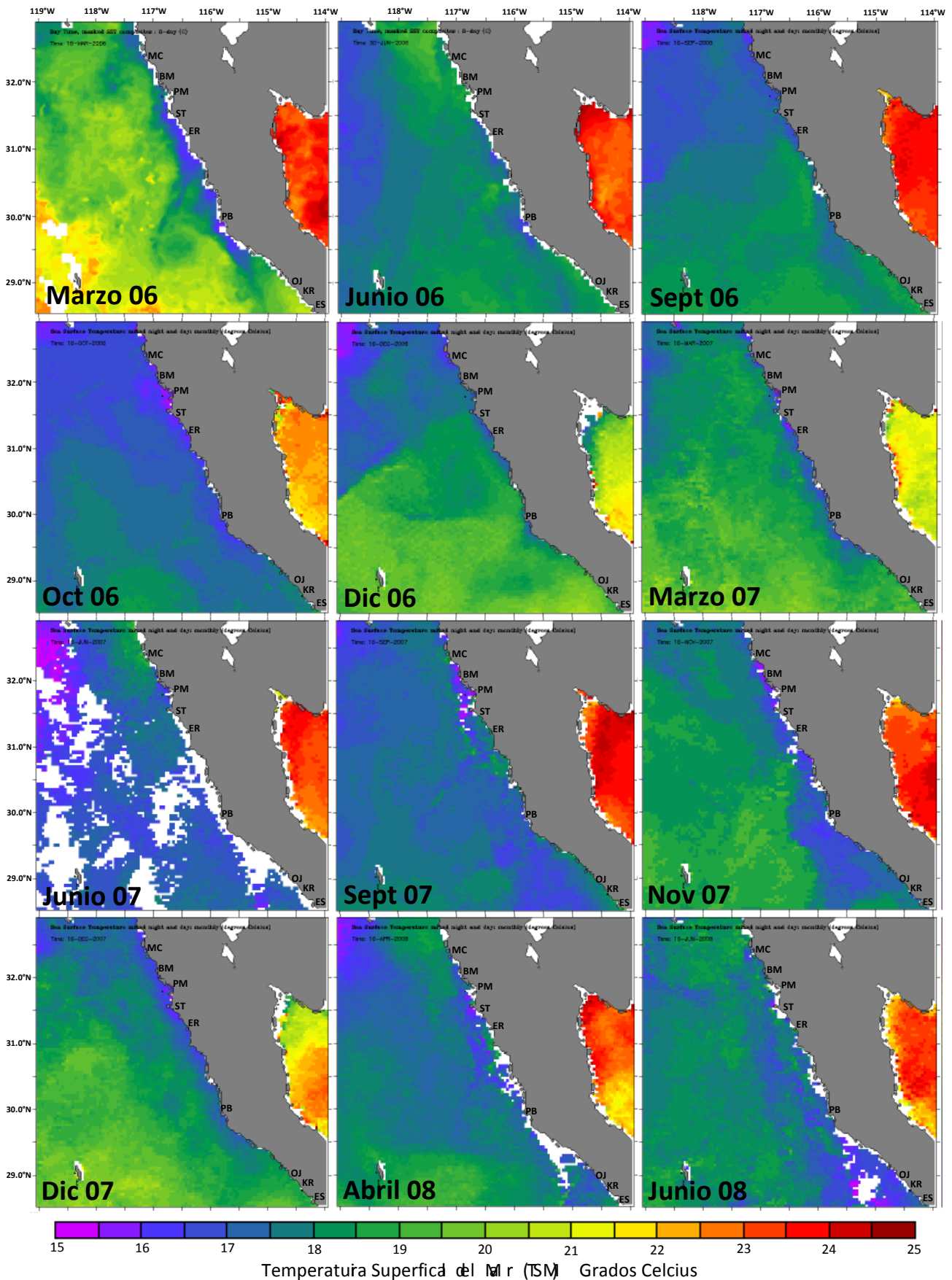


Figura 2.3. Valores promedio mensual de la TSM para la región oceánica y costera de la zona de estudio durante los años 2006 y 2008. Las imágenes corresponden a los meses donde se realizaron muestreos ecológicos.

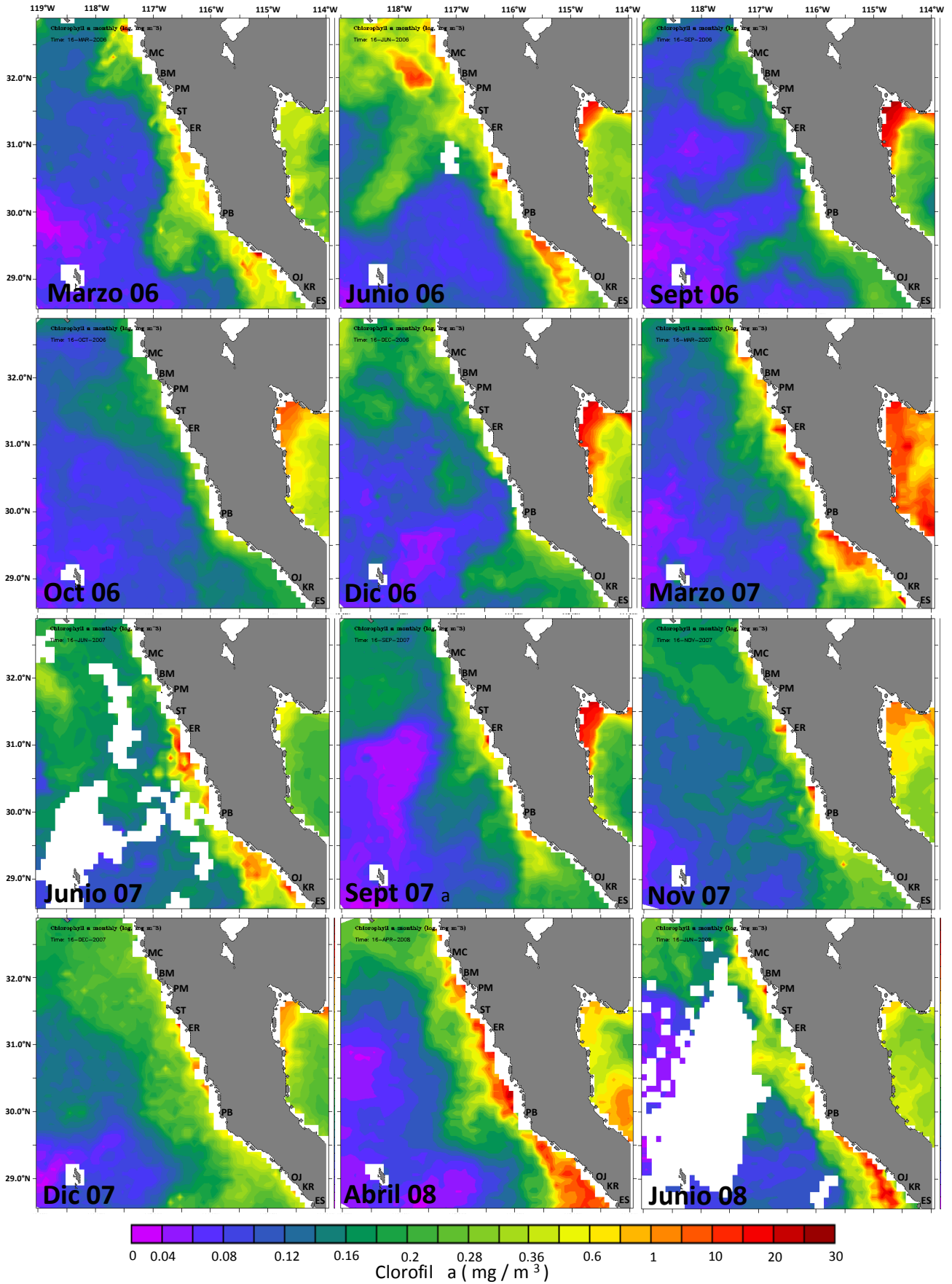


Figura 2.4. Promedio mensual de la concentración de clorofila (mg m^{-3}) para la región oceánica de la zona de estudio durante los años 2006 y 2008. Las imágenes corresponden a los meses donde se realizaron muestreos ecológicos.

2.3.2 Índices de Surgencia

El Índice de Surgencia permite determinar e identificar los periodos de transición de condiciones favorables para las surgencias a condiciones favorables para el hundimiento de agua en la zona costera. Para la región costera de B.C. se observó que los eventos de surgencia presentaron para los años de muestreo una ocurrencia permanente a lo largo del año con algunas épocas de mayor intensidad (Fig. 2.5).

Durante el año de 2007 estos eventos se registraron durante los meses de febrero y abril con mayor intensidad en las localidades de PB, OJ, KR y ESM donde los índices de surgencia variaron entre -2.0 y $314 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}/100\text{m}$. Para 2008 los periodos de surgencia se presentaron durante los meses de abril y mayo, con mayor intensidad en el último mes en las localidades de la región sur del área de estudio (Fig. 2.6). De manera general los eventos de surgencia registrados sucedieron con mayor intensidad durante la primavera ya que los vientos a lo largo de la costa son más intensos en esta época del año.

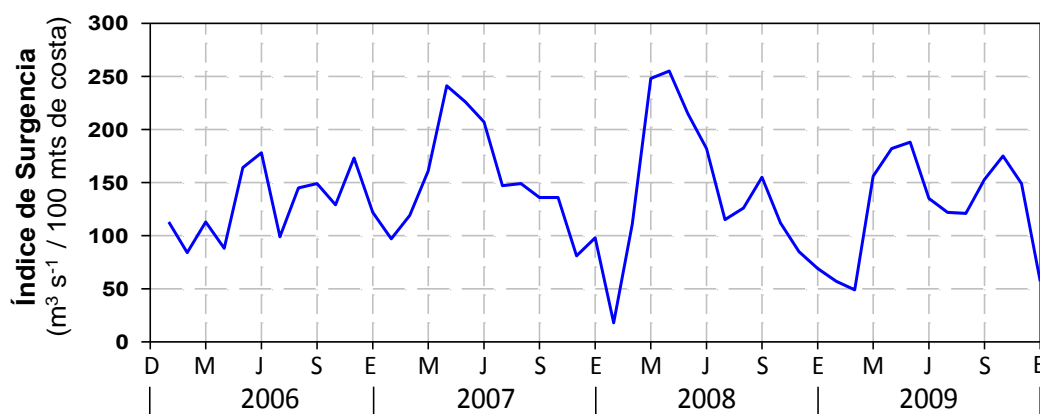
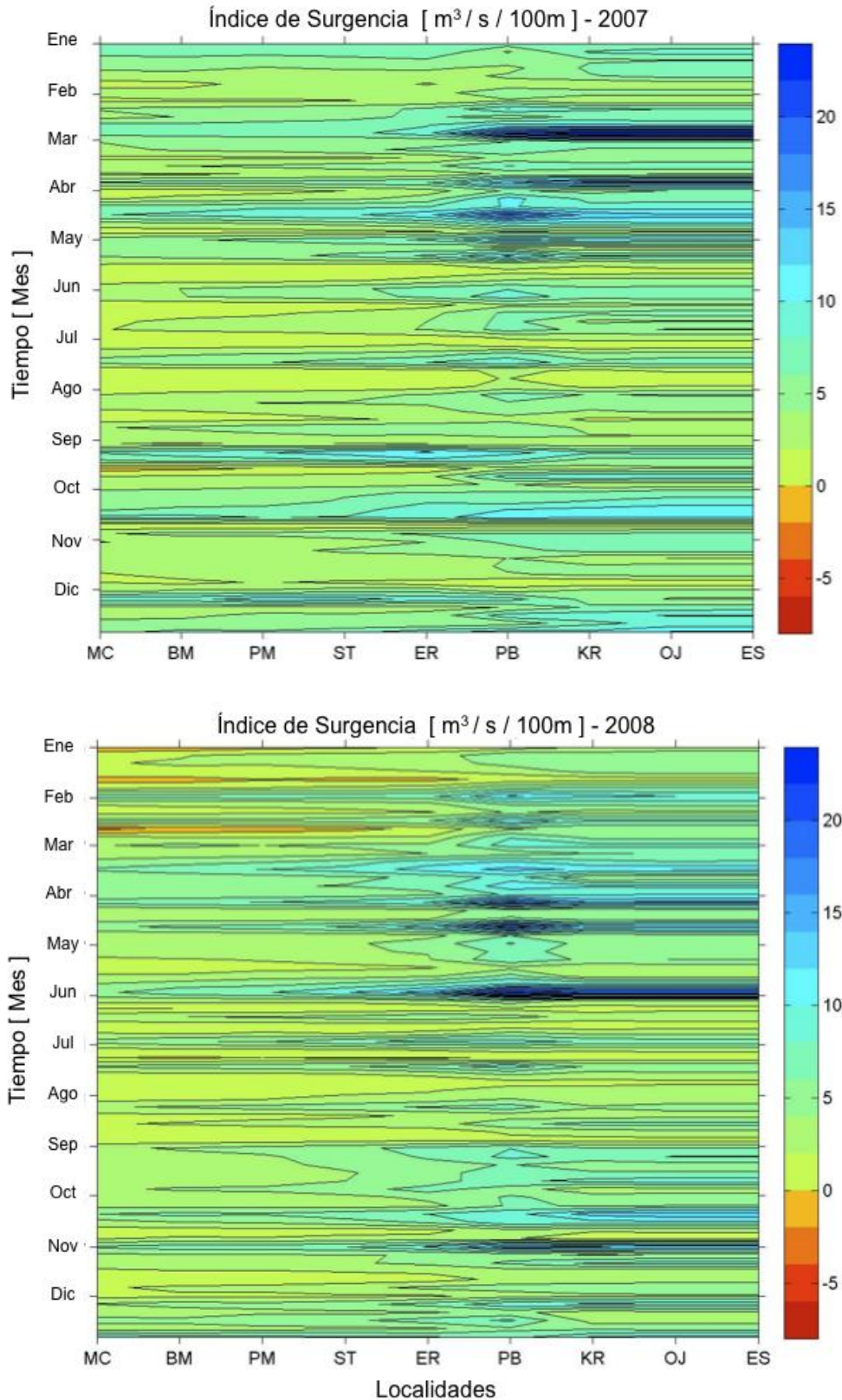


Figura 2.5. Índice de Surgencia promedio mensual durante el periodo de 2006 - 2009 para la región oceánica (30°N - 119°O) ubicada en frente de B.C. Valores obtenidos del Pacific Fisheries Environmental Laboratory (NOAA).



Figuras 2.6. Contornos del Índice de Surgencia ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} / 100\text{m}$) para las nueve localidades de estudio durante los años 2007 y 2008. (referirse al texto para la abreviatura de los sitios)

2.3.3. Condiciones y Circulación Oceánica

Los patrones de circulación oceánica en superficie reportados por Durazo *et al.*, (2010) se derivan del cálculo de la anomalía geopotencial de datos de los programas CalCOFI e IMECOCAL. En la superficie (Fig. 2.7), el flujo es en promedio hacia el ecuador y está modulado por la variabilidad estacional. Durante la primavera, cuando los vientos de surgencia son más intensos (Hickey, 1998) y las temperaturas superficiales son mínimas, la pendiente de la superficie del mar en la dirección costa-océano es máxima en la región norte. En invierno, el flujo hacia el sur es similar al de primavera aunque con gradientes de elevación del mar menores. Hacia el verano y el otoño, los gradientes horizontales disminuyen y el flujo se caracteriza por meandros y estructuras de meso escala. La mayor parte del serpenteo en el flujo está asociado con la más grande prominencia costera de la región, Punta Eugenia.

Los mismos autores mencionan que en la capa superficial, los vientos a lo largo de la costa son más intensos durante la primavera. Un debilitamiento de los vientos desde verano hasta invierno, y un incremento en la ganancia de calor por el océano que propicia la estratificación vertical, favorecen la existencia de estructuras de meso escala (Fig. 2.7). Dichas estructuras o meandros no son suficientes para cambiar drásticamente la distribución de propiedades en la región.

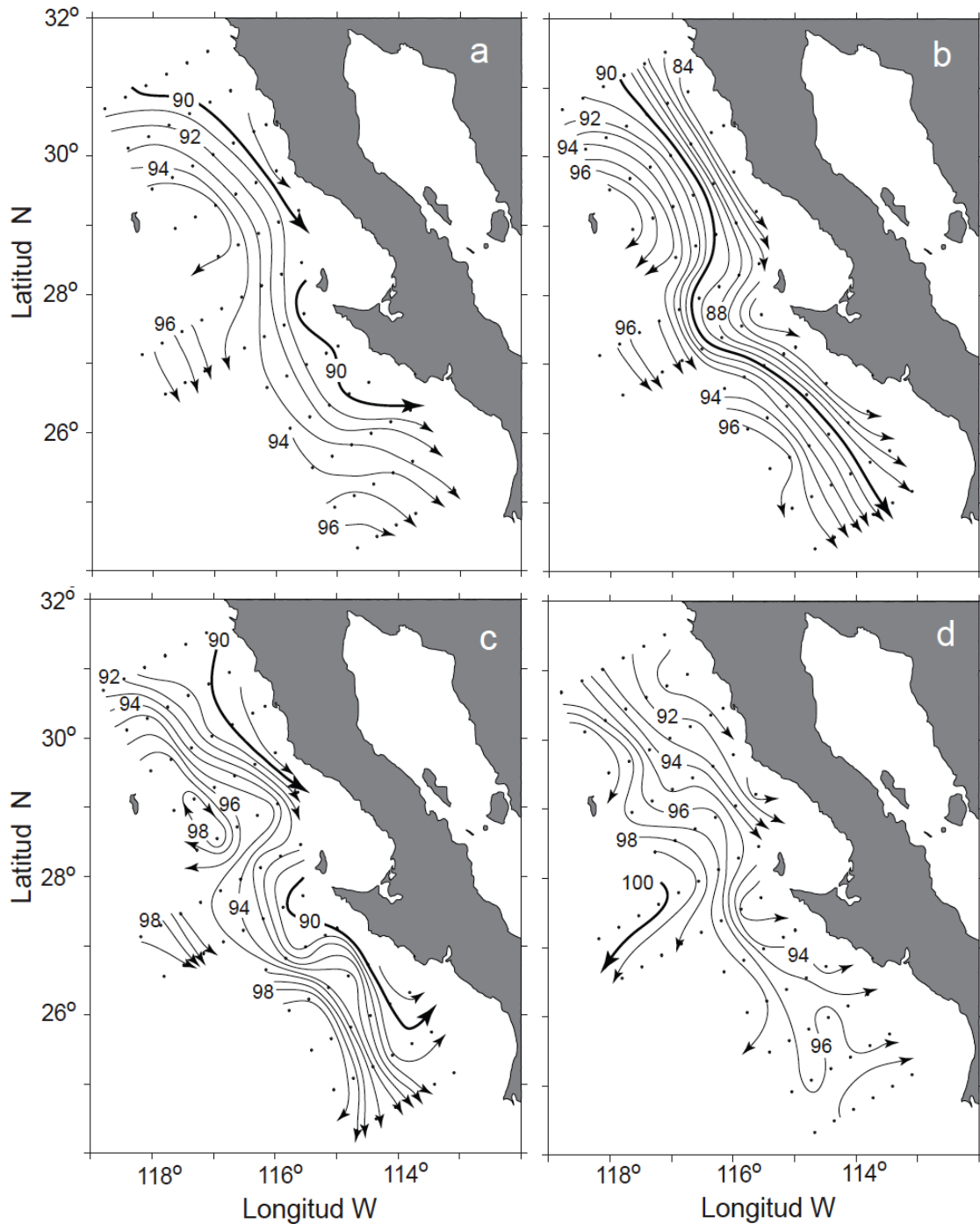


Figura 2.7. Contornos de altura dinámica de la superficie del mar relativos a 500 dbar (cm dinámicos, 1 cm din = 0.01 J/kg). El intervalo de contornos es de 2 cm din. Las flechas indican la dirección de la corriente. Los valores corresponden a las medias climatológicas de datos de los programas CalCOFI e IMECOCAL entre los años 1970 y 2008. El orden de las gráficas describen las diferentes estaciones del año: a) invierno, b) primavera, c) verano y d) otoño. (Tomado de Durazo *et al.*, 2010).

Soto-Mardones *et al.* (2004) mostraron que en la porción sobre la plataforma continental pueden observarse flujos angostos (10-20 km) de una contracorriente superficial que fluye en dirección opuesta a la CC. Esta evidencia, aunque no se observa en lo presentado por Durazo *et al.* (2010), es perceptible en los mapas de alturas dinámicas presentados por Durazo y Baumgartner (2002) y Durazo *et al.* (2005), en donde en algunos cruceros, los flujos de la contracorriente se observan sobre el margen costero asociados a regiones de baja temperatura que favorecen una circulación ciclónica. Estas estructuras ciclónicas de menor tamaño (20-50 km) aunque no fueron muestreadas de forma adecuada por la malla IMECOCAL, son claramente evidentes en los mapas de distribución de altura dinámica. Su importancia radica en que pueden proporcionar un mecanismo físico por medio del cual agua recién emergida, rica en nutrientes, se mantiene en la zona eufótica y favorece la sobrevivencia, el transporte y el reclutamiento de organismos larvales (Durazo *et al.*, 2010).

En la Bahía de Sebastián de Vizcaíno (BSV) han sido escasos los estudios realizados en relación a la dinámica de corrientes y a las características hidrográficas en la región oceánica. Dentro de estos estudios Mancilla-Peraza (1993) y Amador-Buenrostro *et al.* (1995) reportaron que existe un giro anticiclónico en los meses de septiembre – noviembre, el cual se localiza de manera superficial en el interior de la BSV. Además durante episodios de viento intenso del noroeste, el giro se delimita por marcados gradientes de temperatura, generados por advección de agua de baja temperatura que asciende a la superficie frente a Punta Baja y son transportadas al interior de la BSV.

Los muestreos ecológicos realizados en la zona de estudio durante 2006 y 2008 se encontraron oceanográficamente dentro de un ambiente de condiciones El Niño entre 2006-2007, y transición a La Niña de 2007 a 2008 (Fig. 2.8). Las implicaciones de la influencia de este fenómeno océano-atmosférico sobre la dinámica de las corrientes oceánicas y de masas de agua de la zona pueden tener un impacto significativo en las comunidades costeras. En la figura 2.9b, se observa una circulación ciclónica anómala que transporta agua del AStS hacia la costa con alta temperatura y salinidad con flujo hacia el polo. Este flujo es originando principalmente en la región sur de Punta Eugenia.

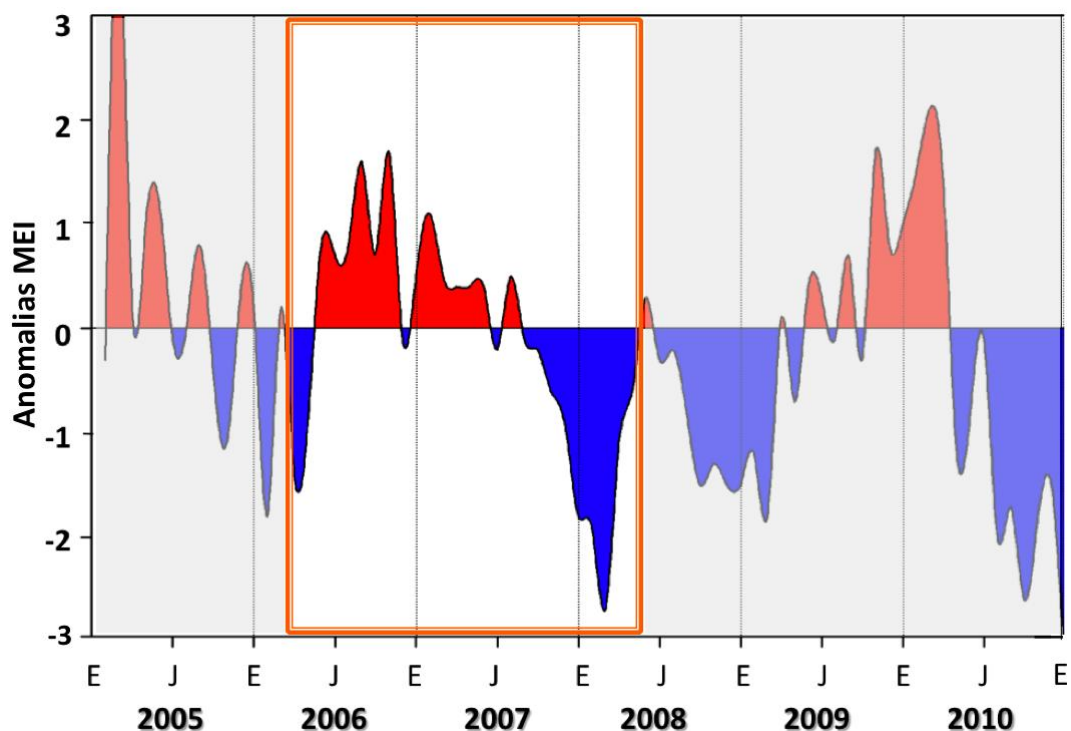


Figura 2.8. Valores del índice multivariado del ENOS (MEI) para el periodo comprendido entre el 2005 y 2010. La sección clara representa el periodo de marzo 2006 a marzo 2008 donde se realizaron muestreos ecológicos en la costa oeste de Baja California. Datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division.

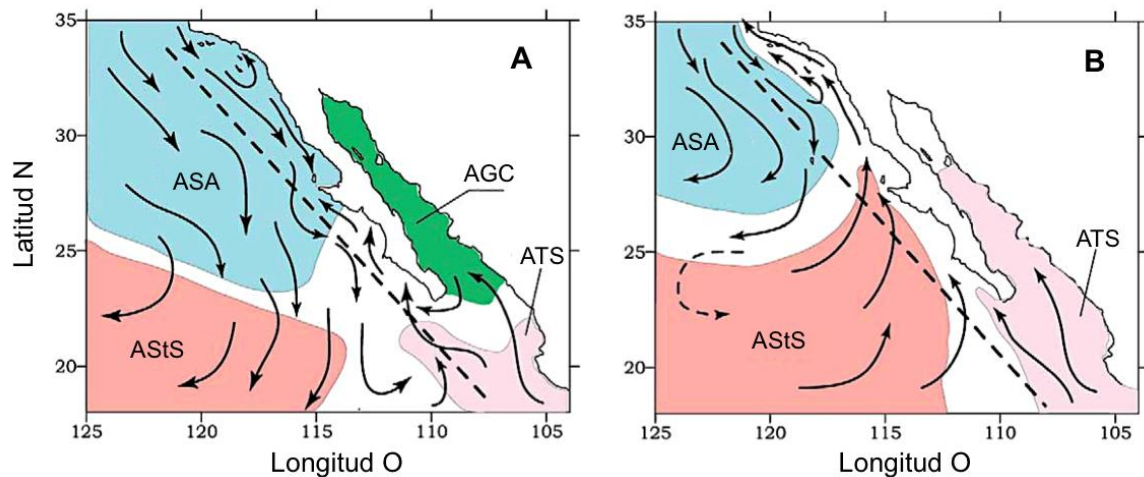


Figura 2.9. Distribución y advección de masas de agua en la zona de transición oceánica de Baja California: a) condiciones normales descritas por Roden (1971) para Noviembre 1969 y b) condiciones descritas para el periodo de El Niño 1997-1998 por Durazo y Baumgartner (2002). Las flechas indican la dirección del flujo superficial asociado a las masas de agua del Agua Subártica (ASA), el Agua Subtropical Superficial (AStS), el Agua Tropical Superficial (ATS) y el Agua del Golfo de California (AGC), (Modificado de Durazo y Baumgartner, 2002).

La influencia de agua cálida (con alta temperatura y salinidad) proveniente del sur como consecuencia del transporte de agua del AStS hacia la costa puede modificar la dinámica oceánica y las condiciones frente a las costas de Baja California. Estos cambios pueden variar dependiendo de la intensidad de los procesos asociados a este transporte, el cual es influido en gran parte por los eventos de El Niño. Al respecto, se observó en la localidad de Esmeralda (ESM) un incremento particular en la TSM de julio a octubre del 2006, ya que para la misma época del año en comparación con 2007 y 2008, la TSM fue menor. Lo anterior podría estar asociado a la influencia de El Niño 2006-2007, ya que ESM al ser la localidad ubicada mas al sur puede registrar la presencia de agua cálida proveniente del sur como consecuencia del transporte de agua del AStS hacia la costa.

Los periodos de surgencia costera durante eventos El Niño pueden presentar una menor intensidad cuando las condiciones ambientales y climáticas derivadas de estos fenómenos cambian la circulación oceánica, incrementan la contracorriente costera y reducen la intensidad de los vientos alejando así el núcleo de transporte de la CC (Durazo *et al.*, 2010). Estos cambios en los procesos oceanográficos modifican las características de las aguas superficiales ricas en nutrientes, los mecanismos de transporte de larvas influyendo así en el arribo, el asentamiento y el reclutamiento de organismos en las comunidades costeras, con el consiguiente impacto en la estructura y dinámica de estas comunidades (Navarrete *et al.*, 2002; Thompson, 2002).

CAPÍTULO 3

ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES DEL INTERMAREAL ROCOSO

Resumen

Con el fin de caracterizar la estructura de las comunidades del intermareal rocoso de la costa oeste de B.C., se determinó la cobertura y uso de sustrato primario de 73 especies de macroalgas y de 14 especies de invertebrados sésiles identificados en nueve localidades de la región durante los años 2006 y 2007. Se observó un gradiente de zonación característico de estas comunidades donde el choro o mejillón *Mytilus californianus* mostró ser el invertebrado sésil dominante en las zonas media e inferior del intermareal. El balánido *Chthamalus fissus* fué el organismo dominante de la zona superior mientras que las especies de algas *Ralsfia pacifica*, *Corallina vancouveriensis* y *Lithophylum proboscideum* conformaron las algas dominantes y con mayor cobertura a lo largo del gradiente vertical. En algunas localidades donde se realiza extracción comercial de recursos bentónicos y existe un mayor impacto antropogénico, se observó una reducción en la abundancia de organismos, menores coberturas de mejillón y un mayor porcentaje de sustrato rocoso expuesto. Debido a los patrones de conectividad y a procesos oceanográficos que caracterizan la región Pacífico noreste, las comunidades del intermareal rocoso de B.C. presentan una relación y relativa similitud estructural con comunidades costeras de California (E.U.A). La información recabada amplía el conocimiento de estos ecosistemas en la región y sirve como línea base y herramienta para definir mejores formas de uso y estrategias de conservación de estos ecosistemas costeros en B.C.

3.1. INTRODUCCIÓN

Las comunidades intermareales son ecosistemas costeros altamente diversos y dinámicos que han sido ampliamente estudiados a lo largo del mundo. Por su accesibilidad y características han sido utilizados como modelos ecológicos para estudiar y observar procesos y patrones a diferentes escalas. La estructura de estas comunidades está definida por componentes como lo son la distribución de las especies, cobertura, abundancia, diversidad, tamaño y relaciones tróficas entre estas.

La zonación, por ejemplo, es un patrón de distribución y abundancia que se puede observar como bandas sucesivas de organismos que varía verticalmente a lo largo de la costa (Fig. 3.1). Este es probablemente el patrón más característico y mejor conocido en las comunidades intermareales rocosas, el cual ocurre ampliamente en varias regiones intermareales del mundo como en las costas de México, Norte América, Sudáfrica, Nueva Zelanda, Chile, entre otras (Lewis, 1964; Stephenson y Stephenson, 1972; Shiel, 2004). Los gradientes de exposición al oleaje proveen un escenario ideal para que la estructura de la comunidad varíe horizontalmente en el espacio. Este patrón de zonación también se da como resultado de la combinación de factores físicos, tróficos y ambientales (Lewis, 1964).

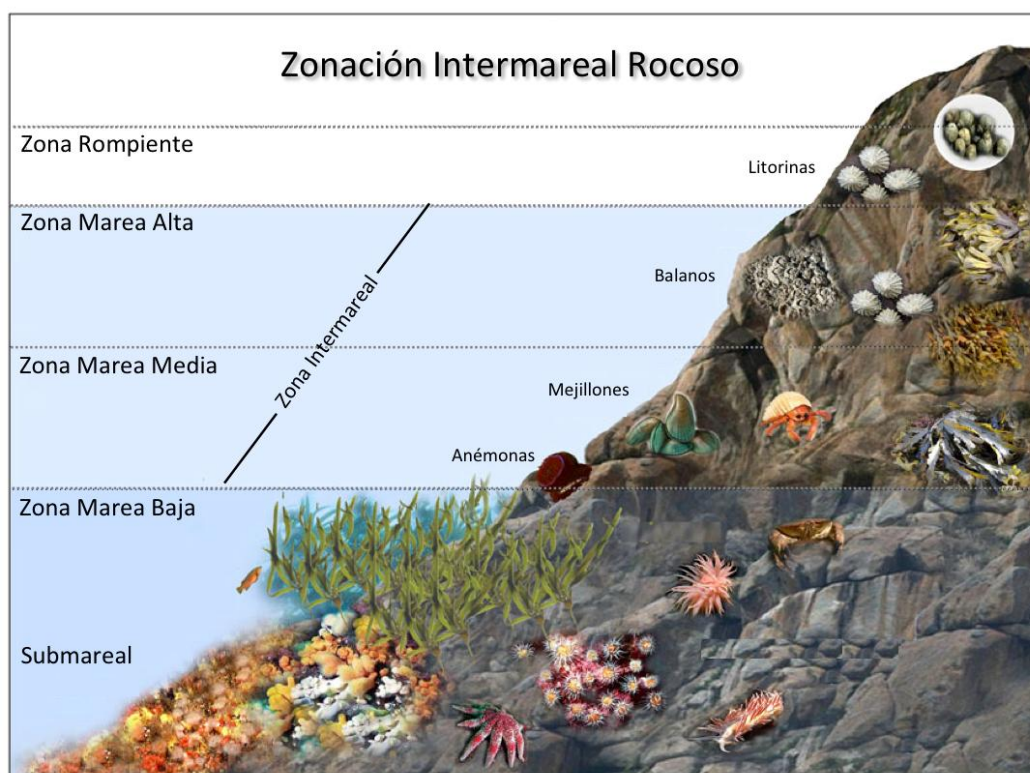


Figura 3.1. Zonación típica del intermareal rocoso de B.C.
(Modificado de Carey, 2010).

Un ejemplo muy similar a los patrones observados en la zona de estudio, ocurre en las costas rocosas del noroeste de Norteamérica, donde la zona superior es típicamente dominada por gasterópodos litorínidos, seguidos por balánidos y algunas veces por algas foliosas. La zona media es normalmente ocupada por mejillones y la zona inferior por una gran variedad de invertebrados y/o algas, incluyendo mejillones, balanos, anémonas, moluscos carnívoros y herbívoros, estrellas de mar, algas laminares y otras macroalgas. En sitios más protegidos de la dinámica del oleaje, los balánidos pueden aún dominar la zona superior pero pueden ser también menos abundantes. En la zona media, los mejillones son menos abundantes y en algunas

ocasiones remplazados como el grupo dominante por las macrófitas. En la zona inferior, las algas laminariales disminuyen su abundancia mientras que las algas incrustantes la incrementan (Menge y Farrell, 1989).

Por muchos años, ha existido un interés particular en entender el papel e importancia de las especies clave en estas comunidades costeras. Entender los procesos estructurales de este tipo de especies puede ser crucial para poder comprender las fuertes y complejas interacciones tróficas que existen entre las especies que habitan el intermareal rocoso. Uno de estos casos sucede dentro de los bancos de choro o mejillón, donde se dan diversos procesos ecológicos como resultado de la gran variedad de organismos y algas asociados a estos bancos, y donde los mejillones conforman uno de los grupos competidores dominantes por los recursos. Además, otros grupos como los depredadores juegan un papel clave al crear y mantener un control sobre otros organismos, regulando el espacio disponible para que otras especies pueden coexistir (Dayton, 1971; Paine, 1974; Menge, 1976). De manera similar, la abundancia de grupos funcionales sésiles pueden estar modulada por invertebrados carnívoros y herbívoros a través de efectos de cascada “top-down”, como es el caso de la estrella de mar y algunos gasterópodos carnívoros (Paine, 1974; Navarrete y Menge, 1996).

Los estudios que integran el ecosistema y a las comunidades del intermareal son limitados en Baja California. Sin embargo se han desarrollado una gran cantidad de estudios en relación a las algas marinas bentónicas (Aguilar-Rosas, L.E. *et al.*, 1982; Aguilar-Rosas, R. *et al.*, 1990; Aguilar-Rosas, L.E. *et al.*, 2000) y de invertebrados marinos (Chi-Barragán y García-Pámanes, 1983; Salas y Oliva, 1983). Además existen estudios que describen ampliamente las comunidades intermareales de las costas de California y Oregón (Connolly y Roughgarden, 1998; Broitman *et al.*, 2001; Blanchette *et al.*, 2006), donde se ha hecho énfasis en la importancia de estudiar estas comunidades dentro de un contexto que integre los procesos de acoplamiento físico-biológico que influyen en su dinámica estructural.

A pesar de que han sido pocos los estudios de este tipo realizados en B.C., se ha observado que estas comunidades comparten patrones y características similares con las poblaciones y comunidades de la costa oeste de Estados Unidos ya que son influidas por un mismo sistema de corrientes y al igual presentan tipos de hábitats y condiciones climáticas similares (Blanchette *et al.*, 2008).

En este estudio se generan algunas hipótesis y posibles explicaciones a las interacciones que existen entre los varios integrantes de estas comunidades, con el fin de abordar la compleja dinámica trófica y poder acercarnos a entender los procesos estructurales en estos ecosistemas marinos de importancia ecológica.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Muestreo de Campo.

Los métodos utilizados para el muestreo estuvieron basados en los métodos descritos por Blanchette *et al.* (2006), los cuales han sido utilizados en muestreos similares a lo largo de la costa oeste de California y Oregón por el grupo interdisciplinario PISCO (Partners for Interdisciplinary Studies of Coastal Oceans). Esta metodología permitió hacer una comparación aproximada de los ecosistemas intermareales rocosos de Baja California, con los resultados obtenidos a lo largo de la costa oeste de Estados Unidos.

3.3.2. Estructura de la comunidad intermareal.

Se utilizó un muestreo estratificado de punto-contacto para cuantificar el porcentaje de cobertura de invertebrados sésiles y especies de macrófitas asociadas al intermareal. A lo largo de la plataforma rocosa estudiada en cada localidad de muestreo (aproximadamente 60 X 45 m) se realizaron 5 transectos perpendiculares a la línea de costa con una distancia entre transectos de 5 m (Fig. 1.10). Estos transectos se extendieron desde el límite superior de la banda de balanos hasta el nivel de marea baja, que coincide con la zona de pastos marinos. A lo largo de cada transecto se identificaron las especies o el taxón inmediato superior que se encontró justo en el punto de contacto, y se registró el organismo o alga que hacía uso del sustrato primario. Esta identificación se hizo en cada transecto a intervalos de 10 cm, cuando el relieve del sustrato fue muy

irregular. En regiones donde el sustrato fue regularmente plano, el muestreo se realizó cada 20 cm. Se registraron además los dos taxones adicionales más cercanos al taxón identificado bajo el punto de intersección en un radio aproximado de 5 cm de acuerdo con la metodología descrita por Blanchette *et al.* (2006).

Se decidió realizar una zonación de la plataforma rocosa para cada una de las localidades debido a que los cambios geomorfológicos particulares de cada localidad modifican el patrón de zonación entre estas. Paralelamente se usó la biota característica de cada estrato como criterio de zonación.

Stephenson y Stephenson (1972) definen la existencia de tres bandas intermareales en este tipo de ecosistemas: (1) intermareal superior que está caracterizada por la presencia de caracoles litorínidos y *Tegula* sp., balanos *Chthamalus* sp. y *Balanus* sp., lapas *Lotia* sp.; (2) intermareal medio, caracterizado por algunas algas corticadas como *Chondracanthus* sp., *Porphyra* sp., *Gelidium* sp., algas costrosas como *Ralfsia* sp. y *Lithothamnium* sp.; los moluscos *Tegula* sp., *Acanthina* sp. y algunos parches de *Mytilus californianus*, anémonas *Anthopleura* spp, y cangrejos *Pachygrapsus* sp; (3) intermareal inferior, lo habitan principalmente camas de pastos marinos de *Phyllospadix* spp., algas corticadas como *Sargassum* sp., *Silvetia* sp., *Egregia* sp. y *Bosiella* sp., además de mejillones *Mytilus californianus*, anémonas (*Anthopleura* spp.), erizos (*Strongylocentrotus purpuratus*) y estrellas de mar (*Pisaster* spp.)

3.3.3. Taxonomía y grupos funcionales.

Con el fin de cuantificar de una manera más amplia la composición en los patrones estructurales de las comunidades intermareales a lo largo de la región, se examinó la abundancia relativa de las especies en términos de su cobertura espacial y fueron agrupadas en grupos funcionales. La clasificación taxonómica usada se determinó de acuerdo a fuentes de referencia y bancos de información taxonómica (Guiry y Guiry, 2011; Integrated Taxonomic Information System, 2011).

La agrupación de las especies (Tablas I y II) se realizó de acuerdo a su función en la comunidad intermareal, tomando también lo sugerido por Murray y Littler (1981) para los invertebrados sésiles y a Ricketts *et al.* (1985) y Steneck y Dethier's (1994) para las macroalgas identificadas en los sitios de estudio. Para el grupo de las algas se definieron siete grupos funcionales (Tabla I): algas laminares, filamentosas, costrosas, corticadas, calcáreas costrosas, calcáreas no costrosas y pastos marinos. Para el caso de los invertebrados sésiles, se clasificaron en cinco grupos funcionales (Tabla II): mejillones, balánidos, percebes, anémonas y gusanos tubícolas.

Tabla I. Lista de especies identificadas de macroalgas asignadas en los diferentes grupos funcionales y tróficos considerados.

Pastos

Phyllospadix torreyi
Phyllospadix scouleri

Laminares

Anisocladella pacifica
Callophyllis violacea
Cryptopleura crispa
Dictyota flabellata
Endarachne binghamiae
Fauchea laciniata
Grateloupia americana
Grateloupia cornea
Grateloupia californica
Iridaea cordata
Macrocystis pyrifera
Mastocarpus papillatus
Mazzaella affinis
Mazzaella volans
Mazzaella leptorhynchos
Mazzaella rosea
Padina durvillei
Porphyra perforata
Porphyra suborbiculata
Porphyra gardneri
Ulva californica
Ulva lactuca
Ulva nematoidea
Ulva rigida

Filamentosas

Bangia fuscopurpurea
Centroceras clavulatum
Ceramium pacificum
Chaetomorpha linum
Cladophora columbiana
Ectocarpus siliculosus
Polysiphonia hendryi
Pterosiphonia dendroidea

Costrosas

Petrospongium rugosum
Mastocarpus papillatus
Pseudolithoderma nigrum
Peyssonnelia rubra

Corticadas

Chondracanthus canaliculatus
Chondracanthus spinosus
Codium fragile
Colpomenia sinuosa
Colpomenia tuberculata
Egregia menziesii
Eisenia arborea
Erythrocytis saccata
Gelidium coulteri
Gelidium pusillum
Gelidium robustum
Gloiosiphonia verticillaris
Gracilariopsis andersonii
Gracilariopsis lemaneiformis
Halidrys dioica
Hesperophycus californicus
Laurencia pacifica
Neogastroclonium subarticulatum
Osmundea spectabilis
Prionitis sternbergii
Pterocladia capillacea
Sargassum muticum
Schimmelmannia plumosa
Scytosiphon lomentaria
Silvetia compressa
Ulva intestinalis

Calcáreas No costrosas

Amphiroa beauvoisii
Bossiella orbigniana
Calliarthron tuberculatum
Corallina vancouveriensis
Corallina officinalis
Jania rosea
Lithothrix aspergillum

Calcáreas Costrosas

Lithophylum proboscideum
Ralfsia pacifica

Tabla II. Lista de especies identificadas de invertebrados sésiles asignados en los diferentes grupos funcionales y tróficos considerados.

Mejillones

Mytilus californianus
Septifer bifurcatus
Modiolus capax
Choromytilus sp.
Brachidontes sp.

Balánidos

Balanus glandula
Megabalanus californicus
Chthamalus fissus
Tetraclita rubescens

Percébes

Pollicipes polymerus

Anémonas

Anthopleura xanthogrammica
Anthopleura sola
Anthopleura elegantissima

Gusanos tubícolas

Phragmatopoma californica

3.3.4. Atributos ecológicos de la comunidad.

Con el fin de describir los atributos ecológicos de estas comunidades intermareales, en el muestreo de marzo de 2007 (el cual integra en total las nueve localidades descritas anteriormente) se estimó la riqueza específica (S) la cual se evaluó en términos del número total de especies y el índice de diversidad (H') de Shannon con la expresión :

$$H' = -\sum P_j \log_2 P_j \quad (4)$$

Siendo:

$$P_j = N_i / N_T$$

N_i = numero de individuos de la especie i.

N_T = numero de todos los individuos de todas las especies.

Este índice expresa la relación entre el número de especies y la abundancia relativa de las mismas. Para poder comparar directamente un estudio con otro es importante ser consistente en la elección del índice de diversidad, a pesar de que otros índices pudieran ser teórica y biológicamente más aceptables (Magurrán, 1988).

Se utilizó el índice de equidad específica, el cual evalúa en que medida las especies mantienen una abundancia equivalente.

$$J' = H' / H_{\max} = H' / \ln(S) \quad (5)$$

Siendo:

S = Numero de especies.

La diversidad máxima (H_{\max}) ocurre cuando todas las especies tienen abundancias idénticas, esto es, si $H' = H_{\max} = \ln S$. La relación entre la diversidad observada y la diversidad máxima se puede tomar por consiguiente como una medida de uniformidad (Pielou, 1977), donde los valores próximos a uno indican una alta uniformidad en la comunidad de un sitio específico mientras que los que son próximos a cero expresan alta dominancia de alguna especie.

3.3.5. Análisis de agrupamiento.

La agrupación espacial de las localidades en función de la estructura de las comunidades se realizó por medio de un análisis de similitud de especies usando el método de Bray-Curtis, el cual permite comparar las poblaciones de distintos ecosistemas o de un mismo ecosistema en diferentes periodos de tiempo. Para este caso se utilizó la cobertura total de los grupos funcionales de invertebrados sésiles y algas. Los datos fueron previamente estandarizados mediante la transformación de doble raíz cuadrada con el objetivo de resaltar aquellas variables con menor valor de representación.

3.4. RESULTADOS

3.4.1. Composición de las comunidades de macroalgas en B.C.

Las especies de macrófitas que se describen para las diferentes campañas de muestreo corresponden únicamente a las especies que se observaron aleatoriamente y que no se encontraron en ambientes topográficamente irregulares como cuevas, grietas, fosas, posas de marea, etc., sobre las plataformas estudiadas. Por lo anterior los datos de los transectos en la mayoría de los casos contemplan a las especies más comunes, ya que visualmente se identificaron fuera de los transectos algunas otras especies en los sitios de muestreo.

A lo largo del intermareal rocoso del área de estudio se identificaron durante los 5 periodos de muestreo un total de 74 especies de macroalgas dentro de las cuales 46 especies pertenecieron al Phylum Rhodophyta, 17 especies al Phylum Heterokontophyta, 8 especies al Phylum Chlorophyta, 2 especies al Phylum Magnoliophyta y 1 especie al Phylum Bacillariophyta (Tabla I).

3.4.2. Análisis espacial de cobertura de algas para marzo de 2007.

En el muestreo de invierno de 2007 correspondiente a marzo del mismo año se observó que la distribución de los grupos de algas fue heterogénea a lo largo del intermareal. Sin embargo, se observó de manera general que los grupos funcionales de las algas calcáreas costrosas y no costrosas presentaron los porcentajes de cobertura más altos en los diferentes estratos del intermareal (Fig. 3.2).

Zona Intermareal Superior:

El grupo de las algas calcáreas costrosas para la zona superior del intermareal en BM, ST y PB representó la mayor cobertura (22.5, 24.9 y 17.4%, respectivamente). En OJ y PB las algas laminares ocuparon el 17.2 y 8.23%, respectivamente (Fig. 3.2).

Para las diferentes localidades las especies de algas más representativas y con valores más altos de cobertura en el intermareal superior fueron: *Ralfsia pacifica*, *Corallina vancouveriensis*, *Peyssonnelia rubra*, *Mastocarpus papillatus* y *Lithophyllum proboscideum*.

Zona Intermareal Medio:

Para la zona media en ER el grupo de las algas calcáreas costrosas representó el 22.6%, en PB las calcáreas no costrosas el 21.2% y en OJ las laminares el 16.1%. Como caso particular para la localidad de PB el alga *Silvetia compressa* presentó una alta cobertura en forma de tapete que cubre casi totalmente el sustrato rocoso en esta zona. Lo anterior crea condiciones específicas para que algunas especies de algas presenten menor abundancia y los organismos asociados a *S. compressa* presenten una mayor abundancia (Fig. 3.2).

Zona Intermareal Inferior:

Para la zona inferior en ST las calcáreas costrosas representaron el 20.38% en ESM y las filamentosas el 13.7%. En ST, ER y MC las calcáreas no costrosas representaron el 19.41, 16.02 y 13.41%, respectivamente, mientras que el grupo de las laminas para OJ y ER representaron el 12.35 y 10.42% respectivamente. Los pastos marinos en KR, OJ y ESM representaron el 8.81, 8.02 y 6.84%, respectivamente.

En las zonas media e inferior, los grupos de las algas calcáreas costrosas y no costrosas representaron los grupos funcionales con mayor cobertura a lo largo de todas las localidades (Fig. 3.2). Particularmente en la localidad de Ojitos (OJ) la abundancia de algas laminas fue alto en los tres niveles del intermareal. En las localidades de la BSV (OJ, KR y ESM) fue notoria la presencia y abundancia de los pastos marinos ya que en estas localidades la presencia de arena influye positivamente la abundancia de estas algas.

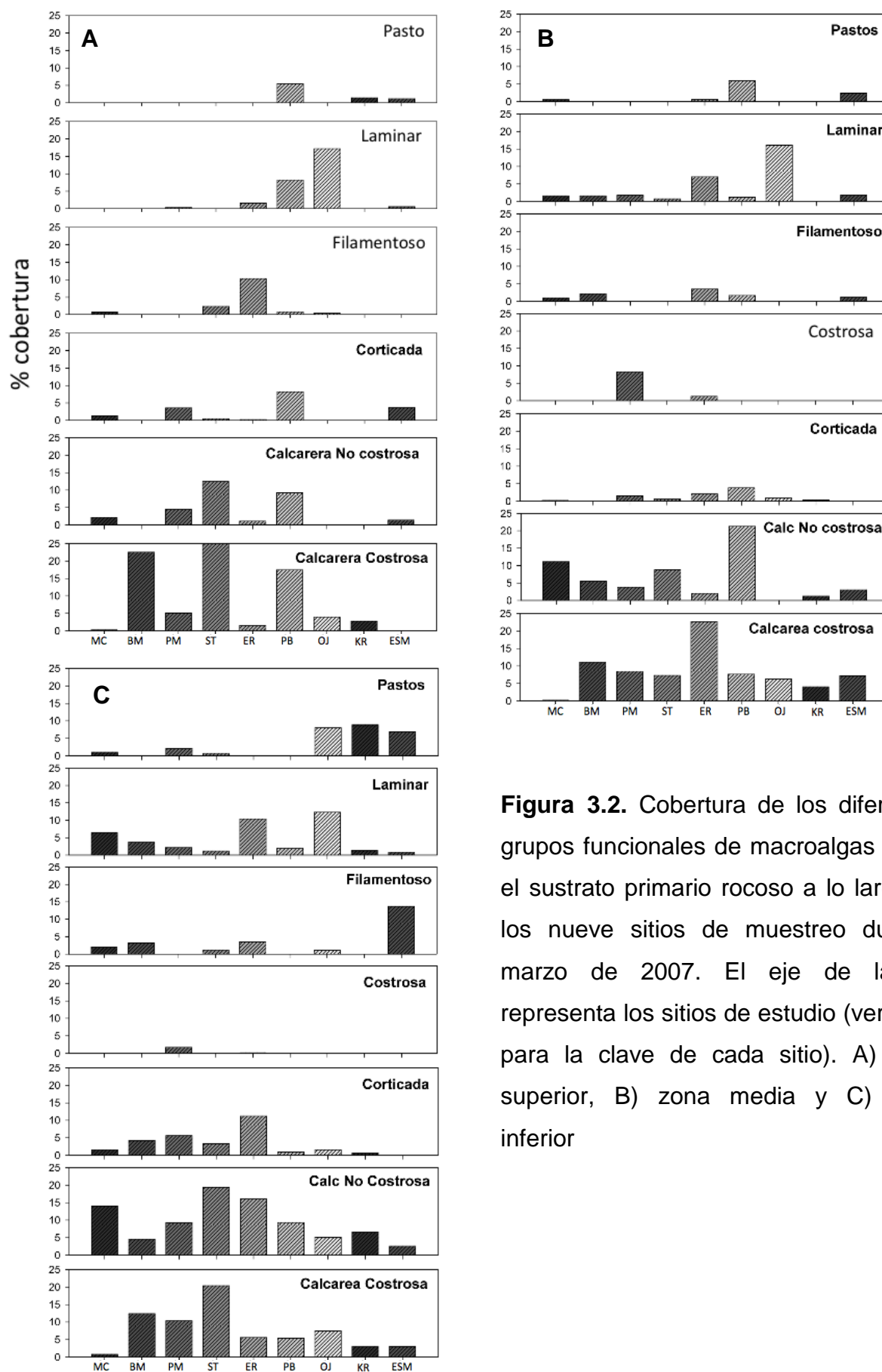


Figura 3.2. Cobertura de los diferentes grupos funcionales de macroalgas sobre el sustrato primario rocoso a lo largo de los nueve sitios de muestreo durante marzo de 2007. El eje de las X representa los sitios de estudio (ver texto para la clave de cada sitio). A) zona superior, B) zona media y C) zona inferior

3.4.3. Índices ecológicos de la comunidad de macroalgas.

3.4.3.1. Riqueza de especies de macroalgas.

Para los índices que describen las características y atributos ecológicos de la comunidad se consideró el criterio de zonación descrita anteriormente (superior, media e inferior) para todos los sitios. La riqueza específica, descrita como el número total de especies presente en los sitios fue variable entre las localidades. En la figura 3.3 se puede observar que en general el número de especies presentes en la zona inferior del intermareal rocoso fue mayor que en la zona media (con excepción de Punta Baja). La zona intermareal superior en la mayoría de las localidades presentó el menor número de especies de algas para la franja litoral, en comparación con las zonas media y baja.

Es de considerar que en la zona intermareal inferior de las localidades de las zonas centro y sur del área de estudio (PB, KR y ESM) presentaron un menor número de especies en comparación con lo observado para las localidades en la zona norte (MC, BM, PM, ST y ER). Las localidades de Eréndira (ER) y Ojitos (OJ) se salen de éste patrón, ya que en ER se observó el mayor número de especies y en OJ el número de especies fue similar a las localidades del Norte. Del mismo modo, en la zona del intermareal superior OJ presentó la mayor riqueza de especies. Es probable que las condiciones geomorfológicas particulares de la plataforma de ER, de tener una gran extensión y estar localizada en una zona altamente influenciada por surgencias estacionales, favorezcan la presencia de una mayor riqueza de especies (Fig. 3.3).

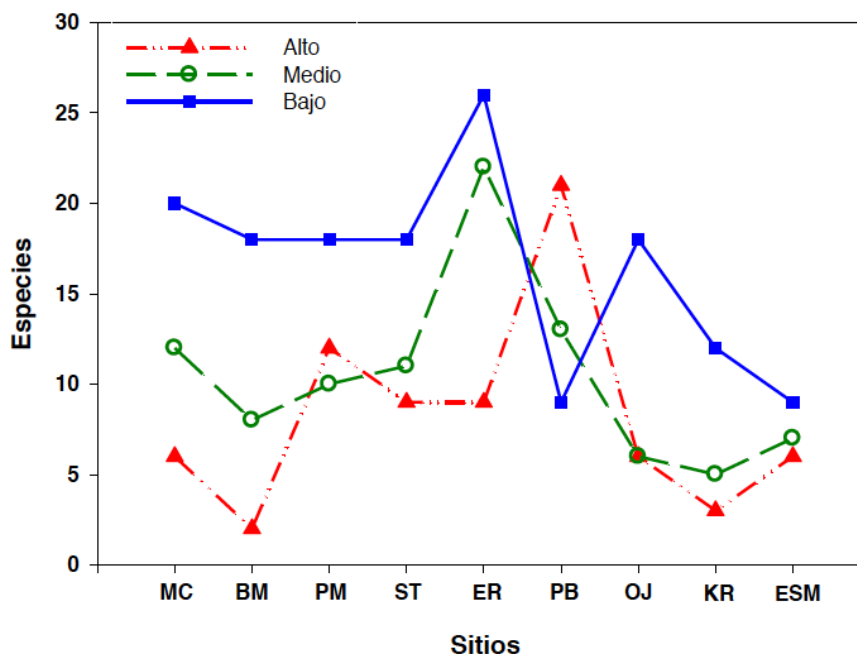


Figura 3.3. Número de especies de macroalgas identificadas en cada una de las nueve localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (ver texto para la clave de cada sitio).

3.4.3.2. Índices de Equidad (J') y Diversidad (H') para la comunidad de macroalgas.

Los valores de equidad observados en los diferentes sitios y entre las diferentes zonas intermareales (Fig. 3.4), sugiere que existe una uniformidad intermedia en la abundancia de la mayoría de los grupos funcionales de algas localidades y en las tres zonas del intermareal, ya que los valores registrados oscilaron entre 0.6 y 0.9 (Fig. 3.4). Sin embargo se observó que para el caso de BM en la zona intermareal superior los valores de equidad fueron bajos (0.4) y esto se debe a que existió una clara dominancia de la especie *Ralfsia pacifica*.

La diversidad (H') de especies de macroalgas para las nueve localidades en B.C. resultó ser mayor en general para la zona intermareal inferior (con excepción de PB y ESM) y en contraste la zona superior registró valores de diversidad menores (Fig. 3.5). Los valores de diversidad para la localidad de Bajamar en el intermareal superior fueron bajos y coinciden con los valores de equidad observados en esta localidad.

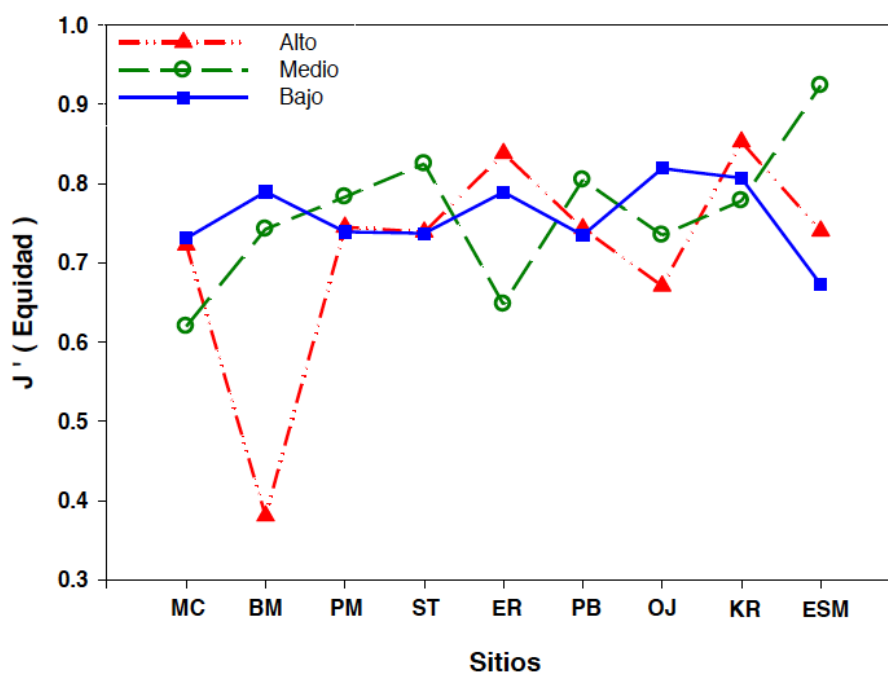


Figura 3.4. Índice de equidad (J') entre los grupos taxonómicos de macroalgas que fueron registrados en cada una de las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (ver texto para la clave de cada sitio).

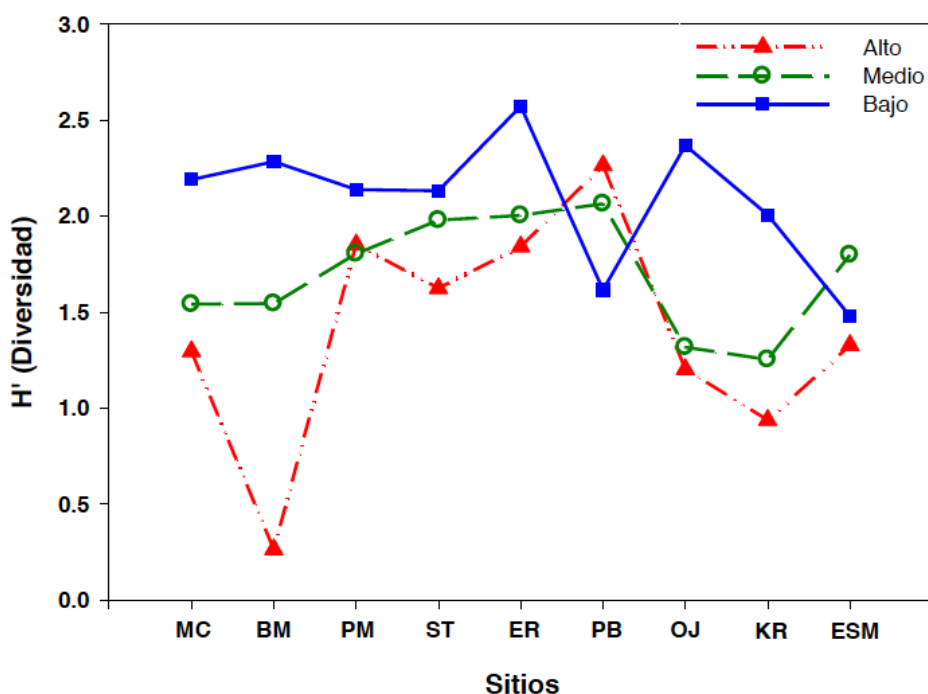


Figura 3.5. Índice de diversidad (H') para las macroalgas que fueron registradas en cada una de las localidades muestreadas durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (ver texto para la clave de cada sitio).

3.4.4. Análisis de agrupamiento de las localidades según el grupo de algas.

Con base en el grupo de algas, el método de agrupamiento realizado mostró que a un primer nivel de separación mayor al 40% de similitud se forman dos grupos (Fig. 3.6). El primer grupo comprende a las seis primeras localidades de norte a sur (MC, BM, PM, ST, ER y PB) con un 43.4% de similitud.

El segundo grupo comprende a las 3 localidades ubicadas al sur de la zona de estudio (OJ, KR y ESM) y equivale al 49.8 % de similitud. A un segundo nivel de separación mayor al 45% de similitud se agrupan las localidades de ESM, OJ y KR con 49.5%, y BM, ST y PB con un 46.4% de similitud. En un tercer nivel de separación mayor al 55% de similitud se formaron tres agrupaciones de localidades: MC y ER con 57.6%, ST y PB con 56.8%, y OJ y KR con 55.7% de similitud.

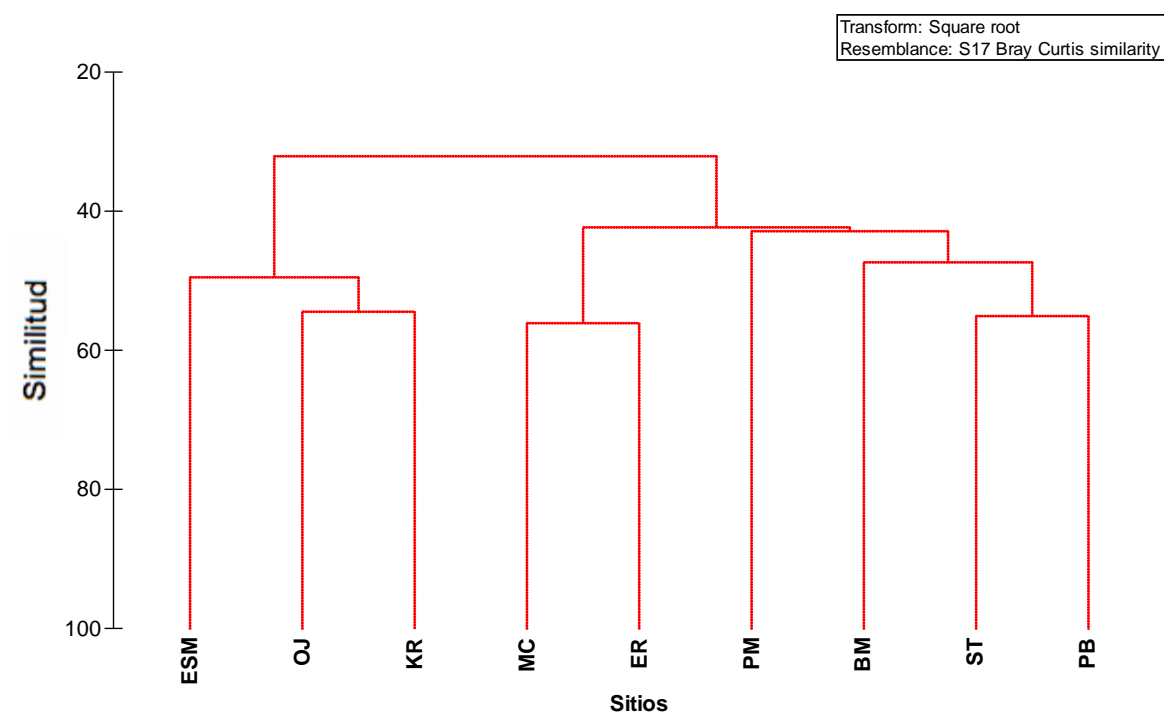


Figura 3.6. Agrupamiento de los sitios de muestreo según método de similitud de Bray-Curtis de los grupos funcionales de macroalgas presentes durante el mes de marzo de 2007. (ver texto para la clave de cada sitio).

3.4.5. Presencia de macroalgas en las comunidades intermareales.

Durante el muestreo entre los periodos de 2006 y 2008 se observaron 25 especies de algas efímeras para las nueve localidades (Tabla III).

Tabla III. Especies de macroalgas efímeras identificadas en el intermareal rocoso de B.C. durante los años 2006 y 2007.

<i>Ulva intestinalis</i>	<i>Gelidium pusillum</i>
<i>Eisenia arborea</i>	<i>Chondracanthus spinosus</i>
<i>Colpomenia sinuosa</i>	<i>Gloiosiphonia verticillaris</i>
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	<i>Gracilariopsis andersonii</i>
<i>Mastocarpus papillatus</i>	<i>Gracilariopsis lemaneiformis</i>
<i>Porphyra suborbiculata</i>	<i>Grateloupia americana</i>
<i>Porphyra gardneri</i>	<i>Grateloupia cornea</i>
<i>Ceramium pacificum</i>	<i>Prionitis sternbergii</i>
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	<i>Callophyllis violácea</i>
<i>Calliarthron tuberculosum</i>	<i>Peyssonnelia rubra</i>
<i>Jania rosea</i>	<i>Erythrocytis saccata</i>
<i>Anisocladella pacifica</i>	<i>Osmundea spectabilis</i>
<i>Cryptopleura crispa</i>	

A continuación se presenta en la Tabla IV la ocurrencia estacional de las diferentes especies de macroalgas identificadas para cada una de las localidades y durante cada uno de los periodos de muestreo en la zona de estudio.

	PB 1	PB 2	PB 3	PB 4	PB 5	OJ 1	OJ 2	OJ 3	OJ 4	OJ 5	KR 5	ES 2	ES 3	ES 4	ES 5
BACILLARIOPHYTA															
Berkeleyaceae															
<i>Berkeleya hyalina</i> (Round & M.E.Brooks) E.J.Cox	x														
CHLOROPHYTA															
Cladophoraceae															
<i>Chaetomorpha linum</i> (O.F.Müller) Kützing										x		x	x	x	
<i>Cladophora columbiana</i> F.S.Collins	x	x	x	x	x					x					
Codiaceae															
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot	x			x				x	x	x	x				
Ulvaceae															
<i>Ulva californica</i> Wille	x			x	x	x				x	x		x	x	x
<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus			x					x							
<i>Ulva nematoidea</i> Bory de Saint-Vincent			x										x	x	
<i>Ulva rigida</i> C.Agardh	x			x											
<i>Ulva intestinalis</i> Linnaeus															
HETEROKONTOPHYTA															
Dictyotaceae															
<i>Dictyota flabellata</i> (F.S.Collins) Setchell & N.L.Gardner															
Scytosiphonaceae															
<i>Endarachne binghamiae</i> J.Agardh						x		x	x	x	x	x	x	x	x
Dictyotaceae															
<i>Padina durvillei</i> Bory Saint-Vincent														x	x
Ectocarpaceae															
<i>Ectocarpus siliculosus</i> (Dillwyn) Lyngbye															
Fucaceae															
<i>Hesperophycus californicus</i> P.C.Silva															
<i>Silvetia compressa</i> (J.Agardh) E.Serrão, T.O.Cho, S.M.Boo & Brawley	x	x	x	x	x							x	x		x
Laminariaceae															
<i>Macrocystis pyrifera</i> (Linnaeus) C.Agardh												x			x

3.4.6. Análisis estacional de cobertura de algas para 2006.

En las figuras de la 3.7 a la 3.16 se presenta el porcentaje de cobertura ocupado en relación al uso de sustrato primario en cada una de las zonas del intermareal (superior, medio, inferior) y el total, para cada uno de los grupos funcionales de macroalgas. Esta descripción se hace en cada una de las localidades donde se realizaron muestreos estacionales. Bajamar (BM), Eréndira (ER), Punta Baja (PB), Ojitos (OJ) y Esmeralda (ESM). Los periodos estacionales de muestreo descritos correspondieron a: invierno (marzo 2006), primavera (junio 2006), verano (septiembre 2006) y otoño (diciembre 2006).

En la localidad de BM no se observó una estacionalidad entre los grupos de algas ya que estos mantuvieron una estabilidad en su cobertura (Figs. 3.7 y 3.8). En ER durante invierno y primavera predominó el grupo de las algas calcáreas no costrosas, mientras que durante verano y otoño se observó que el grupo de las calcáreas no costrosas aumentó su cobertura (Figs. 3.9 y 3.10). En PB se observó que los porcentajes generales de algas disminuyeron drásticamente durante la primavera aunque con un aumento en la cobertura de *Silvetia compressa*, y de algas corticadas y calcáreas costrosas en el intermareal alto (Figs. 3.11 y 3.12). Durante el resto del año los grupos de algas fueron relativamente estables y el grupo de las corticadas destacaron como dominantes.

Para la localidad de OJ se observó que durante invierno y primavera el grupo de las algas laminares, fue el mas abundante y durante todo el año para el resto de los grupos funcionales se registró una relativa estabilidad en su cobertura (Figs. 3.13 y 3.14).

En ESM (Figs. 3.15 y 3.16) la cobertura del grupo de macroalgas a lo largo del año fue relativamente baja en comparación con otras localidades. Los únicos grupos que mantuvieron una presencia constante y con estabilidad estacional en su cobertura fueron los pastos marinos.

Localidad de Bajamar

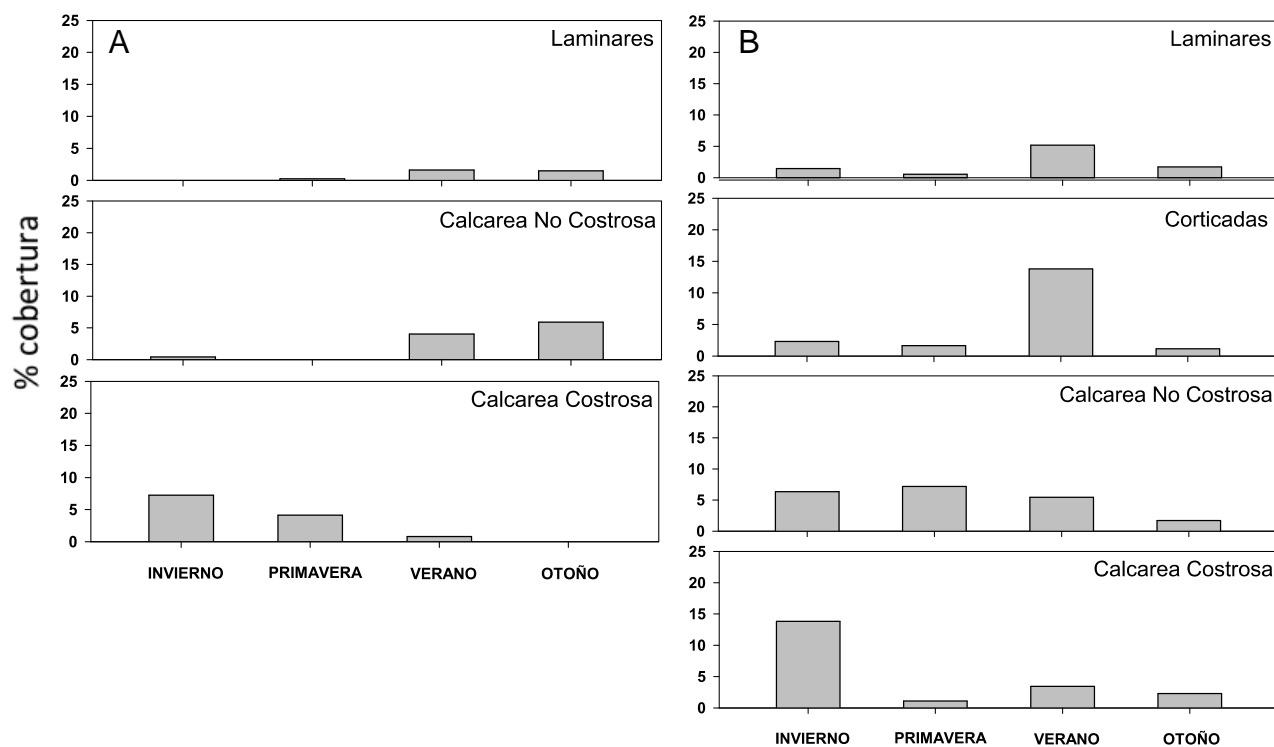


Figura 3.7. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Bajamar

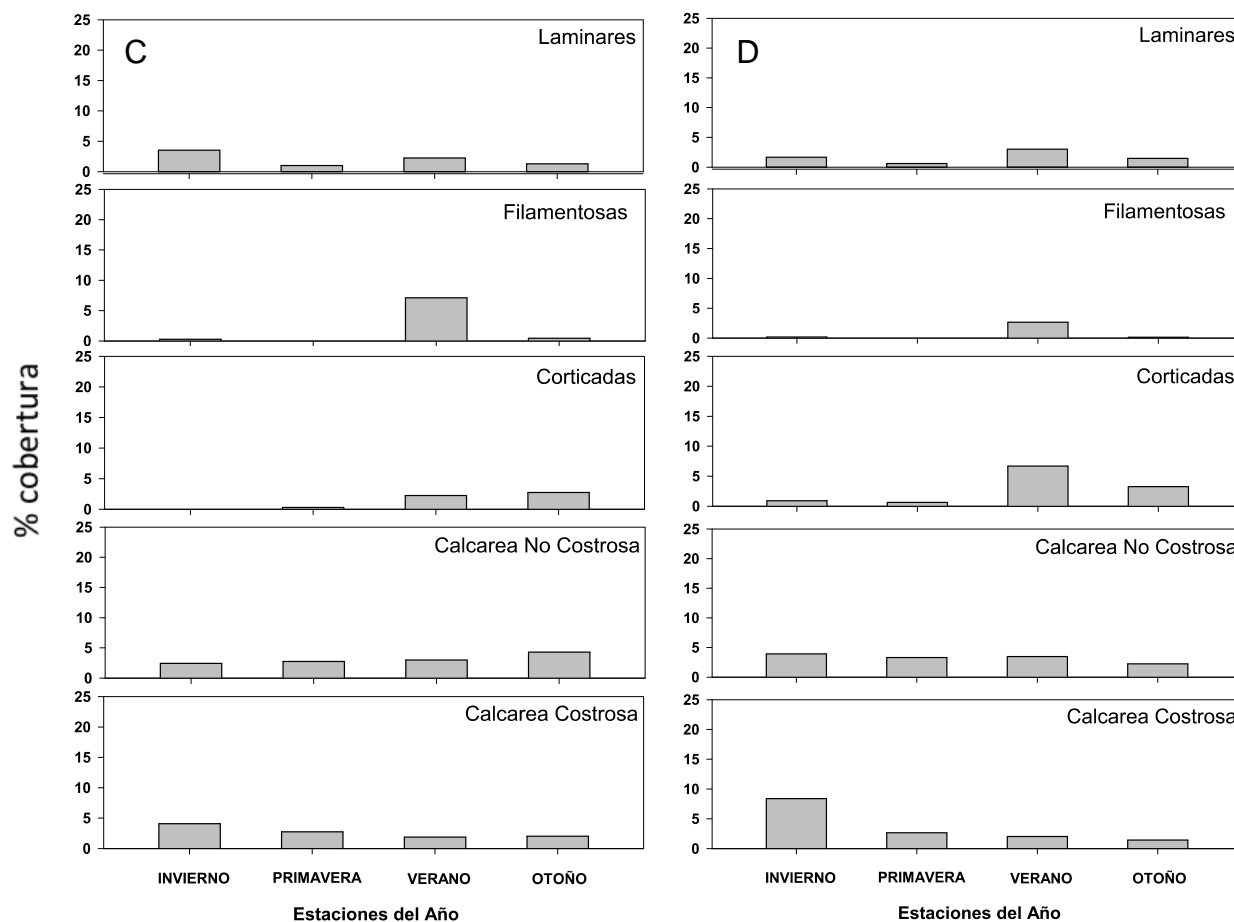


Figura 3.8. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Eréndira

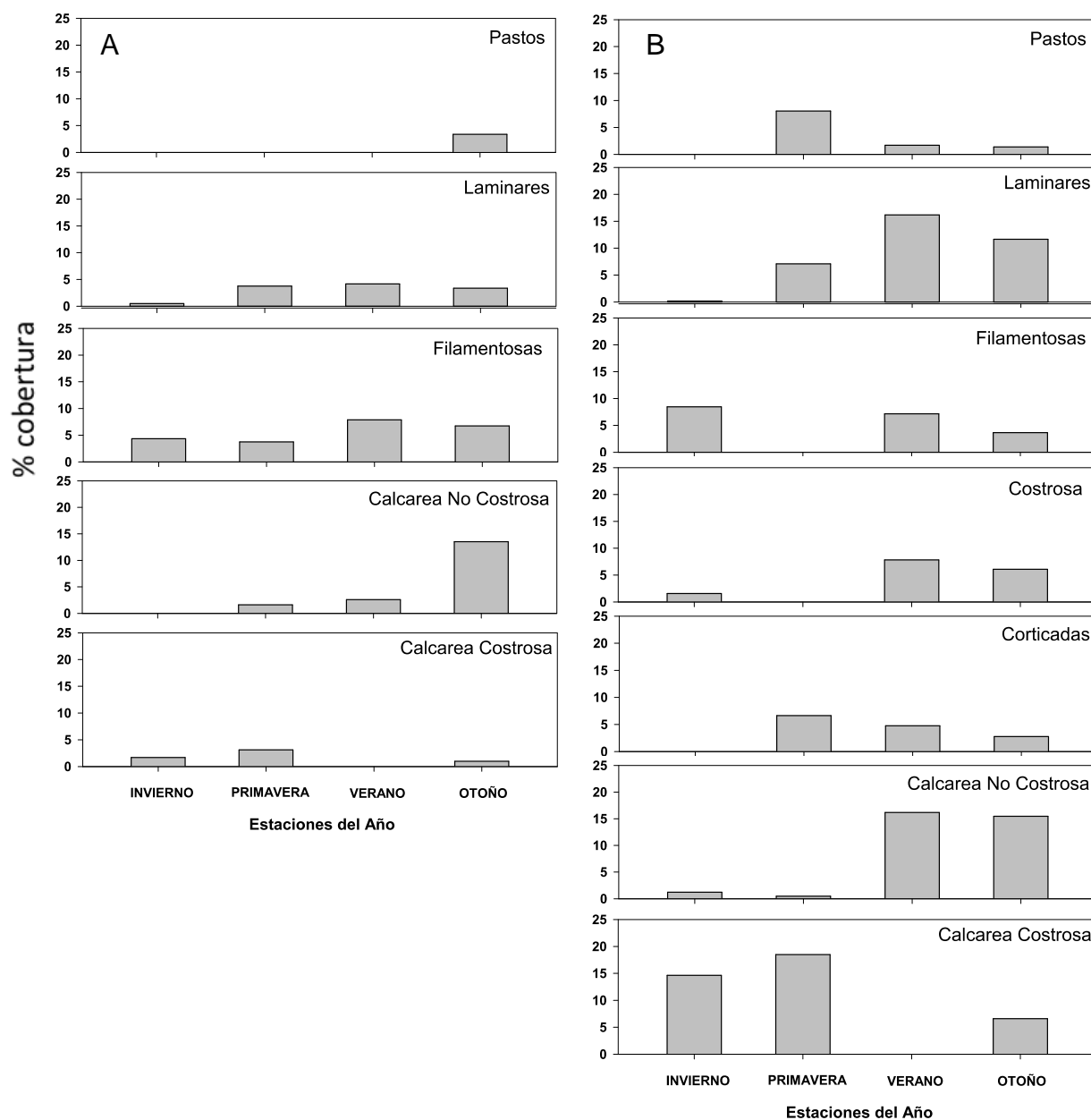


Figura 3.9. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Eréndira

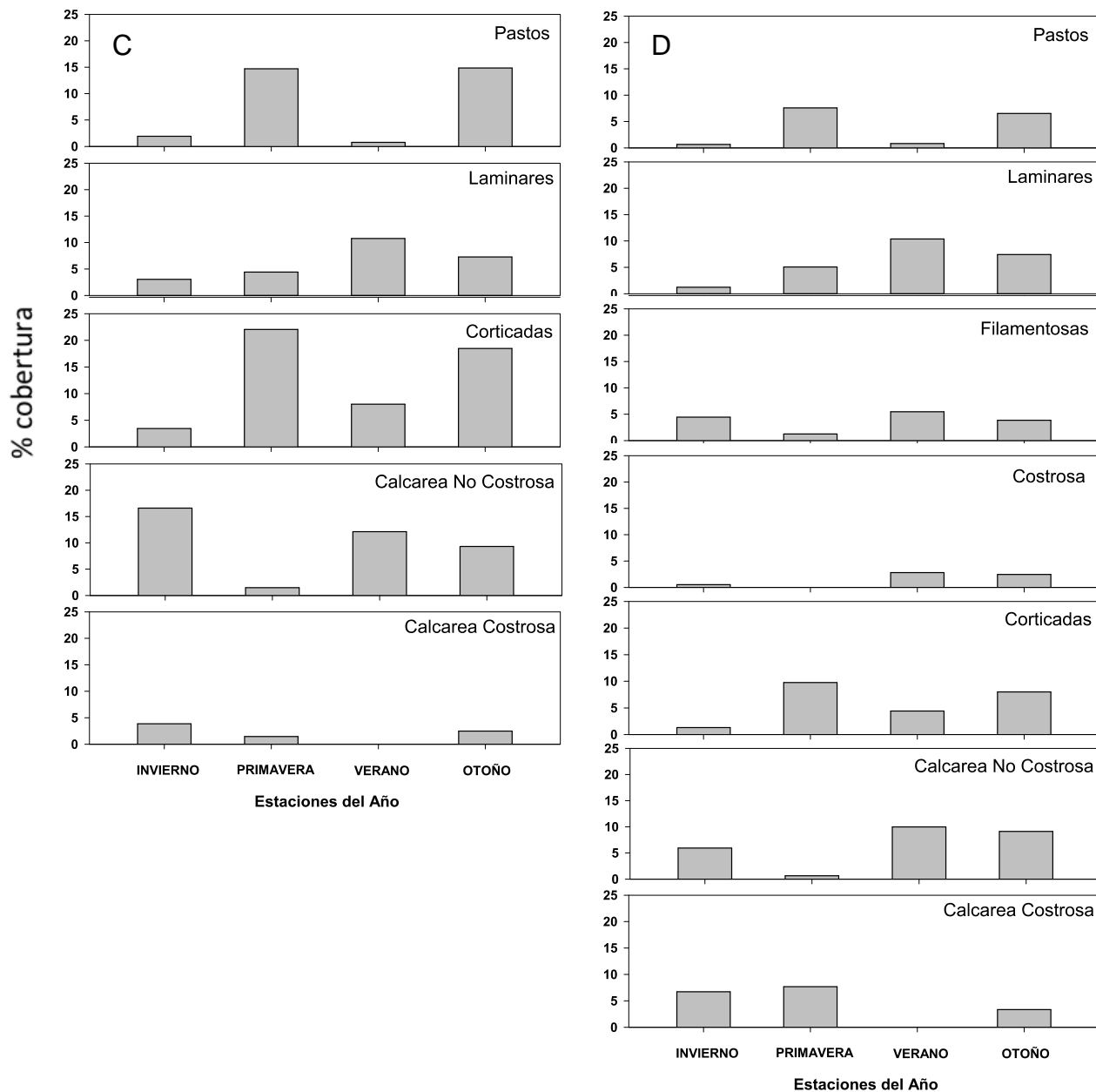


Figura 3.10. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Punta Baja

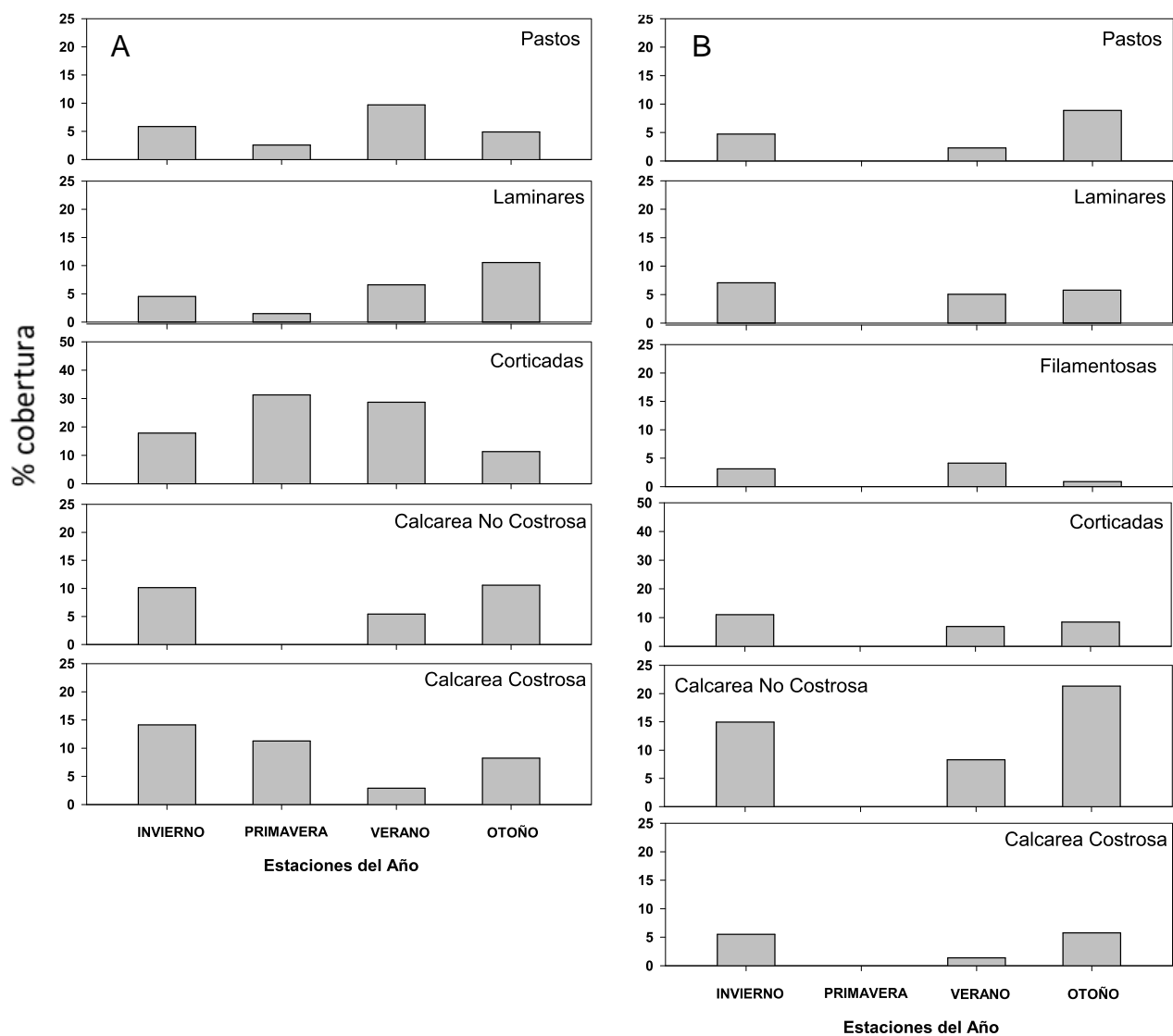


Figura 3.11. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Punta Baja

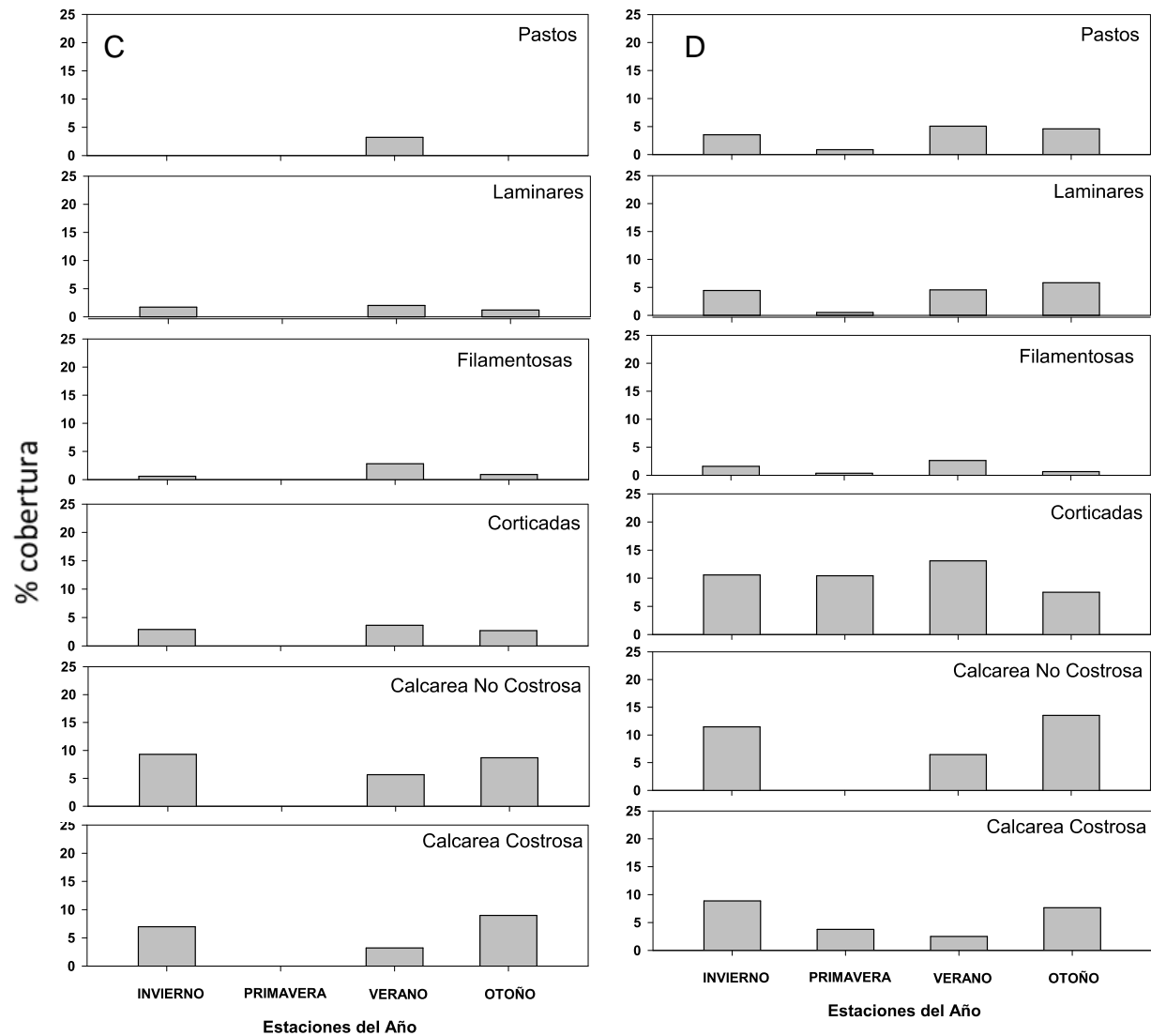


Figura 3.12. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Ojitos

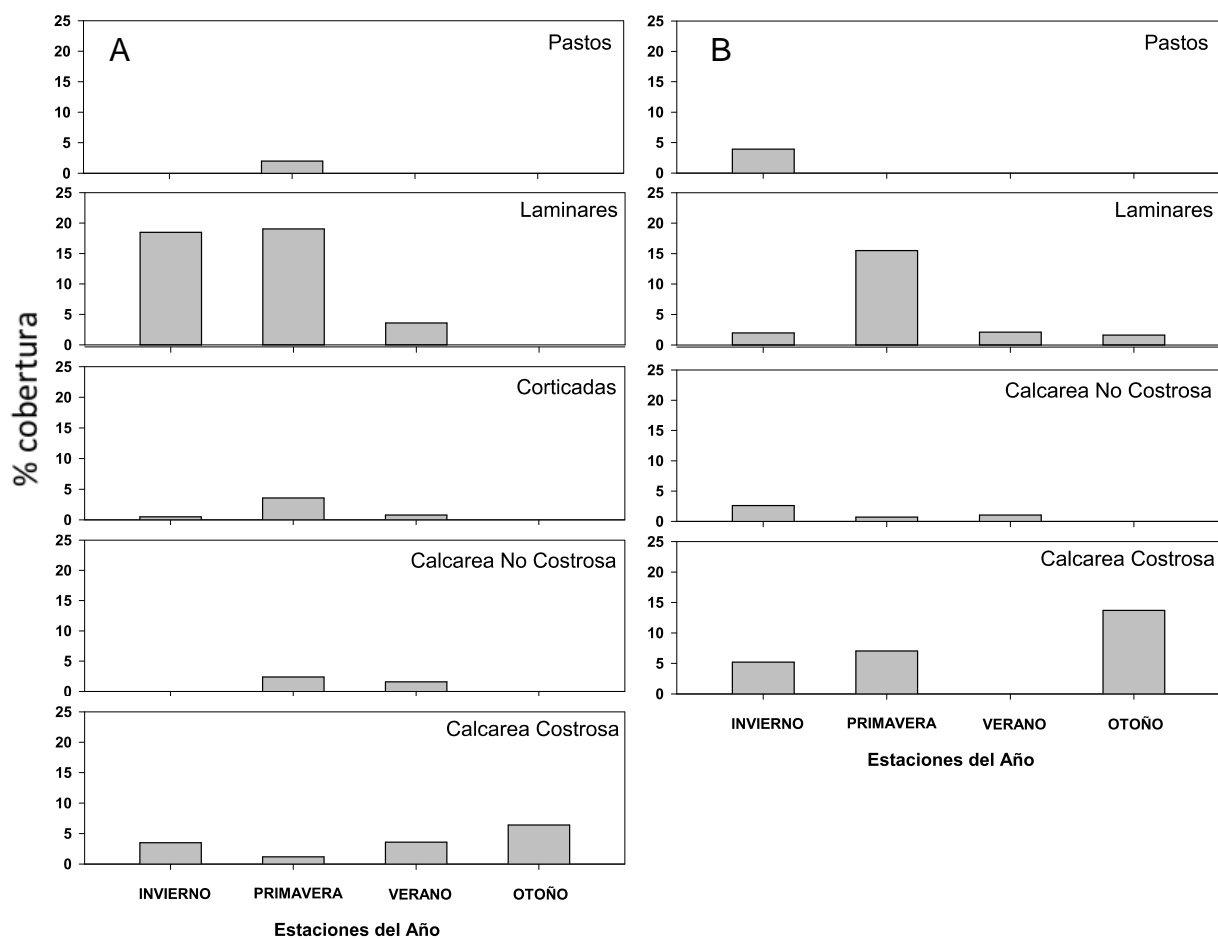


Figura 3.13. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Ojitos

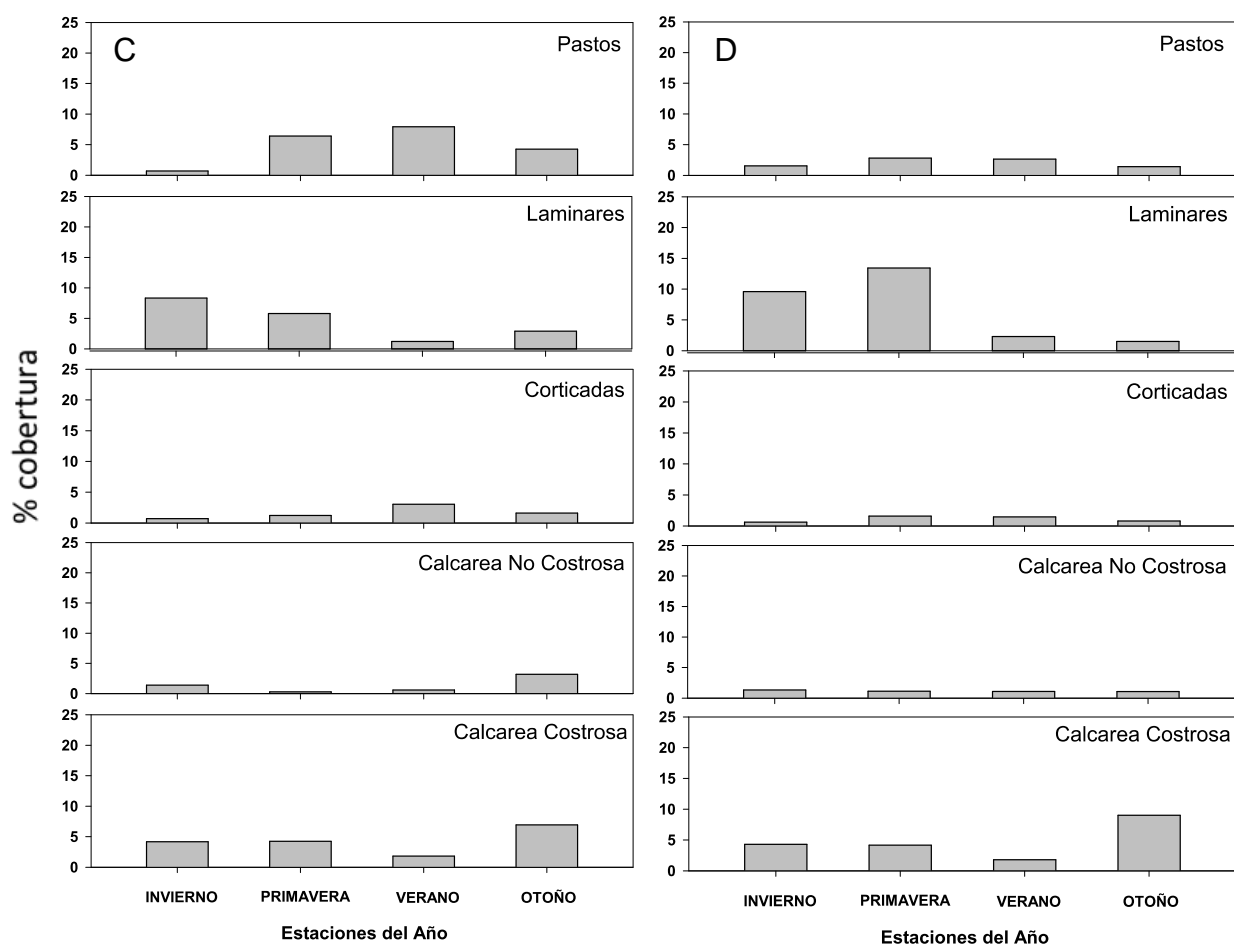


Figura 3.14. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Esmeralda

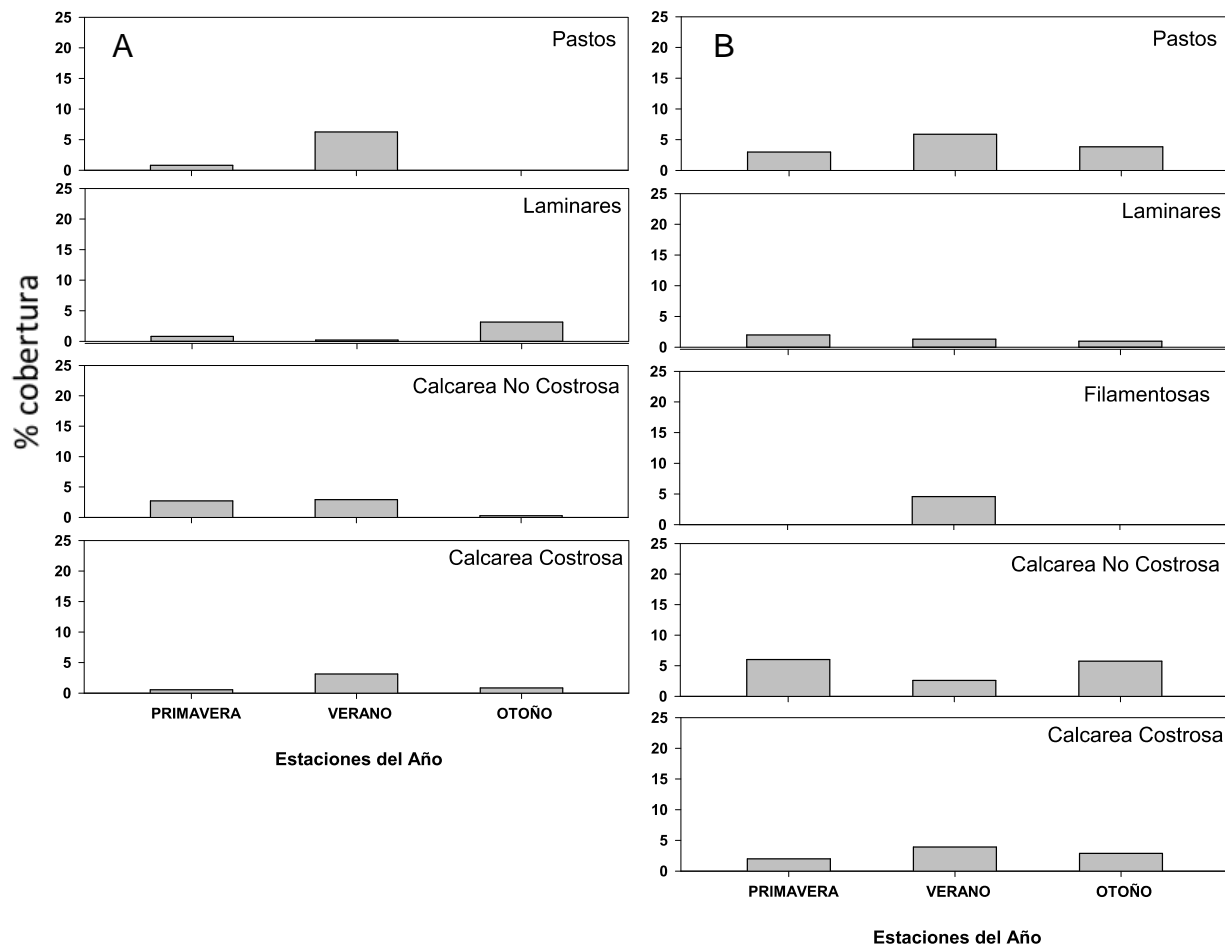


Figura 3.15. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante 2006. A) zona superior y B) zona medio.

Localidad de Esmeralda

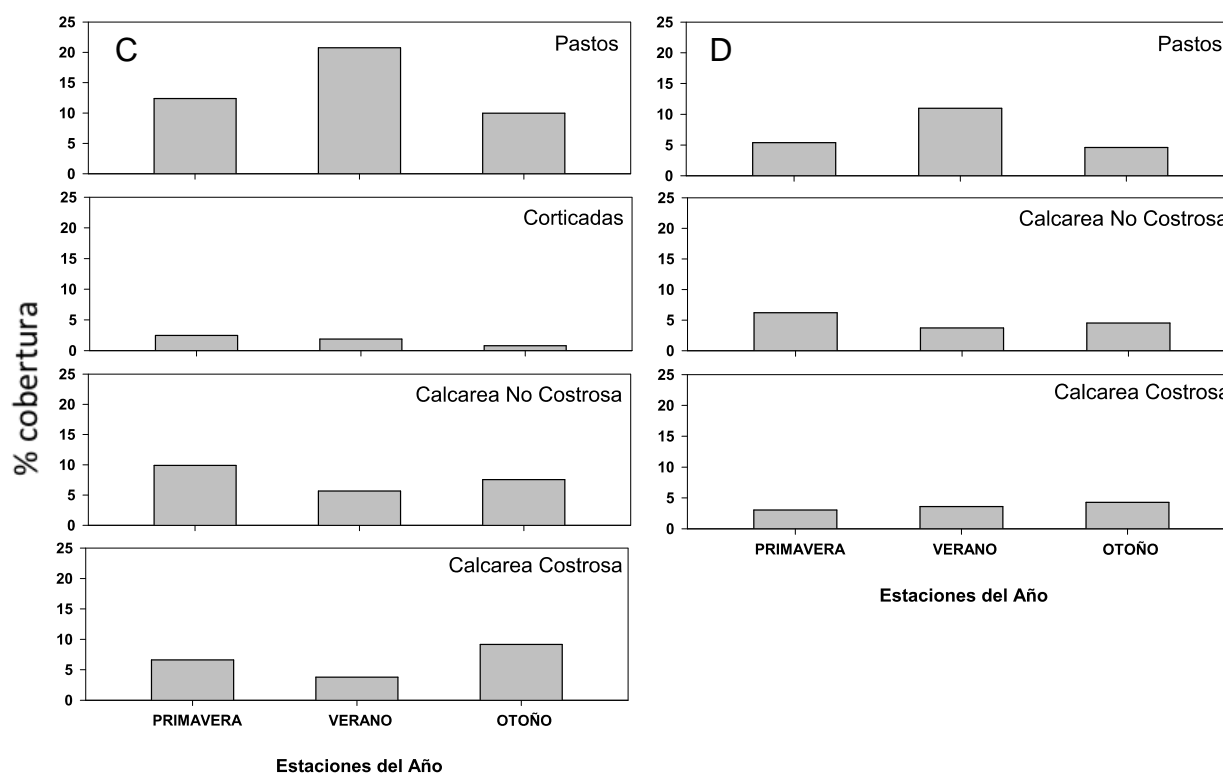


Figura 3.16. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de macroalgas en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

3.4.7. Composición de las comunidades de invertebrados sésiles y ocupación del sustrato primario en B.C.

Se identificaron 14 especies dentro de las cuales el mayor grupo perteneció al Phylum Mollusca con 5 especies, seguido del Phylum Arthropoda con 5 especies, el Phylum Cnidaria con 3 especies y por último Phylum Annelida con una especie . Las especies identificadas se describen en la tabla V. Para la descripción y análisis gráfico, los invertebrados sésiles identificados fueron agrupados en grupos funcionales. Estos grupos corresponden a mejillones, balánidos, percebes, anémonas y gusanos tubícolas. Los gusanos tubícolas, esponjas e hidrozorios no se graficaron ya que estos no fueron grupos representativos del intermareal llegando a representar en ocasiones un porcentaje menor de 1% o en ocasiones con nula presencia en el muestreo. Para cada una de las localidades del área de estudio durante el muestreo de marzo de 2007 se describen a continuación los porcentajes de cobertura para cada uno de los grupos funcionales de invertebrados sésiles, en relación al uso de sustrato primario en cada una de las zonas del intermareal (superior, media e inferior) (Figs. 3.17 y 3.18).

Tabla V . Lista sistemática de especies representativas e identificadas de invertebrados marinos sésiles en la costa oeste de B.C. entre marzo de 2006 a marzo de 2007.

PHYLLUM MOLLUSCA

CLASE BIVALVIA

Orden Mytiloida

Familia Mytilidae

Mytilus californianus (Conrad, 1837)

Septifer bifurcatus (Conrad, 1837)

Modiolus capax (Conrad, 1837)

Choromytilus sp.

Brachidontes sp.

PHYLLUM ARTHROPODA

CLASE MAXILLOPODA

Orden Sessilia

Familia Balanidae

Balanus glandula (Darwin, 1854)

Megabalanus californicus (Pilsbry, 1916)

Familia Chthamalidae

Chthamalus fissus (Darwin, 1854)

Familia Tetracitidae

Tetracita rubescens (Darwin, 1854)

Orden Pedunculata

Familia Pollicipedidae

Pollicipes polymerus (Sowerby, 1833)

PHYLLUM CNIDARIA

CLASE ANTHOZOA

Orden Actiniaria

Familia Actiniidae

Anthopleura xantogrammica (Brandt, 1835)***Anthopleura sola*** (Pearse y Francis, 2000)***Anthopleura elegantissima*** (Brandt, 1835)**PHYLLUM ANNELIDA**

CLASE POLYCHAETA

Orden Canalipalata

Familia Sabellariidae

Phragmatopoma californica (Kinberg, 1867)

Zona Intermareal Superior:

En general el grupo funcional de los balánidos fue dominante en los nueve sitios de estudio para esta zona (Fig. 3.17). En particular para MC, PM, OJ, KR y ESM la cobertura varió entre el 25 y 30%. Para las demás localidades (BM, ST, ER, y PB) los otros grupos funcionales (mejillones y anémonas) no ocuparon más del 5% de cobertura. Sin embargo al observar el porcentaje de sustrato rocoso disponible este fue en general el estrato con los valores más altos para la zona intermareal, donde BM fue el mayor con 64.3%, seguido de ER con 63.5%, ESM con 55.2% y el menor de las nueve localidades fue PB con 37.1% de cobertura de sustrato rocoso disponible. El balánido *Chathamalus fissus* en esta franja formó una banda de algunos metros de ancho característico en la gran mayoría de las localidades.

Zona Intermareal Medio:

Para esta zona (Fig. 3.18a) la cobertura del grupo de mejillones en BM, ST y KR estuvo por encima del 40% mientras que los demás sitios fue menor al 20%. Los balánidos presentaron en BM una cobertura de 34.5%, seguido de KR con 21.2% y en las demás localidades la cobertura de este grupo no superó el 15%. En cuanto al sustrato rocoso disponible la cobertura fue de 61.8% para ESM, en las localidades de MC, BM y PM aproximadamente el 40% y en ST, ER y KR fue menor del 20%. En la mayoría de las localidades se observó al cirripedio *Pollicipes polymerus* asociado frecuentemente a *Mytilus californianus* como sustrato para formar bancos de varios individuos.

Zona Intermareal Inferior:

En esta zona (Fig 3.18b) se observó que los mejillones representaron el grupo dominante en todas las localidades. Este tal vez es uno de los rasgos más característicos de la comunidad. En KR y BM se registró la mayor cobertura de mejillones con 68 y 70%, respectivamente, mientras que las menores se presentaron en MC (20.3%), PM (18.7%) y ESM (21.1%). El grupo de los balánidos en todos los sitios se mantuvo por debajo del 5% de cobertura y en cuanto al grupo de las anémonas, la mayor cobertura se registró en MC con 14.7%, seguido de BJ con 8.1%, PM con 6.5% y en los demás sitios se observó por debajo del 5%. El sustrato rocoso disponible en ESM y MC fue de 42.5 y 34.3%, respectivamente. En las demás localidades la cobertura de sustrato rocoso disponible fue menor de 20%.

Adicionalmente se pudo observar en general que el porcentaje de sustrato disponible y el ocupado por los mejillones presentan una relación inversa en su distribución. Este representó un rasgo característico a lo largo del gradiente vertical del intermareal en las localidades.

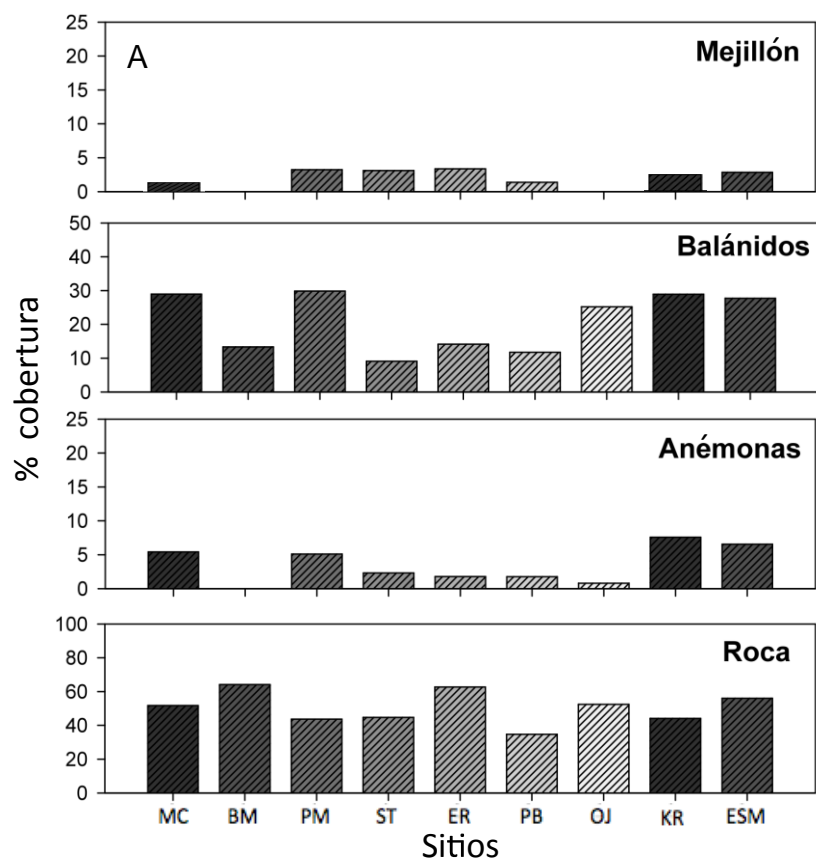


Figura 3.17. Porcentaje de cobertura de los principales grupos funcionales de invertebrados marinos sésiles presentes en la zona superior del intermareal para las localidades de estudio en marzo de 2007, A) zona superior. (ver texto para clave de los sitios)

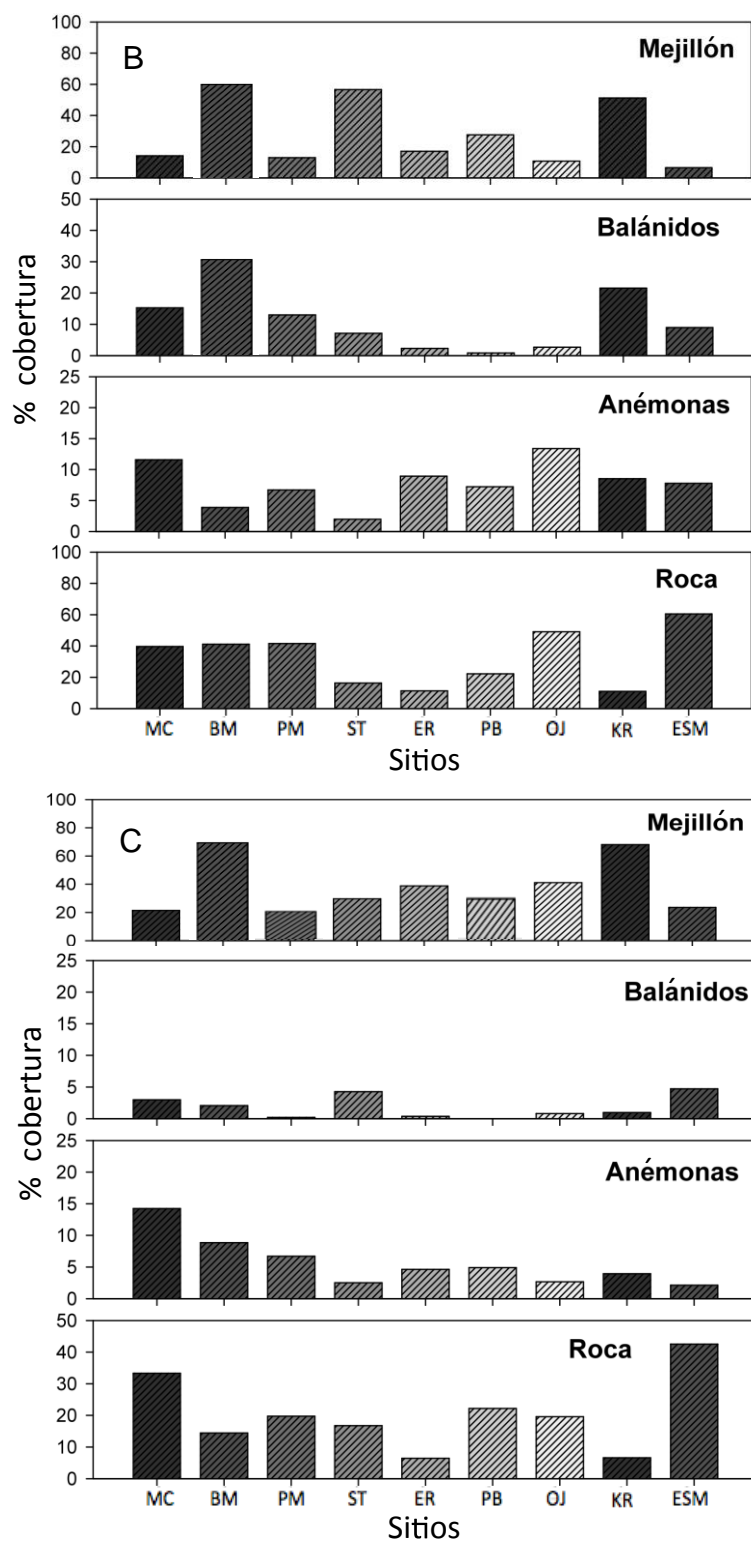


Figura 3.18. Porcentaje de cobertura de los principales grupos funcionales de invertebrados marinos sésiles presentes en las diferentes zonas del intermareal para las localidades de estudio en marzo de 2007, B) zona media y C) zona inferior. (ver texto para clave de los sitios)

3.4.8. Índices ecológicos de la comunidad de invertebrados sésiles.

3.4.8.1. Riqueza de especies de invertebrados sésiles

Para los índices ecológicos que describen las características y atributos ecológicos de la comunidad se utilizó el criterio de zonación descrito anteriormente para todos los sitios (superior, medio e inferior). La riqueza específica, descrita como el número total de especies presente en los sitios fue variable entre las localidades. En la figura 3.19 se puede observar que en general hay un patrón en la riqueza de especies presentes en el intermareal medio y bajo, en donde las localidades de MC, BM, PM, ST y ER presentaron el mayor número de especies. Estas localidades están ubicadas al norte de la Península. La riqueza disminuye a la mitad en PB y vuelve a aumentar paulatinamente en las localidades del Sur (OJ, KR y ESM). En la zona intermareal superior el patrón no fue tan claro y la mayoría de las localidades tuvieron una riqueza similar, a excepción de BM que presentó la menor cantidad de especies de invertebrados sésiles.

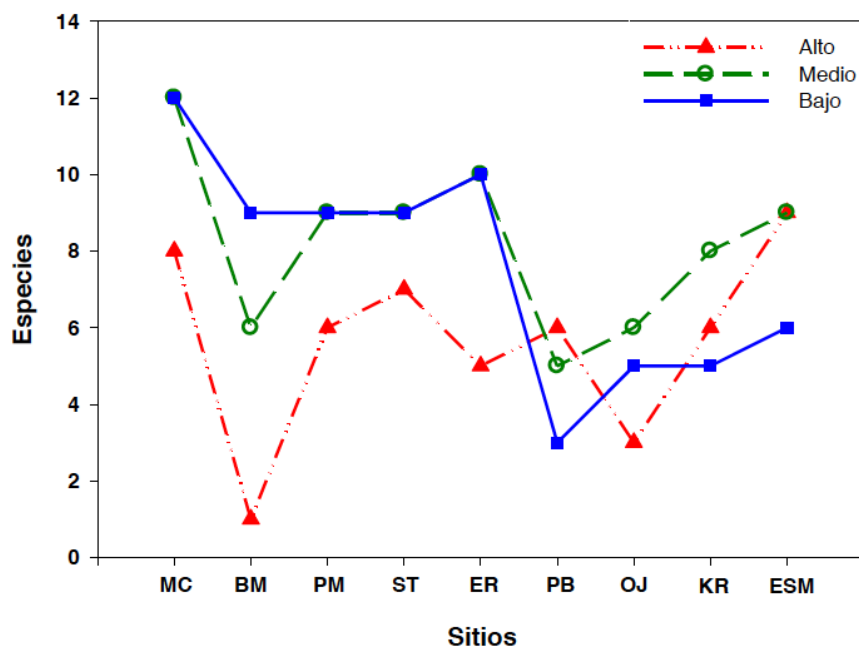


Figura 3.19. Número de especies de invertebrados marinos sésiles que ocuparon el sustrato primario y fueron registrados en las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (ver texto para abreviaciones de los sitios)

3.4.8.2. Índices de Equidad (J') y Diversidad (H') para la comunidad de invertebrados sésiles.

De acuerdo a los patrones observados, no existió una clara uniformidad en cuanto a la diversidad de invertebrados sésiles presentes entre las zonas del intermareal (Fig. 3.20). De manera particular se observó que para el caso de BM y OJ en la zona intermareal superior existió una clara dominancia del balánido *Chthamalus fissus* sobre los demás grupos taxonómicos presentes en el sitio.

La diversidad (H') de especies de invertebrados para las nueve localidades en B.C. resulta ser mayor en general para la zona intermareal inferior (con excepción de PB y ESM). Sin embargo se observó un patrón definido para la mayoría de las localidades donde la diversidad del grupo de invertebrados sésiles resultó ser

inversamente proporcional al nivel de altura de los estratos de zonación, es decir las zonas inferiores presentaron en general la mayor diversidad en tanto que para la zona superior se registraron las menores diversidades (Fig. 3.21).

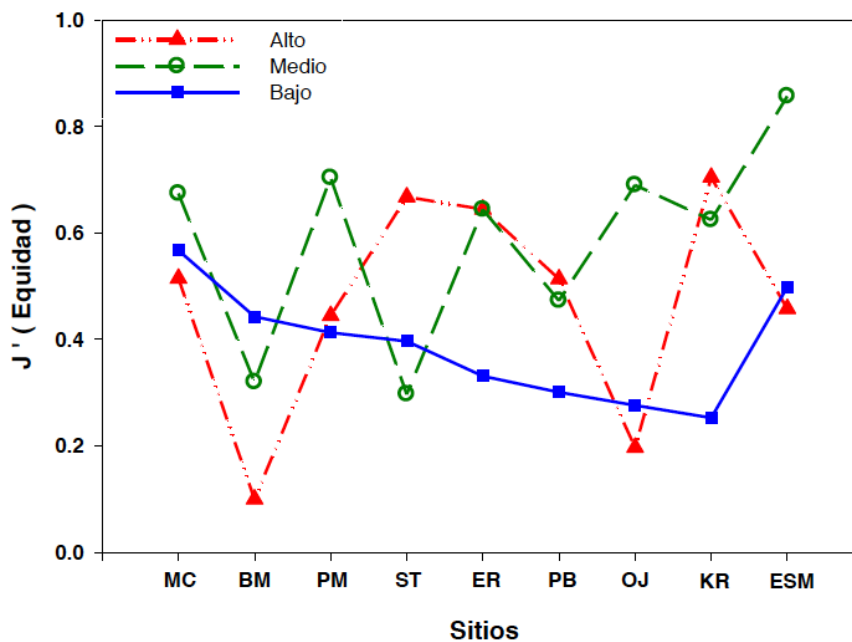


Figura 3.20. Índice de equidad (J') para los grupos de invertebrados marinos sésiles que ocuparon el sustrato primario y fueron registrados en las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (ver texto para abreviaciones de los sitios)

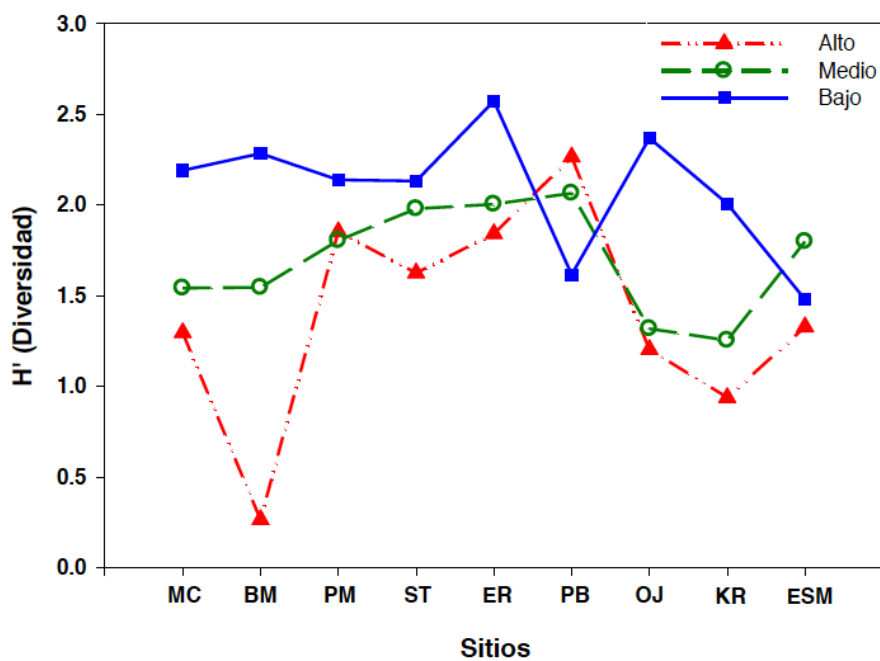


Figura 3.21. Índice de equidad (J') para los grupos de invertebrados marinos sésiles que ocuparon el sustrato primario y fueron registrados en las localidades durante marzo de 2007 para el intermareal alto, medio y bajo. (ver texto para abreviaciones de los sitios)

3.4.9. Análisis de agrupamiento de los sitios según el elenco de invertebrados sésiles.

El análisis de similitud de especies mediante el método de Bray-Curtis para la cobertura del grupo de invertebrados (Fig. 3.22) mostró la formación de dos grupos a un primer nivel de separación al 60% de similitud. El primero comprende a las localidades de BM y ER, que presentan una similitud de 79.8%. Un segundo grupo comprendió a las localidades restantes, las cuales se agruparon a un 64.4% de similitud. De este segundo grupo, considerando una similitud del 80%, se forman 3 grupos: 1. (MC y PM), 2. (ST y KR) y 3. (PB y OJ), quedando la localidad de ESM aislada del resto.

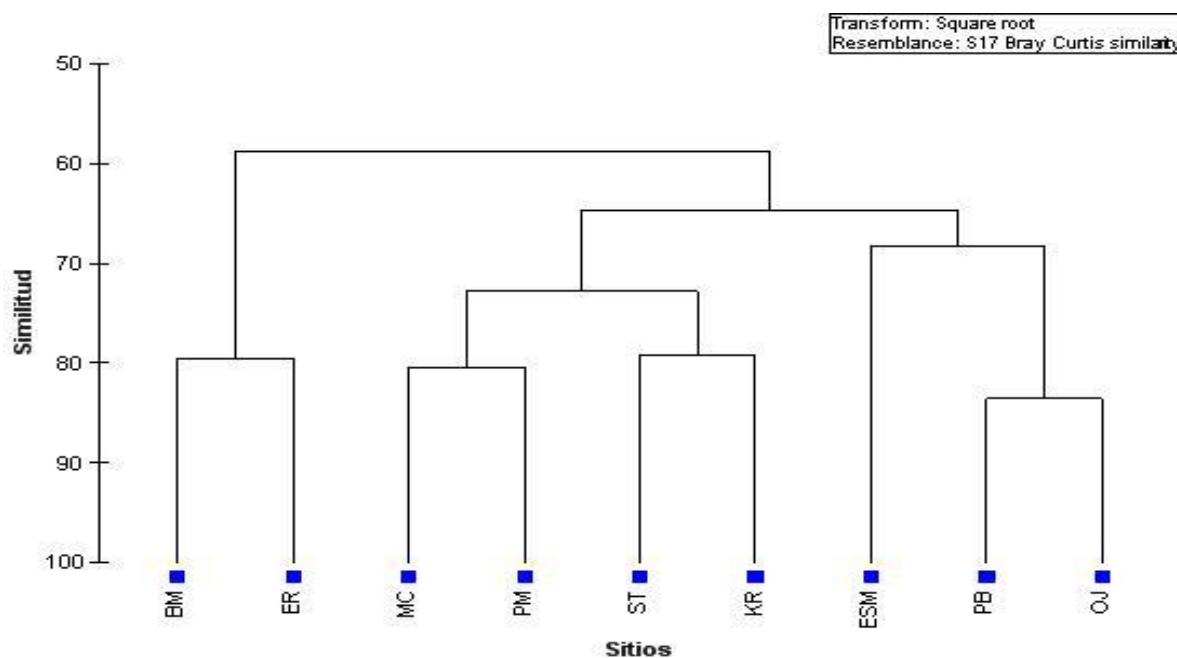


Figura 3.22. Agrupamiento de los sitios según método de similitud de Bray-Curtis del elenco de invertebrados sésiles que ocuparon el sustrato primario durante el mes de marzo de 2007. (referirse al texto para abreviaturas de los sitios)

3.4.9. Análisis estacional del uso de sustrato por invertebrados sésiles

Los porcentajes de cobertura ocupada en relación al uso de sustrato primario en cada una de las zonas del intermareal (superior, medio, inferior y total) para cada uno de los grupos funcionales de invertebrados sésiles se describen en las figuras 3.23 a 3.33. Esta descripción se hace en cada una de las localidades donde se realizaron muestreos estacionales. Bajamar (BM), Eréndira (ER), Punta Baja (PB), Ojitos (OJ) y Esmeralda (ESM). Las fechas de muestreo analizadas fueron invierno (marzo 2006), primavera (junio 2006), verano (septiembre 2006) y otoño (diciembre 2006).

La cobertura de mejillón mostró un patrón estacional de relación inversa con la disponibilidad del sustrato primario (roca). Las coberturas más bajas para el grupo de mejillones a lo largo del año se presentaron en la localidad de ESM, donde se registró estacionalmente en el intermareal inferior una cobertura entre el 20 y 30%, contrario a lo observado en las demás localidades de BM, ER, PB y OJ donde la cobertura de mejillón en la zona intermareal inferior varió estacionalmente entre 40 y 60% (Figs. 3.23 a 3.33).

Para el grupo de balánidos no se observó un patrón estacional a lo largo del intermareal aunque este grupo mantuvo una dominancia en la zona intermareal superior en todas las localidades (Figs. 3.23 a 3.33). El grupo de anémonas presentó su máxima variación de cobertura en la zona intermareal media pero no mostró ninguna tendencia estacional.

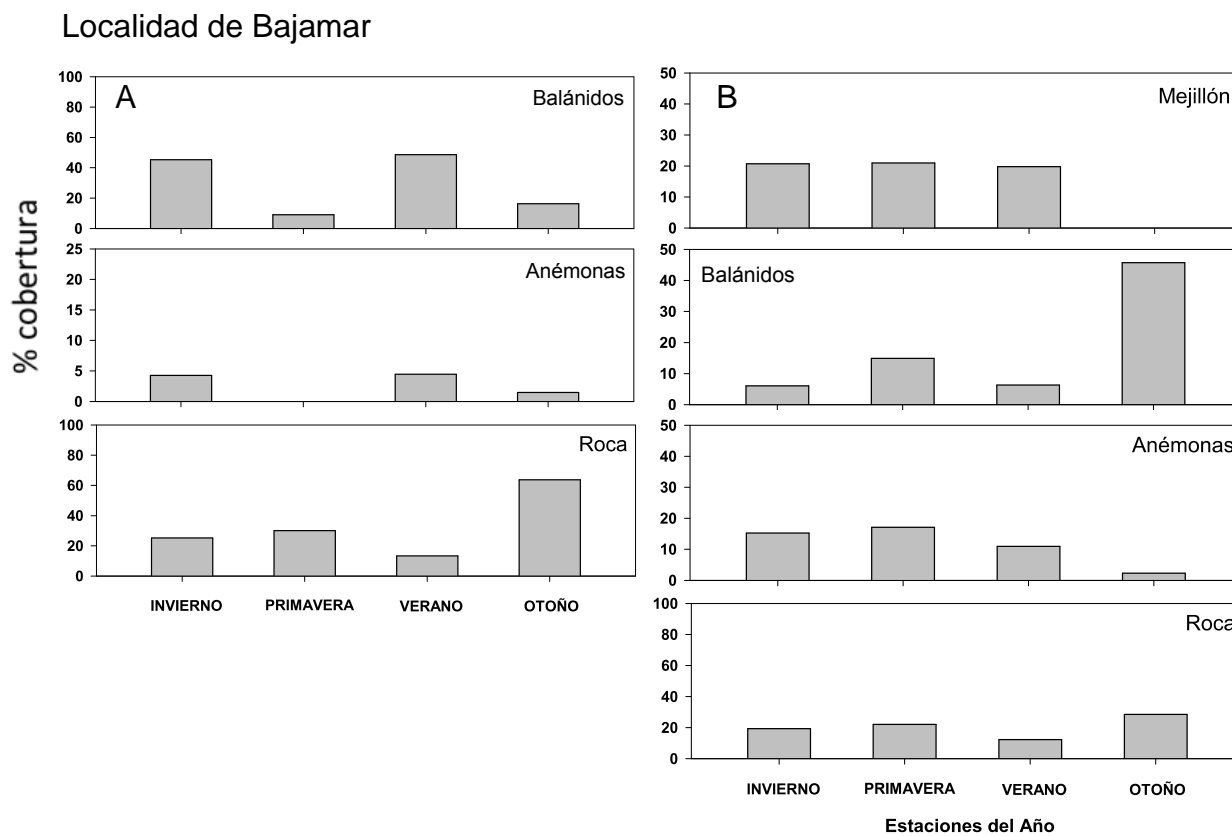


Figura 3.23. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Bajamar

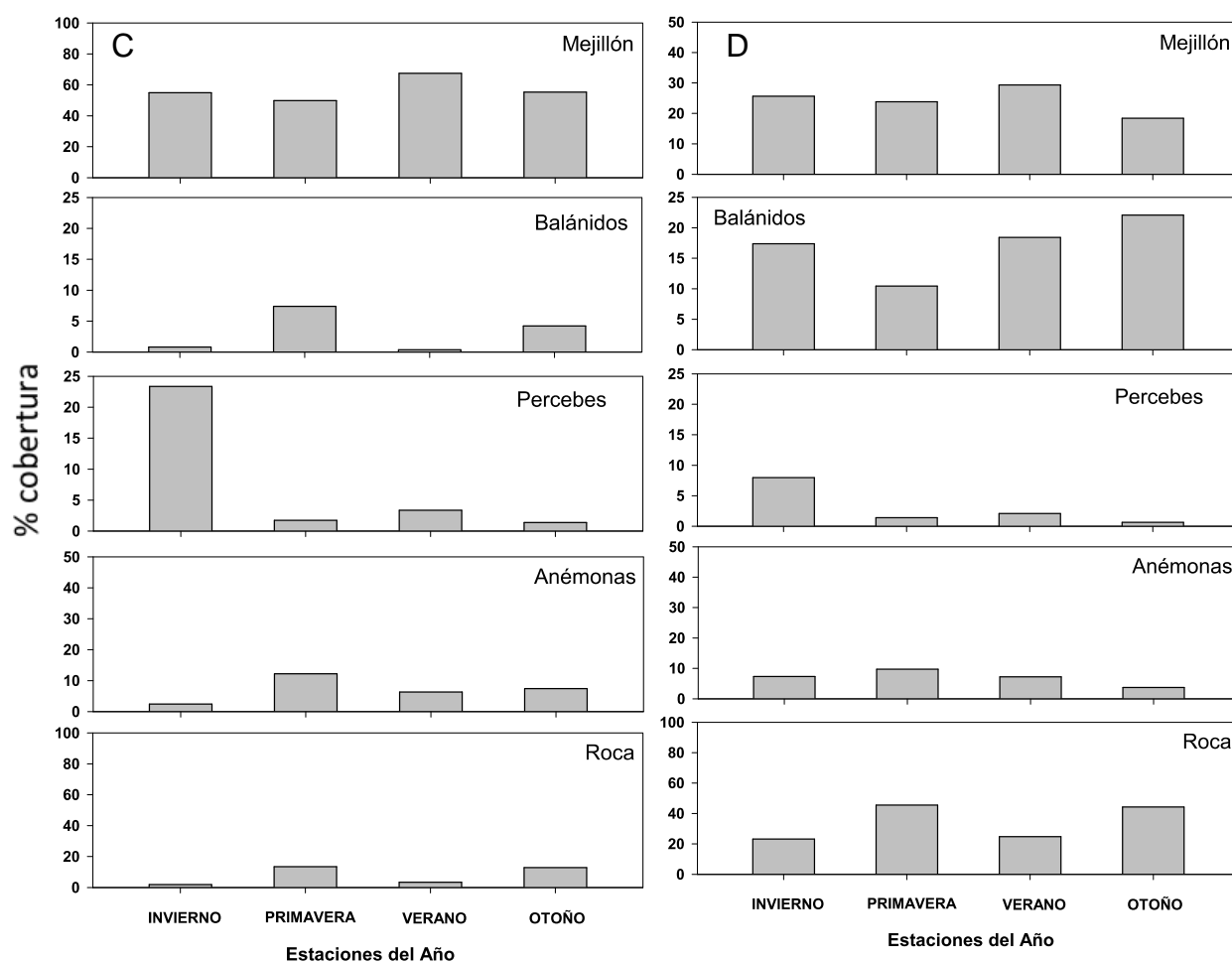


Figura 3.24. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Bajamar durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Eréndira

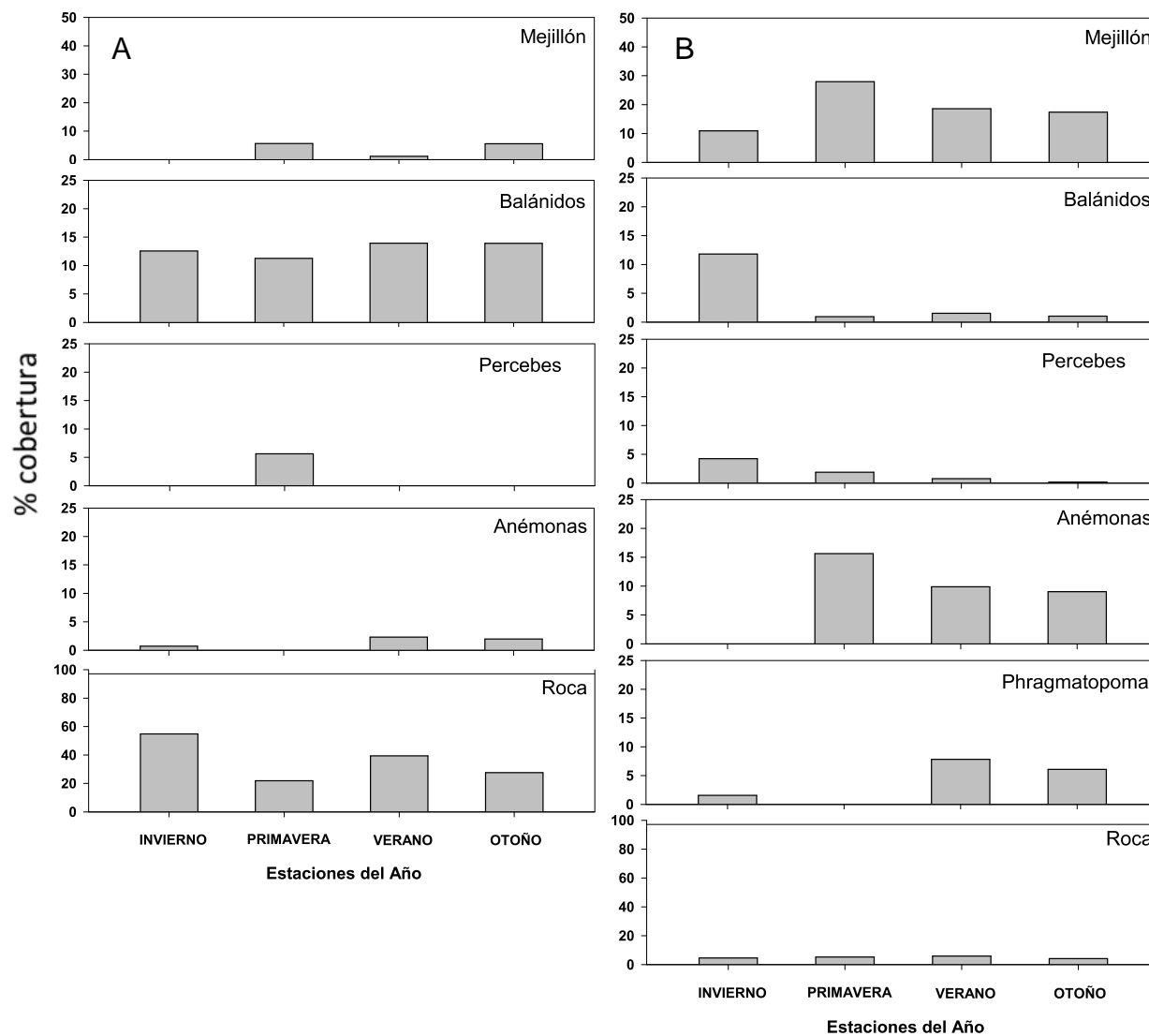


Figura 3.25. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Eréndira

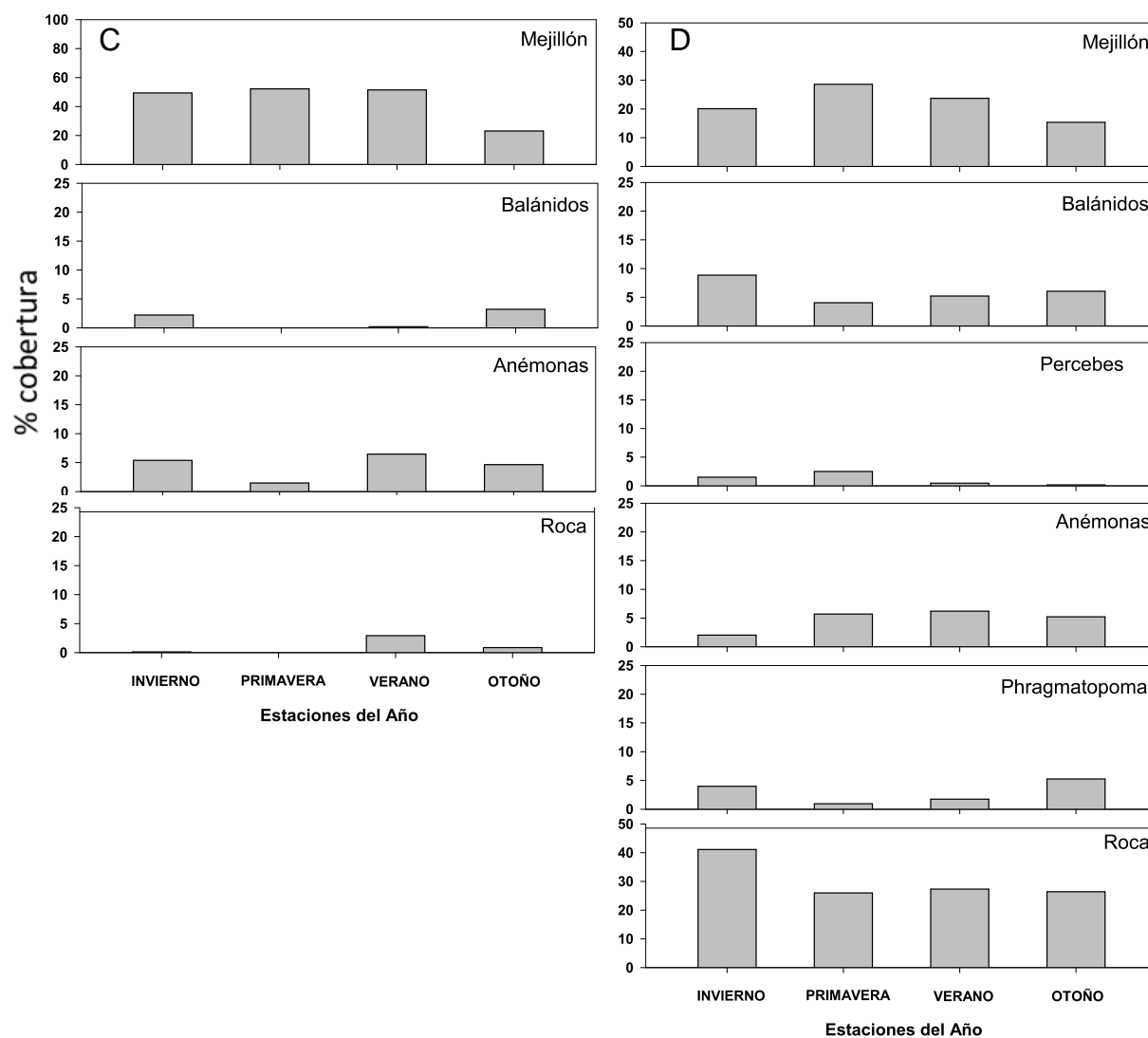


Figura 3.26. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Eréndira durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Punta Baja

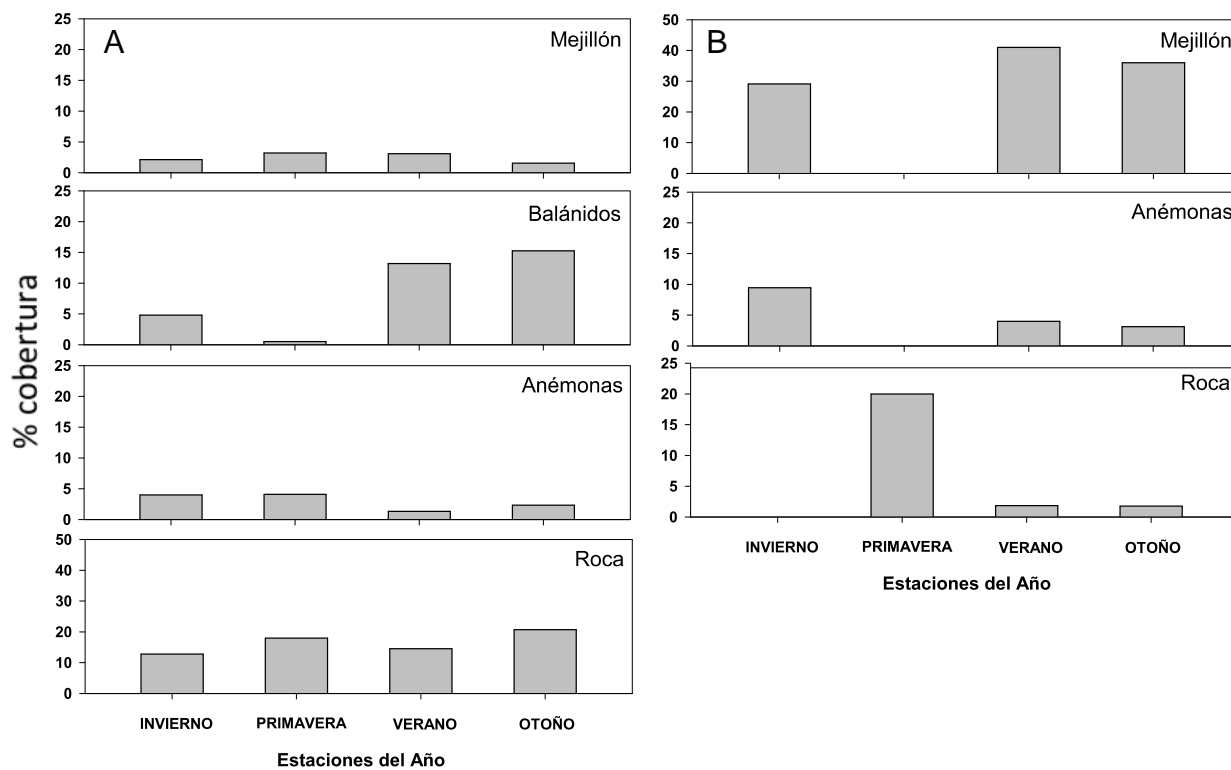


Figura 3.27. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Punta Baja

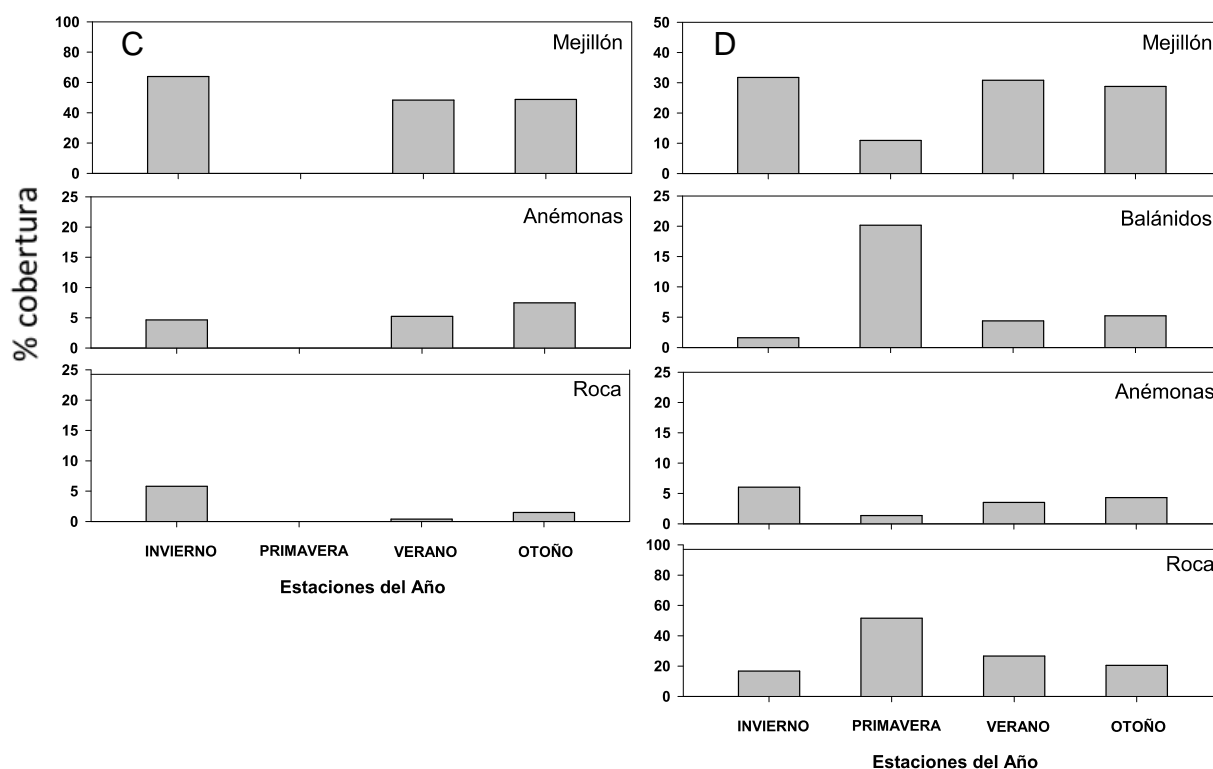


Figura 3.28. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Punta Baja durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Es importante mencionar que en visitas posteriores al periodo de estudio se observaron eventos de alta mortalidad y/o desprendimiento masivo de las poblaciones de mejillón, ya que se encontraron conchas de estos organismos vacías y transportadas hacia la zona supra litoral de la costa. Uno de estos casos ocurrió particularmente en Punta Baja durante diciembre del 2009 (Fig. 3.29), donde se observaron conchas de choro desprendidas y transportadas (en trozos) por el oleaje y finalmente acumuladas en la zona intermareal superior.



Figura 3.29. Mortalidad masiva de choro registrada en Punta Baja durante Diciembre 2009.

Localidad de Ojitos

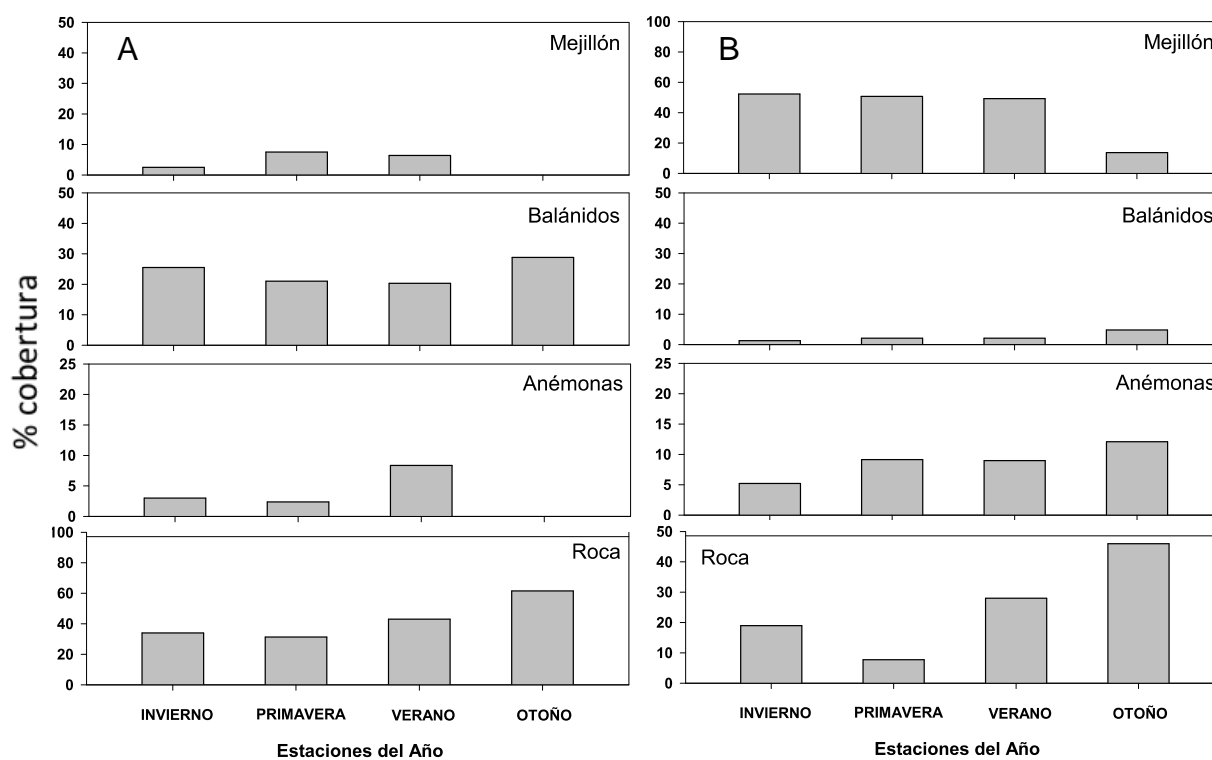


Figura 3.30. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Ojitos

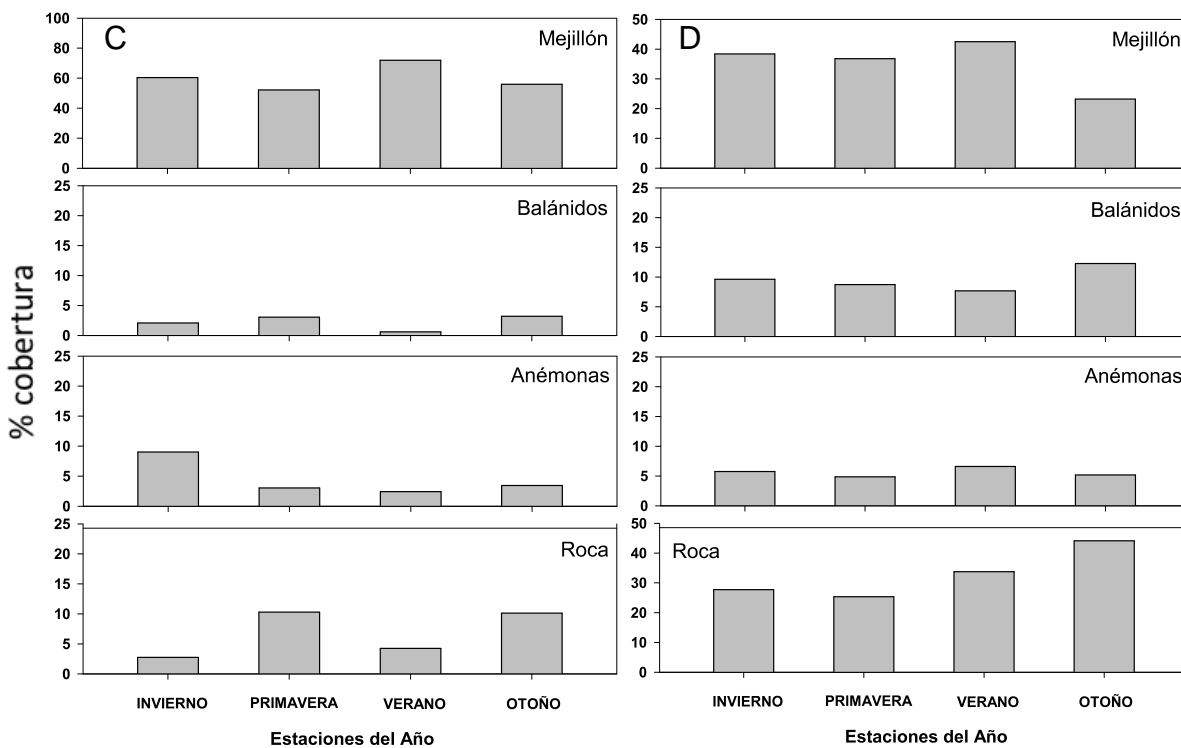


Figura 3.31. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Ojitos durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

Localidad de Esmeralda

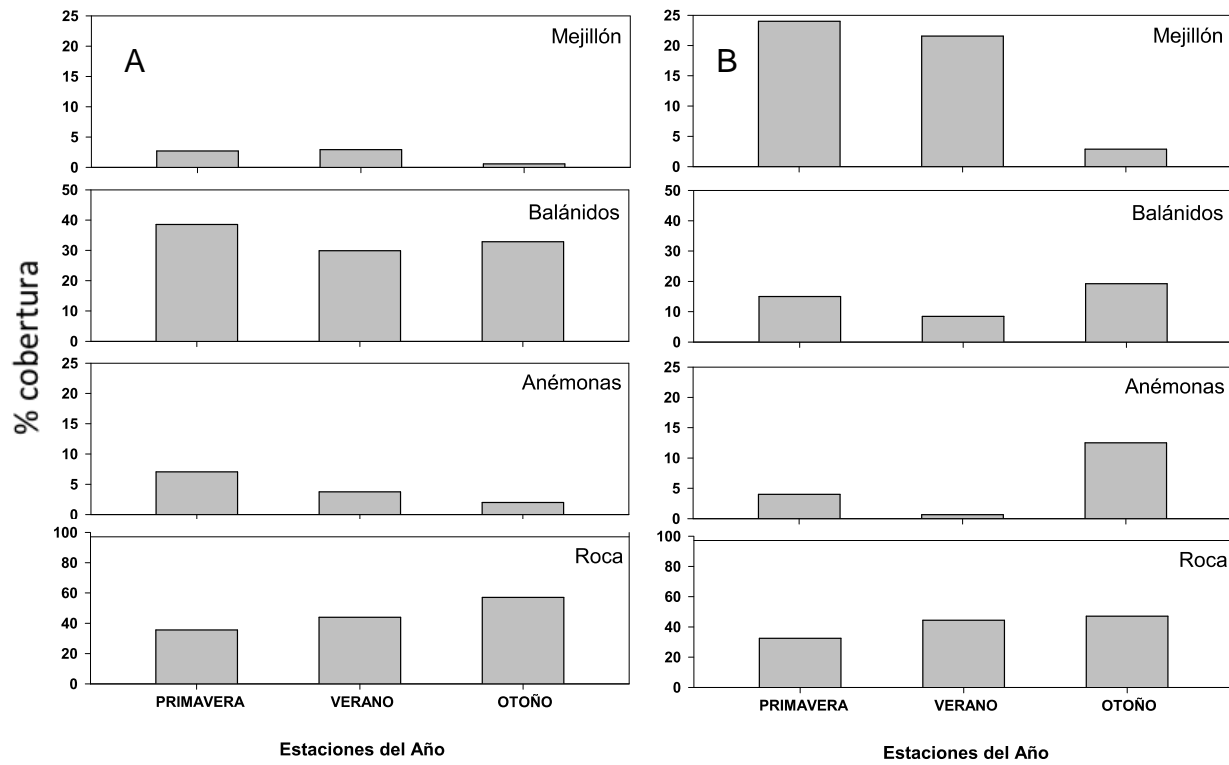


Figura 3.32. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante el 2006. A) zona superior y B) zona media.

Localidad de Esmeralda

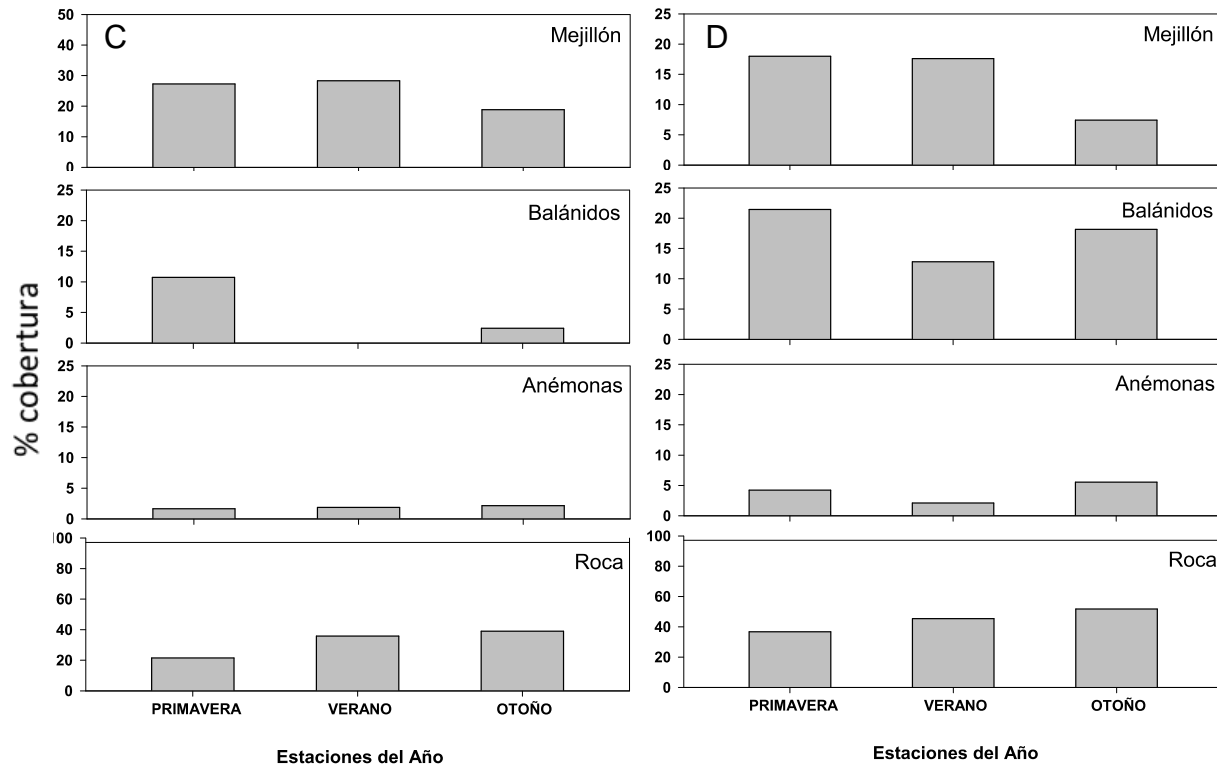


Figura 3.33. Porcentaje de cobertura de los principales grupos de invertebrados sésiles en las diferentes zonas del intermareal para la localidad de Esmeralda durante el 2006. C) zona inferior y D) zona intermareal total.

3.4.10. Cobertura y correlaciones entre grupos funcionales de macroalgas e invertebrados sésiles.

En general se observó que la distribución entre los diferentes grupos funcionales a lo largo del intermareal rocoso fue homogénea en cuanto al uso del sustrato primario. Sin embargo de manera particular destacan la predominancia del grupo de mejillones en KR, la ausencia de algas calcáreas costrosas en MC y de algas no costrosas en OJ, la presencia de pastos marinos en PB y las localidades del sur así como la ausencia de este grupo funcional de pastos en las localidades del norte (Fig. 3.34).

Asimismo, los datos sugieren que dentro de las asociaciones presentes se observó una relación directamente proporcional entre las algas corticadas y las algas calcáreas no costrosas en la zona del intermareal superior, así como también entre los mejillones y las anémonas, y este último grupo con los balánidos (Tabla VI). Para la zona intermareal media la mayoría de las asociaciones entre grupos fueron negativas. Las algas corticadas y los balánidos presentaron una relación negativa, al igual que las algas laminares con los mejillones y percebes. Los balánidos y percebes mostraron una relación positiva, al igual que las algas filamentosas y los pastos marinos. En la zona intermareal inferior existió una relación proporcional entre los percebes y las anémonas, así como entre las algas costrosas y las corticadas. Otros grupos que presentaron relaciones significativamente negativas ($p < 0.05$) fueron las algas corticadas y los pastos, así como los balánidos y los mejillones. Además de estas se presentaron otras relaciones entre grupos funcionales en las diferentes zonas del intermareal descritas en la tabla VI.

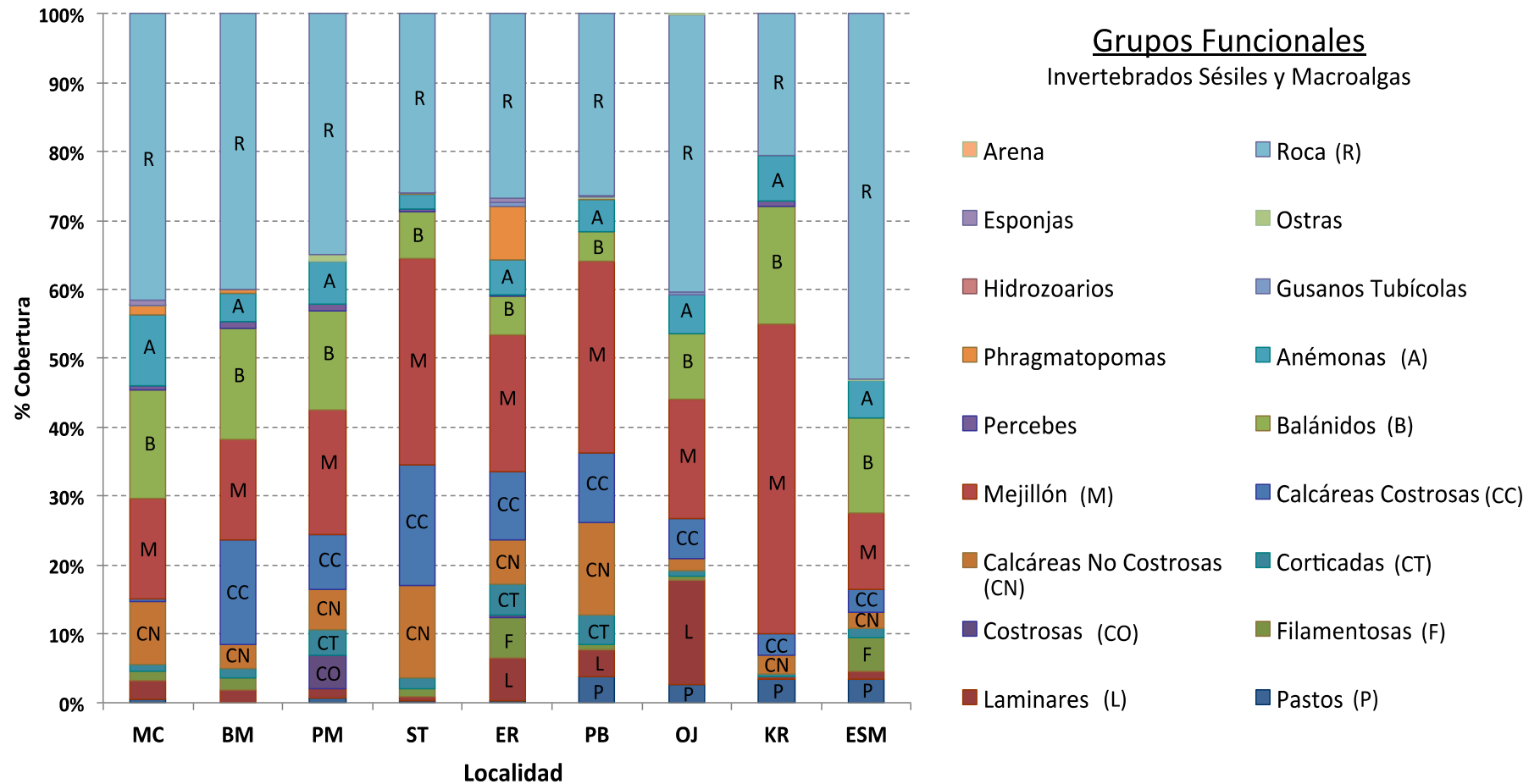


Figura 3.34. Distribución espacial de la cobertura de los grupos funcionales de macroalgas e invertebrados sésiles, presentes en la zona del intermareal rocoso de B.C. en nueve localidades durante marzo de 2007. (referirse al texto para la abreviatura de los sitios)

3.4.11. Temperatura superficial del mar y su relación con grupos funcionales de macroalgas e invertebrados sésiles.

La asociación entre los datos de temperatura superficial del mar (TSM) obtenidos a partir de base de datos del sensor AVHRR y la cobertura promedio total de los grupos funcionales presentes en el intermareal rocoso de B.C. (Tabla VII), mostró una relación positiva y significativa entre el grupo de los pastos marinos y negativa entre las macroalgas corticadas, calcáreas costrosas y no costrosas, con la TSM durante invierno de 2007.

Así mismo entre los grupos de invertebrados, los balánidos mostraron una relación positiva con la TSM, mientras que los gusanos tubícolas tuvieron una relación negativa para invierno 2007. Los demás grupos funcionales no presentaron relaciones estadísticamente significativas con la TSM.

Tabla VII. Correlación de Spearman (r_s) entre el promedio de TSM y el porcentaje de cobertura de lo diferentes grupos funcionales para invierno de 2007 a lo largo de nueve localidades en las costas de Baja California.

Grupo	r_s	<i>P</i>
<u>Macrofitas</u>		
Corticadas	-0.45	0.15
Calcáreas No Costrosas	-0.71	0.02
Calcáreas Costrosas	-0.55	0.09
Laminares	0.35	0.37
Pastos	0.75	0.04
<u>Filtro alimentadores</u>		
Mejillones	0.34	0.71
Balánidos	0.23	0.03
Percebes	-0.42	0.24
<u>Otros Invertebrados</u>		
Anémonas	0.48	0.16
Gusanos tubícolas	-0.71	0.02

3.5. DISCUSIÓN

3.5.1. Composición de la comunidad y ocupación del sustrato primario.

Dentro de los rasgos más sobresalientes en la utilización del sustrato primario en la región destaca la clara dominancia del mejillón *Mytilus californianus* y de las algas calcáreas costrosas y no costrosas (*Corallina vancouveriensis*, *Ralsfia pacifica* y *Lithophylum proboscideum*) en la zona intermareal media e inferior. Otro rasgo característico del intermareal fue la dominancia de los balánidos *Chthamalus fissus* con alta presencia en la zona superior y *Balanus glandula* con una distribución escasa en la zona superior-media en la mayoría de las localidades.

La distribución dominante que se observó de *M. californianus* es ampliamente reconocida en la literatura en zonas costeras rocosas de oleaje intenso. Existen estudios para la región acerca de su distribución a lo largo del intermareal y de la ecología de sus poblaciones naturales. Sin embargo en las últimas dos décadas han sido pocos los trabajos ecológicos relacionados con esta especie y la comunidad intermareal en la región de B.C. (Chi-Barragán y García-Pamanés, 1983; Salas y Oliva, 1983).

Para las costas rocosas de Baja California fue posible distinguir visualmente un patrón irregular de distribución en el que alternan grupos relativamente extensos de mejillones con otras especies de invertebrados y/o algas que compiten por espacio o bien por áreas de sustrato primario no ocupado. Este patrón ha sido atribuido a diversas causas, entre ellas la depredación (Paine, 1974), la competencia (Caplan y Boolootian, 1967), perturbaciones físicas del banco de mejillones (Dayton, 1971; Harger, 1972), la aparente selección del sustrato en conjunto con el hábito gregario de la especie (Paine, 1974; Suchanek, 1978) y la

explotación del mejillón en algunas localidades y a eventos de anomalías térmicas asociadas con El Niño, que como se mencionó anteriormente, tienen un efecto en el desprendimiento de los organismos.

Paine (1974) demostró en sus trabajos que *M. californianus* es un dominante competitivo y en ausencia de predadores u otro tipo de perturbaciones (impacto debido al oleaje de tormenta, mareas rojas, etc), es capaz de excluir a otras especies del sustrato primario. Sus resultados mostraron que el porcentaje de cobertura de los mejillones cambió de 1 a 95% en ausencia de uno de sus principales depredadores, la estrella de mar *Pisaster ochraceus*. Los resultados obtenidos en el presente estudio registraron una cobertura de *M. californianus* a lo largo del intermareal rocoso de B.C. que varió entre 20 y 40% en la zona media y entre el 40 y 60% en el intermareal inferior, lo que indica su dominancia a lo largo de las poblaciones del intermareal de Baja California. Sin embargo en varias de las localidades visitadas se observó que la estrella de mar *P. ochraceus* tiene una alta abundancia en las zonas intermareales media y baja, y probablemente evita que los porcentajes de mejillón lleguen a ser altos en comparación con lo reportado por Paine (1974) en ausencia de estrellas de mar.

En varias ocasiones se observó la distribución de esta especie de mejillón asociado con el cirripedio *Pollicipes polymerus*, con quien comparte hábitos de distribución similares, ya que en los bancos de mejillón se observaron en varias localidades agregaciones significativas de *P. polymerus* coexistiendo y compartiendo el sustrato con el mejillón, pero sin alcanzar nunca las densidades del bivalvo.

Otro rasgo característico está dado por la alta abundancia registrada de las algas calcáreas costrosas y no costrosas en general de las especies *R. pacifica*, *L. Proboscideum* y *C. vancouveriensis* las cuales se distribuyeron de manera extensa a lo largo del gradiente vertical de la zona intermareal de las localidades. Esto posiblemente se debe a que es un grupo de algas dominante con alta calcificación, bajo contenido energético y difícil digestibilidad, lo cual hace que sean consumidos en menor grado por los invertebrados pastoreadores, y como consecuencia existe una reducción en la presión de pastoreo para algas calcáreas (Littler y Murray, 1978). La presencia de este grupo de algas en estos ecosistemas es importante ya que se ha observado que influyen de manera positiva y contribuyen en el asentamiento de algunas especies marinas (Morse y Morse, 1984; Morse, 1992; Daume *et al.*, 1999) a la vez que pueden reducir el asentamiento de algunas especies de balanos (Underwood, 1999). La alta cobertura registrada de *R. pacifica*, *L. Proboscideum* y *C. vancouveriensis* en las localidades del norte donde la presencia de arena en el intermareal es menor y coincide con Littler *et al.* (1983) quienes establecieron la dominancia de algas coralinas en el intermareal medio e inferior en localidades intermareales con escasa influencia de arena.

De los invertebrados sésiles considerados, los menos representativos de la comunidad intermareal lo conformaron los grupos de gusanos tubícolas (*Phragmatopoma californica*), esponjas e hidrozoarios. La baja cobertura registrada de estos grupos puede relacionarse con el hecho de que se encuentran en algunas ocasiones restringidos a micro hábitats específicos donde existe una alta competencia por el sustrato. El grupo de las anémonas (*Anthopleura spp.*) estuvo presente de manera heterogénea pero persistente a lo largo del intermareal y de manera consistente en la zona media.

La distribución conjunta de varios organismos en una misma zona genera que las interacciones entre especies sean más fuertes. Al respecto Paine (1990) menciona que en estos casos puede ser altamente inusual que solo sean dos especies las que compitan por recursos, ya que cabe la posibilidad de que exista competencia indirecta por más especies. En el caso de este estudio, los datos sugieren que las algas y/o invertebrados pueden estar compitiendo por el sustrato primario. En algunas ocasiones puede darse una competencia indirecta entre especies cuando la distribución, abundancia, crecimiento, reproducción o reclutamiento se modifican por las especies que comparten el hábitat pero que no compiten por los recursos (Underwood, 1999).

Al no abordar en el presente trabajo el componente de los invertebrados carnívoros y herbívoros, las conclusiones acerca de la variabilidad en la abundancia estacional que describen las especies de algas e invertebrados sésiles solo se puede contemplar desde un contexto de competencia por recursos y no por depredación ya que este último mecanismo influye drásticamente en la dinámica de las poblaciones. Como un ejemplo de lo anterior puede que la cobertura de las algas sea regulada por organismos herbívoros que habitan estos ecosistemas. Sin embargo en este tipo de ecosistemas los procesos de “bottom up” como la disponibilidad de nutrientes parece tener una mayor influencia en la dinámica de la macroalgas (Menge *et al.*, 1997a).

La alta disponibilidad de sustrato primario o de roca descubierta observada a lo largo de los sitios coincide con lo reportado por Blanchete *et al.* (2008), quienes mostraron que en las localidades costeras que se encuentran al sur de Punta Concepción en el sur de California, se presenta este mismo patrón en la disponibilidad y alta cobertura (entre el 20 y 50%) de sustrato rocoso descubierta.

Dicho estudio reportó una alta abundancia de *Mytilus californianus*, *Chthamalus spp.* y de varias algas costrosas y corticadas como *Corallina vancouveriensis*, *Chondracanthus canaliculatus*, *Mastocarpus papillatus*, *Mazaella spp.* y *Phyllospadix sp.* Paralelamente Connolly y Roughgarden (1998) en un estudio similar, reportaron diferencias de cobertura de roca descubierta entre diferentes localidades de Oregón y California, y mostraron que los porcentajes de cobertura de *M. californianus*, *P. Polymerus* y *B. glandula* fueron mayores en Oregón, así como la cobertura de roca descubierta (sustrato disponible), algas y *Chthmalus sp.* fueron menores en comparación con la región de California. A su vez estos resultados contrastan con lo encontrado en este estudio para la región de Baja California, la cual presenta condiciones estructurales similares a las descritas en las comunidades del sur de California. De cualquier forma, este gradiente de cobertura es consistente con una explicación basada en la oceanografía regional, ya que el porcentaje de mejillones y balánidos es mucho mayor en Oregón, donde la circulación y condiciones oceanográficas promueven un mayor reclutamiento en comparación con comunidades del sur de California y Baja California, ya que en estas dos regiones la intensidad de la circulación oceánica es mayor como consecuencia de las fuertes corrientes hacia fuera de la costa producto de los eventos de surgencias que influyen negativamente en el reclutamiento de varios organismos (Strathmann, 1987), (ver Capítulo 2).

Los efectos antropogénicos pueden también afectar el porcentaje de cobertura. Como es sabido, el choro (*M. californianus*) y la estrella de mar (*P. ochraceus*), son explotados por las comunidades costeras en Baja California por lo que en algunos sitios como Medio Camino (MC), Punta Morro (PM), Santo Tomas (ST), Eréndira (ER) y Punta Baja (PB), el porcentaje de cobertura registrado para

estas especies incluye un impacto humano que no es posible aislar con los datos que se disponen actualmente derivados de este estudio.

En la localidad de Eréndira, Chi y García (1983), reportaron coberturas en los mantos de mejillón para la zona media de 45% y 85% para la zona media e inferior, respectivamente. Además, consideraron ya para la década de los años 80 las poblaciones de mejillón habían disminuido como consecuencia de la extracción comercial. Las variaciones en los últimos 30 años en las coberturas de mejillón tanto para la zona media como para la inferior indican que la abundancia del mejillón en Eréndira ha disminuido considerablemente y que existen mecanismos o procesos que influyen negativamente en su población. Estos pueden ser desde la extracción comercial, el impacto antropogénico o por algún otro factor externo que esté afectado esta localidad. En los resultados obtenidos, Eréndira durante el invierno de 2007 presentó abundancias menores de mejillón en comparación con Bajamar, la cual es de las nueve localidades con mayor cobertura de mejillón (50 - 70% en la zona inferior) y es considerada una localidad "protegida", sin embargo en los resultados estacionales de 2006 y 2007 estas dos localidades presentan coberturas de mejillones similares lo que podría indicar que ambas poblaciones de mejillón están expuestas a disturbios que influyen negativamente su abundancia. El caso de Bajamar es interesante porque a pesar de considerarse una zona protegida de extracción presenta una alta abundancia de estrella de mar *P. ochraceus* y un oleaje intenso. Por el contrario en Eréndira se considera a la extracción comercial como el disturbio principal en la reducción de su abundancia.

Al igual que Eréndira, en otras localidades de estudio donde se realiza la extracción de mejillón se observó un alto grado de impacto antropogénico en las comunidades como es el caso de Medio Camino (MC), Punta Morro (PM) y Punta

Baja (PB), donde la cobertura de mejillón es generalmente menor a lo largo del intermareal en comparación a las localidades donde la intensidad de la extracción es menor o nula como es el caso de Bajamar (BM), Santo Tomas (ST), Ojitos (OJ) y Krutsio (KR). Además se pudo observar que los lugares donde existe una mayor cantidad de sustrato rocoso disponible corresponden a los lugares donde existe extracción o influencia antropogénica. Sin embargo en algunas ocasiones en estas localidades la influencia de factores como lo son el tipo de sustrato, las condiciones oceanográficas y los disturbios naturales pueden ocasionar variaciones negativas en su abundancia como es el caso de OJ y ESM donde en ocasiones la cobertura de mejillones es baja.

El bajo porcentaje de cobertura de mejillón encontrado en Esmeralda (ESM) se mantuvo a lo largo del año en el intermareal bajo y fue al mismo tiempo particularmente la localidad con menor presencia de este grupo. Esto puede estar relacionado a procesos locales o condiciones de hábitat que influyen negativamente en la dinámica de las poblaciones de mejillón en esta localidad. Además ESM se encuentra ubicada en el extremo sur del área de estudio y al interior de la Bahía de Sebastián Vizcaíno, lo que puede contribuir a que las condiciones topográficas y ambientales características de la región sean menos favorables para las poblaciones del mejillón. Entre estas características pueden destacar el incremento en la temperatura media superficial del mar, la reducción en la disponibilidad de sustrato rocoso, el aumento de la presencia de arena y la presencia de fauna tropical que compite por espacio con *M. californianus*.

La alta mortalidad y/o desprendimiento masivo de la población de mejillón observado en Punta Baja durante diciembre del 2009 podría estar relacionado con las condiciones de oleaje intenso combinado con eventos de marea roja y

posiblemente alta temperatura. Esta sucesión de eventos puede ocasionar mortalidades masivas en las poblaciones, ya que al ser organismos filtro alimentadores son afectados directamente por el afloramiento de algas tóxicas en la columna de agua, asociadas en ocasiones con una alta disponibilidad de nutrientes durante las surgencias costeras (Thompson *et al.*, 2002).

Varias de las especies que registraron alta cobertura, describen patrones de presencia y abundancia similares a comunidades intermareales rocosas de las costas de Norte América donde existen algunas excepciones y variaciones en abundancia. Sin embargo la estructura de las comunidades comparte ciertos rasgos característicos de la región Pacífico noreste y en general son consistentes con las regiones biogeográficas descritas anteriormente por Hall (1960, 1964) y Valentine (1966) para los moluscos y por Abbott y Hollenberg (1976) para algas marinas.

3.5.2. Diversidad de especies de macroalgas e invertebrados sésiles.

La riqueza de especies de invertebrados sésiles (14 especies) y macroalgas (73 especies) encontrada en este trabajo corresponde a lo encontrado en trabajos similares realizados en las costas de California y Oregón, así como en zonas aledañas a Bahía Todos Santos y en Eréndira. Los valores reportados de riqueza de especies para Baja California varían de 36 a 174 especies de invertebrados marinos sésiles y móviles (Littler *et al.*, 1980; Chi-Barragán y Garcia-Pámanes, 1983), y para algas bentónicas desde 37 especies en Punta Cabras B.C. (López, 2001) hasta 133 especies en un estudio realizado desde Punta Santo Tomas hasta Punta China B.C. (Bórquez, 1982). Por lo anterior se considera que el número de especies tanto de algas como de invertebrados sésiles presentes en la zona representa un número de

alta diversidad característico de estas zonas intermareales de la costa este del Pacífico Norte.

De las algas identificadas, un 35% de las especies en este estudio fueron reportadas anteriormente por Urbieto (1982) en Eréndira. Este autor menciona una mayor contribución y presencia en la comunidad de las algas rojas, seguidas de las pardas y por último de las verdes, lo que concuerda con lo encontrado en este estudio para el grupo de macroalgas. Resultados similares reporta Aguilar-Rosas, L.E. *et al.* (1982) en un estudio más extenso realizado en las costas de la Península de B.C. el cual coincide en un 78% de las algas identificadas.

En general a lo largo del área de estudio en las nueve localidades se presentó un alto número de especies de algas de importancia económica tales como: *Macrocystis pyrifera*, *Chondracanthus canaliculatus*, *Ulva lactuca*, *Gelidium robustum*, *Laurencia pacifica*, *Pterocladia capillacea* y *Sargassum muticum*, entre otras, las cuales fueron reportadas previamente en los trabajos realizados por diversos autores (Aguilar-Rosas, L.E. *et al.*, 1982; Pacheco-Ruiz y Zertuche-González, 1996).

Por otra parte se observó que la mayor riqueza de especies tanto de macroalgas como de invertebrados sésiles se da en las zonas intermareales media e inferior (con mayor frecuencia en esta última) ya que la naturaleza del sustrato permite acumular cierto grado de humedad, lo que aunado a la presencia de pequeñas pozas contribuye a que disminuya la desecación, la cual es un factor limitante para la distribución de las especies. Lo anterior explica el aumento de especies en la parte inferior de la zona intermareal. Diversos autores (e.g. Chi-Barragán y García-Pámanes, 1983) relacionan la diversidad con la complejidad

estructural del medio. Dicha complejidad representa un atributo importante de las comunidades intermareales, ya que contribuye a la variedad de micro hábitats.

Las comunidades estudiadas presentaron un mayor número de especies de algas en la zona inferior relativo a las observadas en la zona media y superior. Sin embargo, en la localidad de PB este patrón no se observó ya que en la zona intermareal media presenta una alta dominancia y cobertura (~35%) del alga corticada *Silvetia compressa*. Este caso fue el único en las nueve localidades y su posible explicación puede contener un fuerte componente en la oceanografía local así como en la configuración topográfica de la localidad (ver Capítulo 2).

Blanchete *et al.* (2008), en un estudio biogeográfico que abarcó las comunidades intermareales rocosas a lo largo del Pacífico oriental este desde Alaska, (E.U.A) hasta Punta Abreojos (B.C.S, México), identificaron una asociación particular en la estructura de la comunidad de organismos entre la localidad de Punta Baja con localidades de la región biogeográfica de Monterey (E.U.A). Esto sugirió que Punta Baja comparte con dicha región condiciones oceanográficas particulares como las fuertes y continuas surgencias. Aún cuando la región del Pacífico norte de B.C. también presenta estas condiciones, Punta Baja esta localizada en uno de los centros con mayores eventos de surgencias en la costa oeste de la Península de B.C.

La alta abundancia de *S. compressa* posiblemente es el resultado de la combinación de las condiciones oceanográficas de la zona donde la dinámica y energía del oleaje es fuerte e intensa y de las propiedades geomorfológicas de la plataforma, ya que presenta pendiente suave y una longitud mayor de 100 m desde el supra litoral hasta el nivel inferior lo que le da un amplio rango de distribución a lo largo del intermareal donde las condiciones del sustrato no varían

considerablemente. Para establecer cuales son los factores que modulan la distribución y función de esta especie en el intermareal, es necesario realizar estudios *in situ* sobre la relación de esta alga sobre las demás especies de macroalgas así como la influencia que puede tener sobre los invertebrados por su papel dentro de la comunidad y su relación con los procesos oceanográficos locales.

La alta diversidad observada en las comunidades del intermareal rocoso de Baja California para macroalgas e invertebrados en las zona media (1.3 a 2.0) y zona inferior (1.5 a 2.7) fue similar a la reportada por varios autores en localidades similares en costas de B.C y de la costa oeste de Estados Unidos. En Punta Cabras B.C., López (2001) señaló valores de diversidad de 1.6 a 2.4 para macroalgas. En las costas de California y Oregón los valores para macroalgas e invertebrados sésiles varían entre 1.62 y 2.61 a lo largo de varias localidades de esta región de Estados Unidos (Menge y Branch, 2001). La similitud encontrada en la riqueza de especies en diferentes localidades de la región norte de Baja California y la región de California y Oregón indica que al parecer predomina un cambio en la abundancia de especies y no en los ensamblajes ecológicos de las especies entre regiones, manteniéndose así una similitud en la estructura de sus comunidades (Blachette *et al.*, 2008).

3.5.3. Zonación del intermareal rocoso de B.C.

Para el caso de la costa oeste de Baja California los resultados mostraron que existe una zonación vertical característica de los ambientes intermareales rocosos de la región Pacífico noreste. Esta zonación vertical es el resultado de gradientes de exposición al oleaje que proveen un escenario ideal para que la estructura de la comunidad varíe verticalmente en el espacio (Lewis, 1964), así

como de la combinación de factores físicos, tróficos y ambientales, que junto a los diferentes mecanismos fisiológicos de los organismos determinan en gran parte los patrones de zonación en estas comunidades (Benson, 2002).

La zonación vertical en los ecosistemas intermareales es posiblemente el factor hasta ahora mejor reconocido como el de mayor influencia en la composición y abundancia de las comunidades de algas e invertebrados intermareales (Stephenson y Stephenson, 1972; Dayton, 1971; Underwood, 1978; Lubchenco y Mengue, 1978; Grosberg, 1982). La zonación vertical en las localidades estuvo claramente definida por la biota característica de cada estrato de la zona intermareal; superior, intermedia e inferior. En el intermareal rocoso, la banda superior se extiende abarcando la mayor parte del intermareal. Una disminución en la altura de la marea deja expuesta un área considerable de esta zona, lo que favorece a aquellos organismos adaptados a una mayor exposición a la desecación. Las bandas intermedia e inferior albergan la mayor diversidad de organismos que caracterizan la zona litoral.

También se ha observado que a una menor escala dentro de la zonación existe un aspecto relacionado con la fisiología termal de las especies la cual establece los límites de tolerancia así como los óptimos de temperatura en el hábitat, lo que define así parte de su distribución en los ecosistemas (Somero, 2002). El límite superior de algunos organismos también puede estar definido por factores biológicos tales como la ausencia de alimento, pastoreo o depredación. El límite inferior de la distribución de estos organismos normalmente está determinado solo por factores biológicos (Lalli y Parsons, 1993).

La dominancia encontrada para *C. fissus* se debe a que es una especie que esta adaptada a la desecación y soporta gradientes de temperatura gracias a su

menor tamaño en comparación con *Balanus glandula*, el cual se distribuye con mayor frecuencia en la zona media y se encontró en menor proporción en la zona intermareal superior (Connolly y Roughgarden, 1998).

Algunos estudios de campo sugieren que los límites superiores del intermareal para el caso de las algas están determinados por su resistencia a cambios osmóticos y a las condiciones de temperatura; esto ha conducido a numerosos experimentos para comparar las adaptaciones de las especies (Pfetzing *et al.*, 2000). Se ha observado que las algas del intermareal superior tienen la capacidad de recuperarse casi por completo de la desecación comparadas con las algas del intermareal inferior (Dring y Brown, 1982). Lo anterior ha sido asociado a la presencia de carbohidratos intracelulares identificados como compuestos osmóticamente activos presentes en las algas rojas y pardas (Davidson y Reed, 1985; Pfetzing *et al.*, 2000). Esto pudiera explicar la presencia de las algas rojas y pardas encontradas en el intermareal superior, así como la resistencia a la desecación que las algas verdes como *Cladophora columbiana* y *Ulva* sp. exhiben al crecer en grupos muy compactos (Littler y Littler, 1980; Steneck y Dethier, 1994).

3.5.4. Variación estacional y espacial de la cobertura de especies.

Las especies de macrófitas intermareales identificadas en las costas de B.C. dieron evidencia de ser una flora mixta con organismos típicos de zonas templadas y frías. Esta observación coincide con lo reportado por Murray y Littler (1989) quienes establecieron la afinidad y distribución de macrófitas intermareales de 21 sitios de California, E.U.A. Las especies de macroalgas efímeras en este estudio fueron 25 las cuales solo se presentaron una vez a lo largo del periodo de muestreo

para una o más localidades. Esto representa el 31% de las especies identificadas en todas las localidades.

Los resultados sugieren que aun cuando no se observó un patrón estacional definido a lo largo del periodo de muestreo para el grupo de macroalgas, existe una variación temporal tanto de número de especies como de cobertura. Sin embargo se observó que existe menor variabilidad estacional entre los invertebrados sésiles que en las macroalgas, ya que en las cinco localidades la variación estacional registrada entre los grupos de invertebrados no fue alta. Esto posiblemente se debe a que la dinámica y abundancia de las macroalgas está regulada en gran parte por procesos “bottom up” como la alta disponibilidad de nutrientes a lo largo del año como consecuencia de los eventos de surgencia, lo que genera condiciones optimas para su crecimiento. Estudios realizados al norte de la zona de estudio (Aguilar-Rosas, L.E. y Pacheco-Ruiz, 1985) indicaron una diferencia en la composición y cobertura florística con periodo bimensual, lo que confirma el hecho que la dinámica estacional de las macroalgas es mucho mayor y variable en comparación a los invertebrados sésiles.

Los resultados destacan la relación inversa que existe entre la cobertura de los mejillones y la disponibilidad de sustrato (roca) a lo largo de las cinco localidades muestreadas estacionalmente. Esto debido a que los mejillones particularmente *M. californianus* colonizan exitosamente el sustrato rocoso disponible a lo largo del intermareal y es un grupo dominante sobre las demás especies que compiten por el sustrato primario.

En relación a los procesos oceanográficos, en Bajamar, Ojitos y Esmeralda se observó una disminución en la cobertura promedio de mejillón (de ~20% a ~5%) entre verano y otoño 2006 (inicio de El Niño 2006-2007). Esta disminución podría

estar relacionada con el hecho de que las poblaciones de mejillón son susceptibles a la presencia de mayor temperatura (Somero, 2002) y a que probablemente las características oceánicas en la Bahía de Sebastián de Vizcaíno pudieron haber sido influenciadas por la presencia de agua cálida como consecuencia del transporte de agua tropical durante un evento El Niño.

3.5.5. Asociaciones entre grupos funcionales.

Establecer correlaciones entre la cobertura de los grupos funcionales en las localidades del intermareal rocoso puede sugerir cuales grupos pueden responder de la misma forma a disturbios ya sean eventos naturales o efector humanos. Por ejemplo, la correlación significativa positiva que existe entre las algas costrosas y las corticadas en el intermareal inferior indica la coexistencia entre estos grupos e implica que de alguna forma responden simultáneamente a la influencia de los procesos locales y ambientales que regulan su abundancia y distribución.

La existencia de una relación negativa entre los pastos marinos y las algas corticadas en el intermareal inferior puede no ser el resultado de una competencia espacial directa. Sin embargo, el hecho de que estos grupos tiendan a ser abundantes en diferentes partes del gradiente vertical de la zona intermareal puede que sea consecuencia a su respuesta gradual a diferentes procesos como estrés térmico, desecación, limitación de nutrientes, entre otros. Es necesario llevar a cabo experimentos acerca de la respuesta fisiológica de estos grupos funcionales en la región con el fin de comprobar la hipótesis.

En cuanto a la correlación negativa entre los mejillones y el grupo de los balánidos en la zona inferior, Paine *et al.* (1985) y Navarrete y Castilla (1990)

reportaron haber encontrado esta misma relación funcional así como la existencia de competencia por sustrato primario en función de las interacciones entre estos dos grupos. De la misma forma muchas de las correlaciones existentes entre grupos funcionales a lo largo del intermareal rocoso pueden establecer patrones de condiciones de competencia, coexistencia, respuesta a condiciones locales así como a algunos procesos que no se contemplan en este trabajo como los relacionados con depredación por parte de consumidores carnívoros o herbívoros en estos ecosistemas.

La influencia antropogénica también puede jugar un papel significativo en las múltiples relaciones entre grupos funcionales, ya que una fuente externa puede modificar la estructura de estas comunidades y algunos procesos (Castilla, 1999).

3.5.6. El contexto de la conectividad entre las localidades de B.C.

Se ha observado que las especies se desplazan por varias razones; algunas buscan alimento, otras para evitar ser depredadas, o en la búsqueda de condiciones favorables o con fines reproductivos. Sin embargo, cuando estas formas de desplazamiento ocurren relativamente en distancias cortas, estos organismos pueden tener cierta importancia en una amplia variedad de procesos ecológicos (Davidson *et al.*, 2004). Una gran parte de la ecología marina se ha enfocado en la dinámica y consecuencias de tales interacciones locales, ya que los procesos que ocurren en una localidad pueden influir en otras localidades o en otros ecosistemas a través del acoplamiento de este movimiento en largas distancias o “conectividad”.

La distribución y abundancia de especies marinas en grandes escalas geográficas como es el caso del *M. californianus* que se distribuye desde Alaska

hasta México, está gobernada por procesos de dispersión desde macro hasta micro escala, así como por la influencia de las condiciones oceanográficas en su zona de distribución (Hubbs, 1948; Broitman *et al.*, 2001, Blanchete *et al.*, 2006).

El gradiente latitudinal de la región de estudio permitió agrupar a las comunidades intermareales de acuerdo a sus atributos florísticos y faunísticos. Según los criterios de clasificación utilizados para los grupos de macroalgas e invertebrados sésiles para la zona se logró agrupar las localidades en dos regiones según las comunidades de macroalgas. Una región norte donde las localidades de MC, BM, PM, ST , ER y PB, debido a su alta similitud, comparten atributos y componentes ecológicos, y una región sur conformada por las localidades de OJ, KR y ESM que poseen características similares al encontrarse influenciadas por la dinámica oceanográfica y la geomorfología de la Bahía de Sebastián Vizcaíno. Así mismo sus gradientes de temperatura son diferentes en comparación a las localidades del norte lo que le confiere características de hábitat.

CAPÍTULO 4

RECLUTAMIENTO, ESTADO REPRODUCTIVO DEL MEJILLÓN Y SUS IMPLICACIONES EN LA CONECTIVIDAD DE LAS COMUNIDADES INTERMAREALES

Resumen

Uno de los procesos que modulan las comunidades del intermareal rocoso es la incorporación de nuevo individuos a las poblaciones adultas. Lo anterior, esta en función del esfuerzo reproductivo y el reclutamiento. Con el fin de caracterizar este proceso en la región, se cuantificó la tasa de reclutamiento y el índice gonadal del mejillón durante los años de 2006 a 2008. Dentro de los resultados obtenidos se observó en verano de 2007 el mayor reclutamiento en las localidades, sin embargo aunque no se distinguió un patrón espacial en el reclutamiento de mejillones, se encontró una relación positiva del reclutamiento con la Temperatura Superficial del Mar (TSM). En Punta Baja se registró el menor reclutamiento de la zona probablemente relacionado con las características oceanográficas de surgencia y extremo oleaje de este sitio. Las localidades de la región sur de la zona de estudio ubicadas dentro de la Bahía de Sebastián de Vizcaíno presentaron un alto reclutamiento durante invierno de 2008; sin embargo no se pudo relacionar este hecho directamente con procesos oceanográficos y es posible que exista algún mecanismo físico que influya positivamente en la retención y el arribo de larvas en esta zona. Se observaron eventos alternos de desove a lo largo del periodo de muestreo. Sin embargo en invierno de 2007 se observó un desove principal de mejillón en general en todas las localidades. Aunque se ha reportado que puede estar influido por cambios en la temperatura ambiental, este evento no se encontró asociado con algún proceso oceanográfico. Los patrones de circulación oceánica asociados al Sistema de la Corriente de California pueden representar un mecanismo de transporte de larvas entre las comunidades, sin embargo no se observó una asociación del arribo de larvas a la costa con eventos de relajación de surgencia costera. Continuar explorando estas aproximaciones sería de utilidad para entender mejor a que procesos y en a que escala las larvas de mejillón responden en la región a los eventos oceanográficos que modulan el transporte hacia la costa.

4.1 INTRODUCCIÓN

Entender las interacciones existentes entre las comunidades bentónicas de la costa y los diferentes procesos que ocurren en el océano requiere considerar aspectos biológicos como la historia de vida de los organismos, el suministro larvario en la columna de agua, los procesos de asentamiento y reclutamiento, así como las interacciones tróficas, entre otros. Conceptualmente estos modelos no son nuevos; sin embargo, existen nuevas metodologías y una gran atención en los estudios interdisciplinarios que han dado varios argumentos para poder comprender los complejos procesos e interacciones en estos ecosistemas (Menge *et al.*, 2003; Broitman *et al.*, 2005; Blanchete *et al.*, 2006; 2009; Pineda *et al.*, 2009). Así mismo cuando se pretende entender la dinámica de las comunidades es imperativo considerar en los diferentes procesos las escalas espacio temporales para tratar de entender cómo se encuentran conectadas estas comunidades costeras.

Existen dos conceptos en ecología marina relacionados con esta pregunta, el primero es el comportamiento larval de los organismos al seleccionar los sitios de asentamiento y el segundo, está relacionado con la cantidad de larvas que arriban a las costas, se asientan, sobreviven y que finalmente se incorporan a las poblaciones de organismos adultos. Este último proceso se conoce como el reclutamiento a las poblaciones (Underwood y Denley, 1984; Young, 1987; 1990; Menge y Branch, 2001).

Uno de los organismos que se recluta en las costas rocosas y ha sido en particular objeto de estudio en las comunidades del intermareal de Baja California es el mejillón *Mytilus californianus*. Este invertebrado marino es un molusco bivalvo filtrador que presenta sexos separados y fertilización externa. El tiempo que transcurre desde la fertilización hasta la metamorfosis de la larva en condiciones controladas de laboratorio es de 20 días (Curiel-Ramírez, 2005). Durante su estadio larval en la columna de agua el mejillón se expone a una amplia variedad de fuerzas físicas y procesos oceanográficos que modulan los patrones de dispersión de larvas e influyen en su reclutamiento a las comunidades costeras. Se sabe que la variabilidad espacial en la circulación oceánica, está particularmente relacionada con eventos de surgencias y hundimiento de agua los cuales son procesos que generan variación en la abundancia y estructura de las comunidades en la costa a través del transporte de larvas fuera o hacia la costa. Sin embargo a pesar de que el reclutamiento es un proceso altamente variable varios estudios demuestran que es posible identificar patrones de reclutamiento persistentes a diferentes escalas espaciales y temporales asociados a ciertos factores físicos y biológicos (Lagos *et al.*, 2005; Hamilton *et al.*, 2006).

Varios ecólogos enmarcan el tema del reclutamiento en el bentos como una interacción entre procesos pre- vs, post- asentamiento (Lewis, 1977) junto con los procesos descritos en la figura 4.1. El problema es complejo en el sentido que cada proceso incluye varios mecanismos, interacciones y escalas (Pineda *et al.*, 2009)

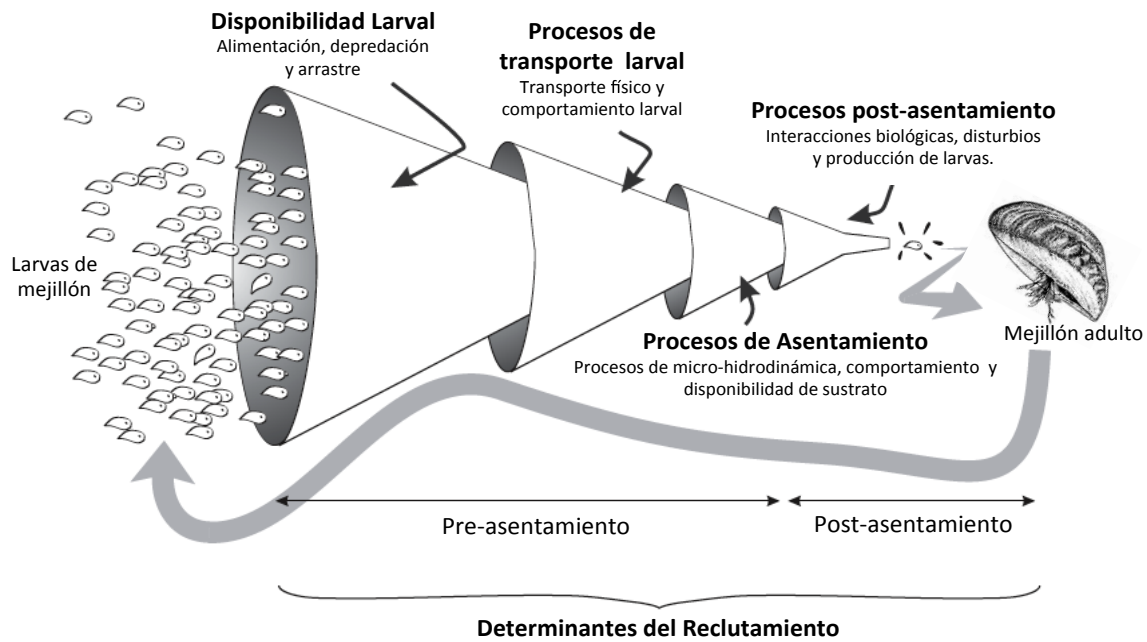


Figura 4.1. Procesos que influyen en el reclutamiento de las especies bentónicas. (modificado de Pineda *et al.*, 2009)

De igual forma la producción de larvas influye en la dinámica de las comunidades ya que adicional a los eventos oceanográficos, para ocurra el asentamiento y posterior reclutamiento de larvas, debe existir una disponibilidad larval en la columna de agua de manera que los organismos puedan arribar e incorporarse a las poblaciones adultas cuando las condiciones del ambiente lo permitan.

La abundancia de larvas depende en parte de la producción de gametos así como de las escalas de dispersión larval. Como consecuencia de los cambios que en ocasiones ocurre en los mecanismos de transporte, en algunos casos los periodos de reproducción pueden estar desacoplados con las condiciones para que se lleve a cabo el reclutamiento (McQuaid y Phillips, 2006). Al respecto la distancia de dispersión efectiva de propágulos o larvas puede variar según las escalas espaciales y temporales, así como también debido a las diferencias específicas en los organismos.

Los procesos de dispersión constituyen un componente esencial en el transporte larval, así como en el intercambio de organismos entre comunidades marinas. Esto ocurre debido a que esta conectividad promueve el éxito y supervivencia de las poblaciones “abiertas” que existen en el océano (McQuaid y Phillips, 2006) y que mantienen una mayor diversidad genética. Es por lo anterior que resulta de gran importancia estudiar e identificar los patrones de reclutamiento y del estado reproductivo del mejillón en la costa de B.C., con el fin de entender mejor la variabilidad de la estructura de sus poblaciones así como los patrones de conectividad que pueden estar operando a diferentes escalas espacio temporales dentro de las comunidades de las costas de Baja California.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Tasa de Reclutamiento del Mejillón.

Se cuantificó estacionalmente la tasa de reclutamiento de mejillón en nueve localidades intermareales durante los años de 2007 y 2008 mediante el uso de colectores estandarizados de malla plástica marca Tuffy®. Se colocaron de forma paralela a la costa 5 de estos colectores entre los bancos de mejillones adultos en cada localidad separados entre si aproximadamente de 1 a 2 metros. Las fechas de recolección y cambio de colectores fueron determinadas en función de la hora y el nivel de las mareas más bajas, así como de los meses que marcaron estacionalidad durante el periodo de muestreo. Una vez recuperados, los colectores fueron preservados en bolsas plásticas y congelados. El material contenido en el colector se filtró inicialmente en el laboratorio usando un tamiz de 240 μm de luz de malla, con el fin de separar el material fino particulado y disuelto. Posteriormente la muestra obtenida se filtró con un tamiz de 1000 μm de luz de malla, para poder separar el material grueso ($>1000 \mu\text{m}$) y así obtener una muestra relativamente homogénea en tamaño para su manipulación. La muestra fue colocada en una caja de Petri seccionada y se identificaron los organismos juveniles y las postlarvas presentes de bivalvos mediante el uso de un microscopio estereoscópico. Las muestras obtenidas fueron clasificadas y almacenadas en viales de 2.5 ml con agua de mar para su posterior conteo. Las densidades de reclutamiento obtenidas fueron estandarizadas a un área de 100 cm^2 .

4.2.2 Reproducción del Mejillón.

Como parámetro indicador de los eventos de desove del mejillón se calculó el índice gonadal húmedo (IGH) de los mejillones en cinco localidades de la zona de estudio (BM, ER, PB, OJ y ESM). Para esto se recolectaron estacionalmente (cada 3 meses) 22 organismos (11 en la zona intermareal media y 11 en la zona inferior) con longitud entre 9 a 11 cm durante los años de 2006 y 2008. El rango de las longitudes de los organismos colectados, se fijó con base en la literatura consultada, relacionada con la longitud en la que estos organismos alcanzan su madurez sexual (Santiago, 1982; Chi-Barragán y García-Pámanes, 1983). Los mejillones fueron trasladados al laboratorio en refrigeración, en donde se tomaron medidas de longitud y peso, para posteriormente determinar el IGH mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Índice Gonadal Húmedo} = \frac{\text{Peso de la gónada}}{\text{Peso total de la carne}} \times 100 \quad (6)$$

4.2.3 Análisis Estadístico de los Datos.

Con el fin de explorar las diferencias entre las tasas de reclutamiento de las localidades en las diferentes estaciones del año se realizaron análisis estadísticos con la prueba de Kruskal-Wallis, el cual es un ANOVA no paramétrico que se basa en el estadístico de Wilcoxon-Wilcoxon. Cuando la diferencia en los valores promedio de las localidades fue mayor de lo esperado, se realizaron contrastes múltiples usando la prueba de Tukey. Así mismo para conocer las posibles asociaciones entre las series de tiempo de los índices gonadales húmedos, se realizaron estadísticos de correlación determinando el coeficiente de Spearman.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Tasa de Reclutamiento del Mejillón.

La tasa promedio mensual de reclutamiento de mejillón en las nueve localidades (Figs. 4.2 a 4.5), presentó una alta variabilidad estacional a lo largo del periodo de muestreo. Durante la primavera de 2007 (marzo a junio) no se observó una diferencia significativa ($H=13.34$, $gl=8$, $p=0.1$) entre las localidades de muestreo. Sin embargo, las localidades de OJ y KR presentaron el mayor promedio mensual de reclutamiento de mitílicos (entre 70 y 90 reclutas por mes) en comparación con las localidades de BM, PM y PB, las cuales presentaron las menores tasas de reclutamiento para esta época del año con menos de 20 reclutas por mes (Fig. 4.2).

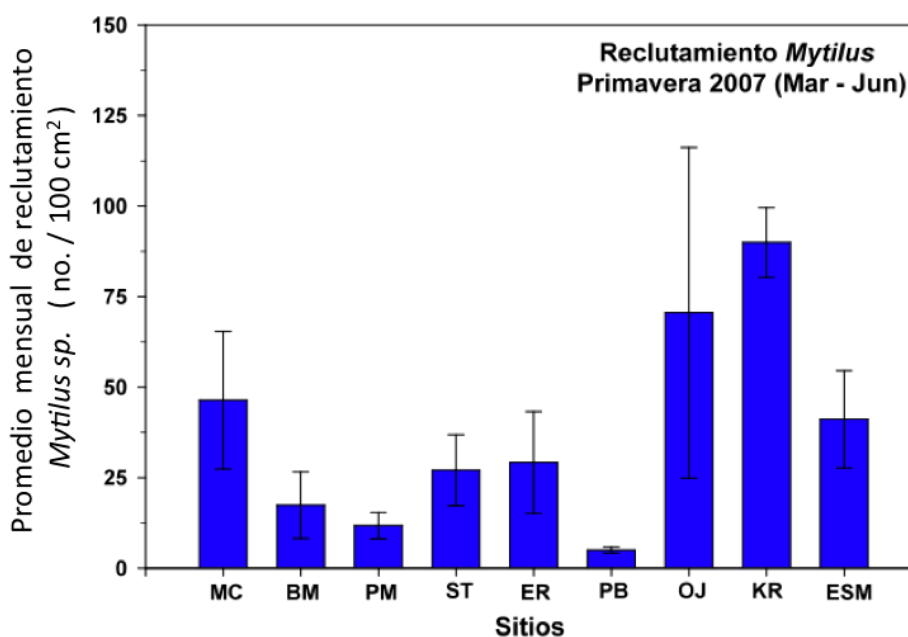


Figura 4.2. Reclutamiento de mitílicos para los nueve sitios de estudio durante la primavera de 2007. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (referirse al texto para las abreviaturas de los sitios)

Los resultados obtenidos para el verano de 2007 (junio a septiembre) presentaron una diferencia significativa en la tasa de reclutamiento ($H=25.19$, $gl=8$, $p=0.05$). Al realizar los contrastes múltiples entre las localidades el análisis con la prueba de Tukey ($p<0.05$) diferenció a ER con las localidades de ST, PB y ESM y a la localidad de MC con ST. El resto de las localidades no presentaron diferencia significativa entre sí. La mayor tasa promedio de reclutamiento se observó en ER con 379 reclutas por mes. Las localidades de MC, KR, BM y PM registraron una tasa de reclutamiento entre 270 y 172 reclutas por mes (Fig. 4.3). En general se observó que en la mayoría de las localidades, a excepción de ST y ESM la tasa de reclutamiento aumentó en comparación con los valores obtenidos para primavera del mismo año.

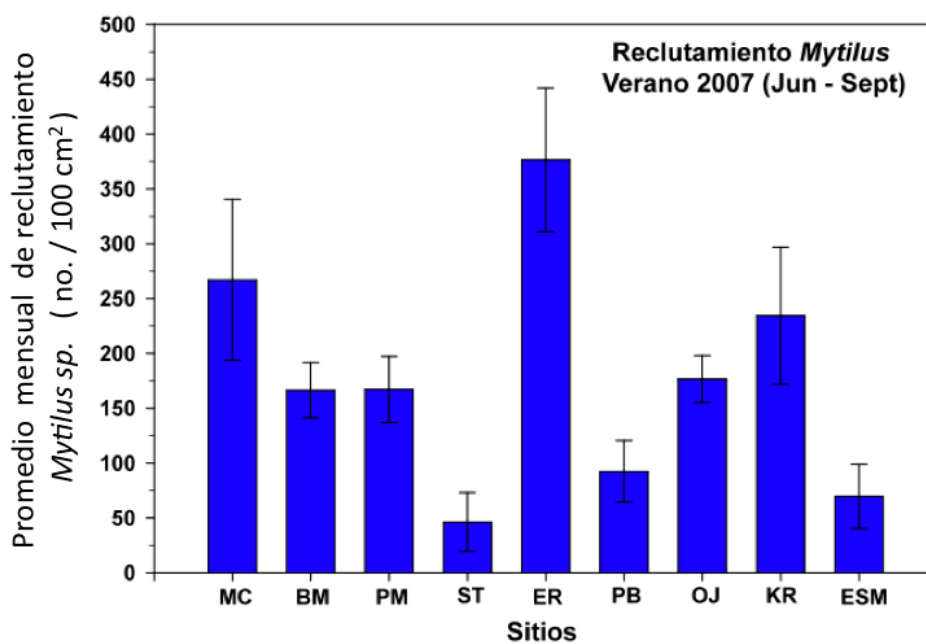


Figura 4.3. Reclutamiento de mitílidos para los nueve sitios de estudio durante el verano de 2007. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (referirse al texto para las abreviaturas de los sitios)

Durante otoño de 2007 (septiembre a noviembre) la tasa de reclutamiento presentó una diferencia significativa entre localidades ($H=24.89$, $gl=8$, $p=0.002$). Al realizar los contrastes múltiples entre localidades el análisis estadístico ($p<0.05$) diferenció a BM del resto de los sitios, los cuales a su vez no presentaron diferencia significativa entre si. En general para las nueve localidades la tasa de reclutamiento fue mucho menor en comparación con la registrada en las estaciones de primavera y verano de 2007. La localidad de BM fue la localidad con mayor tasa de reclutamiento promedio para esta época del año con 24 reclutas por mes. Las localidades con la menor tasa fueron ST, ER Y ESM (Fig. 4.4).

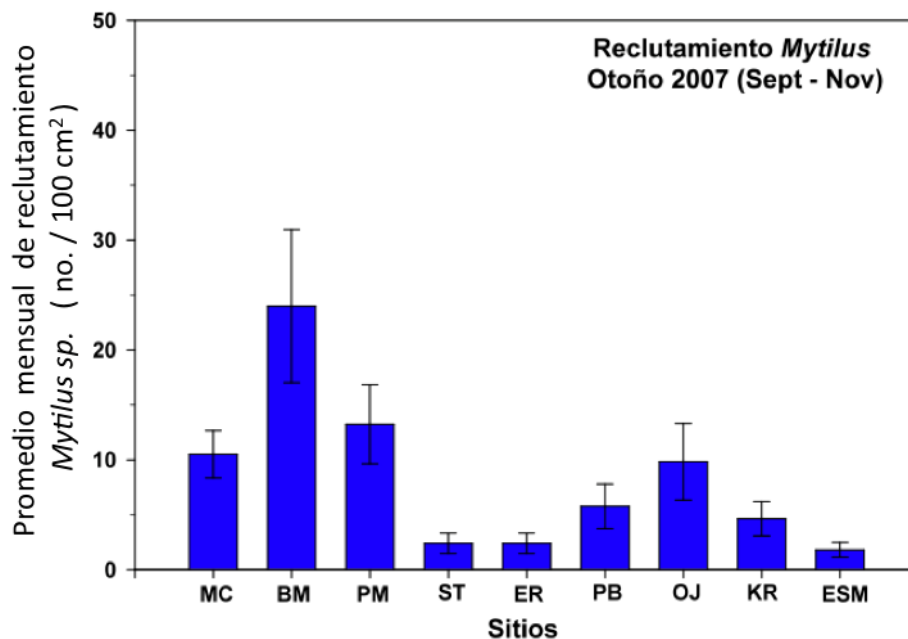


Figura 4.4. Reclutamiento de mitílidos para los nueve sitios de estudio durante el otoño de 2007. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (referirse al texto para las abreviaturas de los sitios)

En invierno de 2008 (noviembre 2007 a marzo 2008) la tasa de reclutamiento entre las localidades presentó una diferencia significativa ($H=21.26$, $gl=8$, $p=0.006$). Al realizar los contrastes múltiples entre las localidades el análisis estadístico diferenció a ER con las localidades de ST, PB y ESM y a la localidad de MC con ST ($p<0.05$). Las demás localidades no presentaron una diferencia significativa entre sí. Sin embargo, se observó que particularmente las localidades de la zona sur del área de estudio (OJ, KR y ESM) presentaron una tasa de reclutamiento entre 100 y 210 reclutas por mes, mucho mayor que la tasa de reclutamiento de las localidades de la zona norte donde esta fue menor de 10 reclutas por mes (Fig. 4.5).

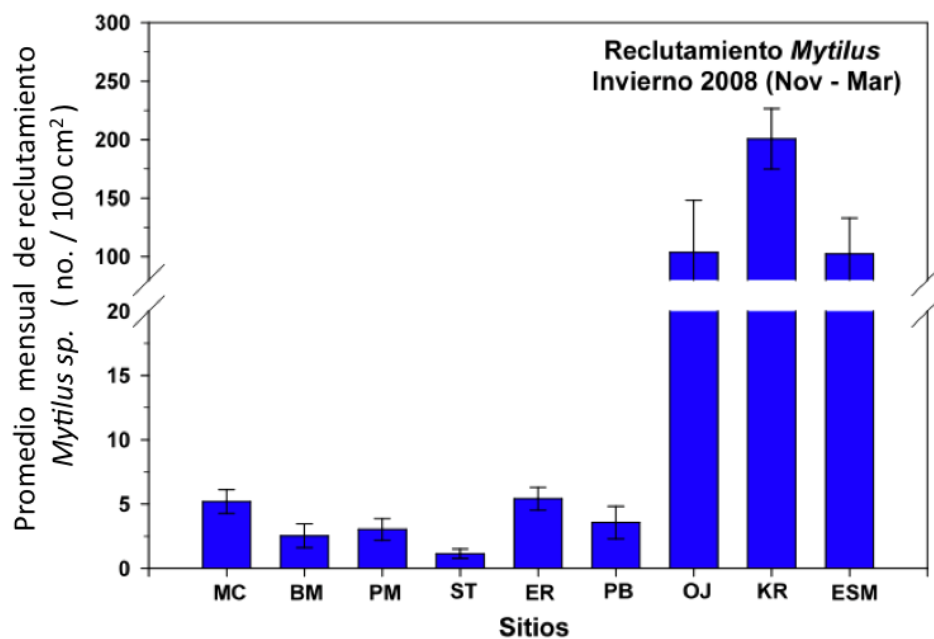


Figura 4.5. Reclutamiento de mitílicos para los nueve sitios de estudio durante el invierno de 2008. Las barras representan la desviación estándar en las localidades. (referirse al texto para las abreviaturas de los sitios)

Al realizar una asociación lineal entre la tasa promedio mensual de reclutamiento de mejillón para las diferentes localidades y el promedio mensual de la temperatura superficial del mar, se observó que existe una tendencia de la tasa de reclutamiento a aumentar cuando la temperatura superficial del mar (TSM) aumenta (Fig. 4.6). Esta relación proporcional fue significativa de acuerdo a un modelo lineal ($r^2 = 0.627$, $p < 0.023$).

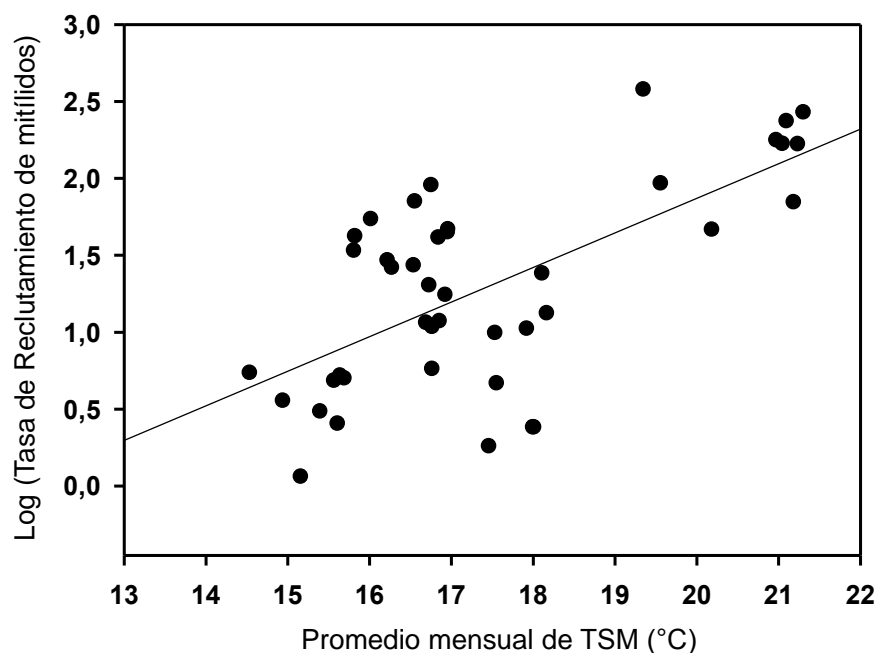


Figura 4.6. Promedio mensual de TSM vs. Log [tasa de reclutamiento], promedio mensual en nueve localidades de B.C. durante los años 2007 y 2008 ($r^2 = 0.627$, $p < 0.023$).

Se realizó un análisis de correlación entre la tasa de reclutamiento de mejillón en los sitios y el índice de surgencia calculado a partir de los datos de viento para la zona, pero no se observó una relación significativa entre estos dos parámetros ($r_s = 0.21$, $p = 0.43$).

4.3.2 Reproducción del Mejillón

A lo largo del periodo de muestreo se encontró que existe una amplia variabilidad espacio temporal entre los sitios con relación al porcentaje de índice gonadal húmedo (IGH) encontrado en los mejillones, sin embargo se registraron periodos de desove no simultáneos en diferentes localidades a lo largo del año. El porcentaje de varianza del IGH entre las localidades varió entre 21.6 y 74.9 (IC=95%), para diciembre 2006 y diciembre 2007, respectivamente. Los porcentajes de varianza correspondientes para cada temporada se encuentran descritos en la figura 4.7.

De manera particular se observó que en algunas estaciones del año las localidades de BM, PB y ESM registraron un IGH inferior al que presentaron las localidades de ER y OJ. Este patrón se observó particularmente en los muestreos de junio, septiembre y diciembre de 2006 así como en marzo y diciembre de 2007 (Fig. 4.7).

La variación del IGH promedio de los mejillones de los niveles alto y bajo presentó una variabilidad (IC=95%) entre 26.8 para OJ y 64.1 para BM (Fig. 4.8). Además se observó una notoria disminución del IGH en las localidades de BM, ER, PB y OJ entre el mes de diciembre de 2006 y marzo de 2007. Esta disminución en particular fue mayor en BM donde el IGH disminuyó de 32.62 a 11.31 %. Así mismo se registró un aumento a partir de marzo 2007 para las localidades de BM, PB y OJ (Fig. 4.8). Las correlaciones entre los IGH de los niveles alto y bajo, fueron altamente significativas y presentaron una asociación positiva a nivel de localidad. Los valores de correlación de Spearman (r_s) para cada localidad varían desde 0.78 para OJ hasta 0.90 para ESM y se encuentran descritos en la figura 4.8.

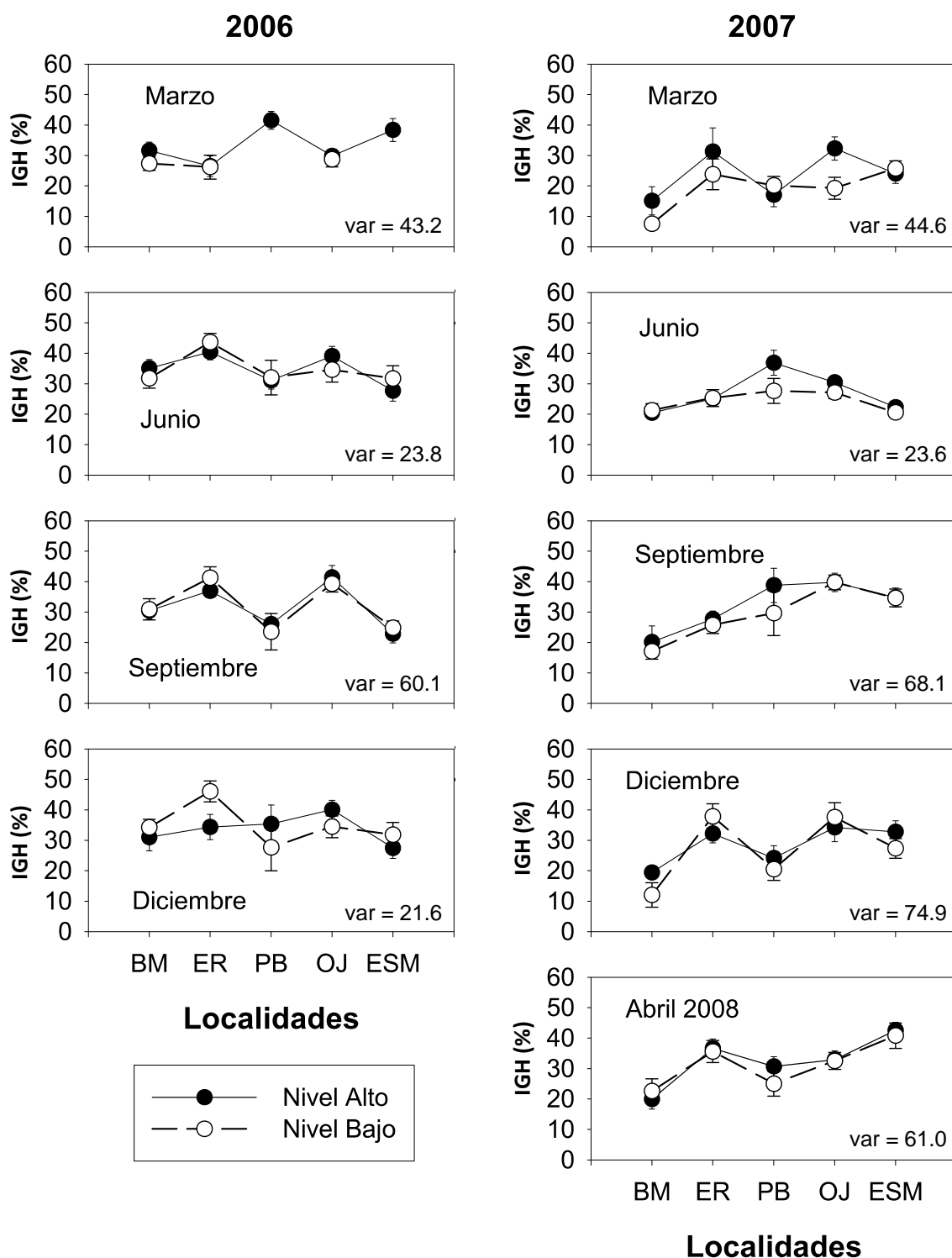


Figura 4.7. Variación espacio temporal de los valores promedio del índice gonadal húmedo (IGH) del mejillón en los niveles alto y bajo durante 2006 y 2008. La variabilidad espacial para cada temporada se expresa en términos de su varianza ($p=0.05$). Los círculos representan la media de los datos y las líneas verticales el intervalo de confianza a 95%. (referirse al texto para las abreviaturas de los sitios)

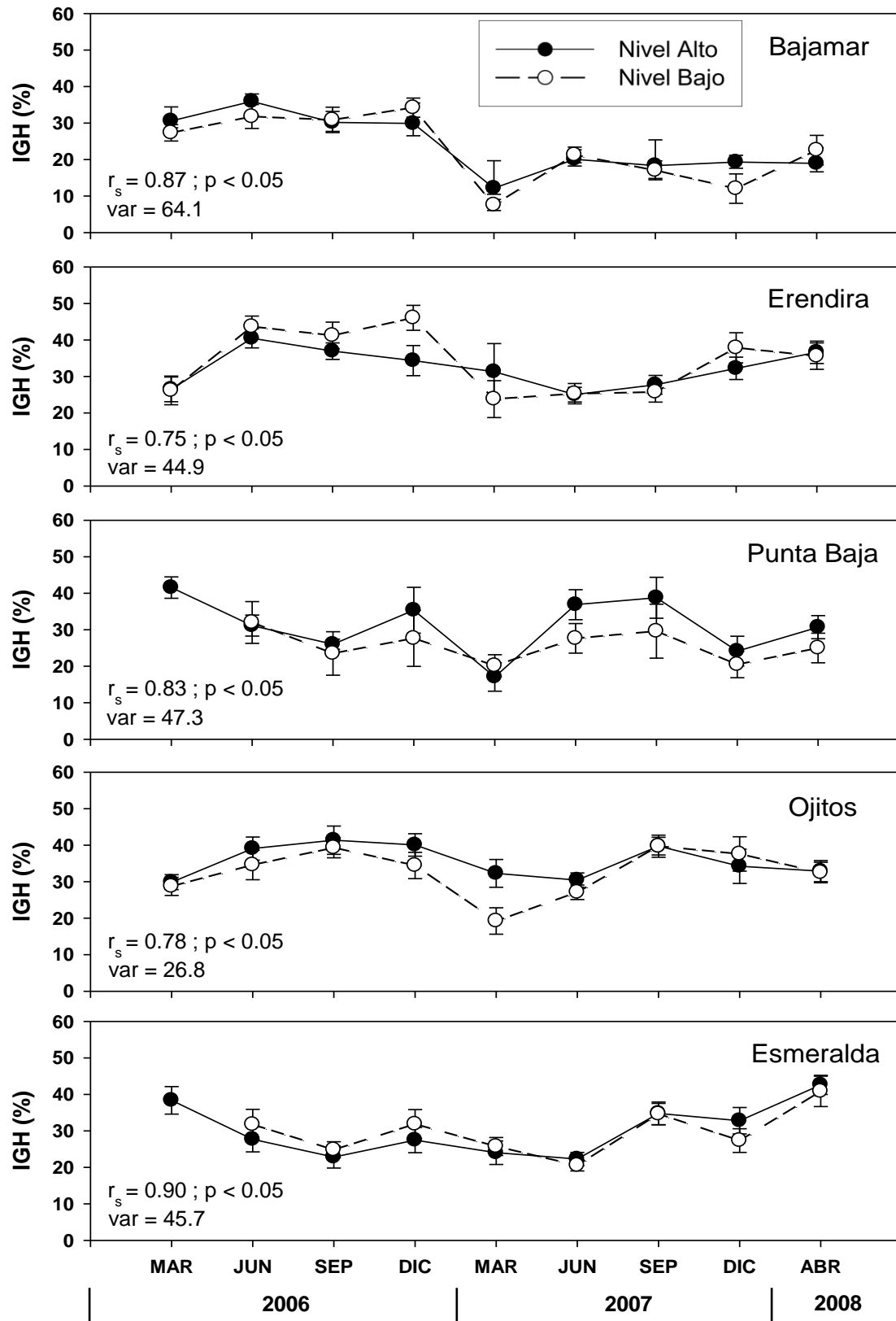


Figura 4.8. Variación temporal y correlación de Spearman (r_s) de los valores promedio de índice gonadal húmedo (IGH) en mejillones de los niveles alto y bajo en cinco localidades de estudio entre 2006 y 2008. La variabilidad temporal se expresa en términos de su varianza ($p=0.05$). Los círculos representan la media de los datos y las líneas verticales el intervalo de confianza a 95%.

4.4 DISCUSIÓN

4.4.1 Reclutamiento del Mejillón

La alta variabilidad encontrada en el reclutamiento de mejillón a lo largo de las localidades de B.C. puede estar relacionada con las diferencias y la variación en los procesos físicos de meso escala que influyen en la distribución espacial de la disponibilidad de larvas como ya se ha documentado en varios estudios a lo largo de la Corriente de California. De igual forma el transporte larval hacia fuera de la costa puede tener un componente de variación, como lo sugieren estudios previos para zonas de características similares (Connolly *et al.*, 2001; Menge *et al.*, 2004). Adicionalmente la variación a pequeña escala encontrada en los sitios de muestreo podría estar relacionada con los factores hidrodinámicos y geomorfológicos que generan la existencia de micro hábitats que interactúan con la selección del sustrato de asentamiento.

Algunos procesos que determinan la distribución de larvas a lo largo de la costa están definidos por los patrones de circulación oceánica cercanos a la costa. En la región costera de Baja California existen flujos angostos (10-20 km) sobre la plataforma continental ocasionado por el debilitamiento de los vientos en la época de verano que generan una contracorriente superficial que fluye en dirección opuesta a la CC y que puede en ocasiones generar el transporte en sentido sur-norte de larvas entre las poblaciones de mejillón. Estos flujos de la contracorriente se observan sobre el margen costero asociados a regiones de baja temperatura que favorecen una circulación ciclónica (Durazo y Baumgartner, 2002). Adicionalmente, durante el verano el océano gana calor lo que propicia la estratificación vertical y favorece la existencia de estructuras de meso escala o meandros (Durazo *et al.*, 2010). Lo

anterior podría estar asociado a lo encontrado en verano donde el reclutamiento de organismos fue mayor en las todas las localidades ya que pueden existir flujos en ambos sentidos a lo largo de la costa lo que facilitaría la existencia de un mayor intercambio de larvas entre las localidades.

Los periodos de intensa surgencia observados en PB pudieran estar relacionados con el bajo reclutamiento observado en primavera de 2007 en esta localidad, ya que estos eventos producen un transporte de agua hacia afuera de la costa alejando las larvas por medio de procesos físicos. Por otro lado la alta energía del oleaje como resultado de su configuración geomorfológica en la costa puede tener un efecto que influye de manera negativa en el reclutamiento del mejillón ya que esta localidad representa un quiebre costero en la Península que puede producir cambios en los mecanismos de dispersión larval.

Las condiciones descritas para la Bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV) durante la época de invierno hacen referencia a una fuerte mezcla vertical en las aguas costeras (Mancilla-Peraza *et al.*, 1993), hecho que en teoría representa la presencia de condiciones no favorables para los procesos de transporte y asentamiento larval (Pineda, 1991). Sin embargo el alto reclutamiento observado en las localidades de la región sur (OJ, KR y ESM) para invierno de 2008 no corresponde con las condiciones poco favorables de mezcla en la columna de agua en la cuenca de BSV. De acuerdo a los patrones de circulación superficial (Durazo *et al.*, 2010) el intenso flujo en dirección sur de la CC podrían promover en esta época del año un transporte significativo a esta zona que podría funcionar como un área de acumulación de larvas. Adicionalmente el alto reclutamiento observado podría estar influenciado por algún tipo de mecanismo físico en esta época del año en la que asociado a una menor profundidad de la plataforma continental de BSV estaría

promoviendo la retención de larvas e influir de manera positiva en el transporte y asentamiento del mejillón en las costas rocosas de la BSV.

En general en las localidades de Baja California los procesos de reclutamiento no presentaron un patrón espacial definido a lo largo de las localidades consistente con lo reportado por Broitman *et al.* (2005) quienes observaron que en algunos sitios de las costas del sur de California las larvas de mejillón tienden a arribar de manera heterogénea en espacio y tiempo. Así mismo, el reclutamiento no está directamente relacionado con un mecanismo oceanográfico en particular. Sin embargo al respecto se ha observado al menos en California que una gran proporción del reclutamiento de algunos invertebrados en especial de balánidos ocurre durante eventos de relajación de las surgencias (Farrel *et al.*, 1991; Shkedy y Roughgarden, 1997). Si esto pudiera estar ocurriendo con las larvas de los mejillones aún permanece como una pregunta abierta ya que desde la escala que se observó en este estudio no hay una relación significativa ($r_s = 0.21$; $p = 0.43$) entre los periodos de relajación y los procesos de reclutamiento en la zona, debido a las diferentes escalas de muestreo (cada 3 meses) y la de los procesos oceanográficos observados (orden de días).

Durante el periodo de muestro al parecer las condiciones de El Niño 2006-2007 no tuvieron una influencia positiva en el reclutamiento de larvas de mejillón para la época de primavera de 2007 en las costas de B.C., ya que la intensidad y variación de los eventos de surgencia suelen estar afectados por los ciclos atmosféricos de gran escala como lo es el ENOS (El Niño Oscilación del Sur), y el cual tiene una gran influencia en la Corriente de California (McPhaden, 2006). En estudios similares el reclutamiento de algunos invertebrados marinos como los balanos se ha incrementado como una respuesta positiva a las condiciones

ambientales asociadas al ENOS. Por ejemplo Roughgarden *et al.* (1988) reportaron este hecho para las costas de Oregón y California durante El Niño de 1983 y Connolly y Roughgarden (1999b) para El Niño 1997-1998 cuando las surgencias fueron de menor intensidad. Sin embargo en la región de B.C. El Niño 2006-2007 fue considerado como evento de intensidad débil y con características ambientales que no modificaron significativamente la circulación oceánica y dinámica costera en la región (Durazo *et al.*, 2010)

La relación proporcional y significativa entre la TSM y la tasa de reclutamiento durante el periodo total de muestreo ($R^2 = 0.627$, $p < 0.023$) sugiere que la circulación cerca de la costa asociada a la presencia de aguas cálidas influye en el asentamiento y reclutamiento del mejillón. Sin embargo, evaluar la magnitud potencial del efecto de la surgencia en el reclutamiento es más complejo debido a su componente espacial. Para poder evaluar si existe una variación a nivel estacional o interanual en relación con procesos oceanográficos a diferentes escalas espaciales es necesario poder contar con una serie de datos más larga y de mejor resolución (semanal – mensual).

4.4.2 Reproducción del Mejillón

El índice gonadal húmedo (IGH) además de ser una proporción gónada-carne, es un indicador de los eventos de desove y está estrechamente relacionado con el estado reproductivo del mejillón. La variabilidad encontrada en el IGH de mejillones en B.C. está relacionada con el ciclo reproductivo de este invertebrado. Young (1946) estableció hace tiempo, un ciclo bianual con desoves máximos en julio y de noviembre a enero. Suchanek (1979) un poco más reciente menciona que *M.*

californianus tiene el potencial para desovar todo el año y lo hace en desoves parciales; Elvin (1974) encuentra que el rasgo más distintivo fueron los desoves parciales y la reabsorción de los óvulos no desovados. Otros autores señalan que el mejillón se reproduce durante todo el año, aunque con periodos de máxima intensidad (Young, 1946; Santiago, 1982), los cuales difieren debido probablemente a las condiciones ambientales asociadas con la latitud y a la variabilidad de los hábitats locales (Elvin, 1974). Además, estos eventos pueden variar anualmente en diferentes escalas.

La disminución encontrada de diciembre de 2006 a marzo 2007 para las localidades coincide con lo encontrado particularmente para la localidad de Eréndira ya que al respecto Chi-Barragán y García-Pámanes (1983) reportan para esta localidad un desove principal a finales de otoño y durante el invierno y otro desove de menor intensidad a finales de primavera y principios de verano. El patrón del ciclo reproductivo puede cambiar en relación a las diferencias de temperatura ambientales que varían a lo largo del año. Estos periodos de desove se han relacionado en ocasiones a cambios en las condiciones ambientales en particular con cambios de temperatura. Sin embargo, los periodos de desove en B.C. no pudieron ser relacionados con cambios en la TSM ya que no existe una relación significativa entre estas dos variables.

El desove de diciembre a marzo en BM, ER y PB fue más intenso que en OJ y ESM para la misma temporada. Es posible que los periodos de desove durante esta época estuvieron influenciados por un cambio extremo en la TSM que puede generar el desove simultáneo en las localidades del norte.

Como ya se ha mencionado anteriormente existen procesos a diferentes escalas que influyen en el reclutamiento. Uno de estos procesos es la disponibilidad

larval como resultado de los periodos de desove del mejillón. En este trabajo, no se encontró una relación entre el reclutamiento y los periodos de desove de mejillón para la región de Baja California. Los desoves parciales de mejillón que se dan a lo largo del año pueden estar relacionados con el reclutamiento continuo registrado en las costas de B.C.

Aunque no hubo una asociación entre la tasa de reclutamiento y el IGH de los mejillones para las localidades, la disponibilidad larval y el subsecuente reclutamiento en un sitio puede estar influenciado por los periodos de reproducción y eventos de desove ocurridos en localidades distantes cientos de kilómetros (Dudas *et al.*, 2009).

CAPITULO 5

CONCLUSIONES GENERALES

La costa oeste de Baja California ubicada en la región este del Pacífico Norte es influenciada por el Sistema de la Corriente de California (SCC), y se caracteriza por presentar ecosistemas intermareales altamente productivos y diversos. En sus costas, comparte características ecológicas con algunas de las comunidades de las costas de California y Oregón, ya que se encuentran conectadas e influidas por el mismo sistema de corrientes y presentan cierta similitud en sus climas y ambientes.

La estructura de las comunidades del intermareal rocoso en B.C. presenta una dinámica compleja y responde a una gran variedad de procesos del sistema de acoplamiento físico-biológico que opera entre el ecosistema bentónico y el pelágico. En este estudio se logró determinar que a pesar de dicha complejidad, parte de la variabilidad observada entre localidades puede ser explicada por algunos procesos biológicos y por la influencia de procesos oceanográficos característicos de la zona.

La distribución vertical observada de especies de macroalgas e invertebrados sésiles observada dentro de las comunidades está definida en parte por procesos de interacción ecológica, la temperatura ambiental y por los gradientes de exposición al oleaje que proveen un escenario ideal para que la distribución de los organismos varíe verticalmente. Al respecto la zonación característica de estos ecosistemas en Baja California está definida por varios elementos como la clara dominancia de *Mytilus californianus* en la zona intermareal media e inferior de las costas, del balánido *Chthamalus fissus* en la zona superior, así como la alta presencia de algunas especies de macroalgas como *Corallina vancouveriensis*, *Ralfsia pacifica* y *Lithophylum proboscideum*.

La riqueza de especies de macroalgas y la alta productividad primaria obtenida de datos de satélite demuestran la alta productividad que las comunidades costeras de Baja California representan. Asimismo resaltan la importancia que procesos como los de “bottom up” tienen en el sostenimiento de estas comunidades mediante el suministro de nutrientes para las macroalgas y alimento para varias especies de organismos filtro alimentadores, que en algunas épocas del año están asociados a eventos de surgencia a lo largo de la región.

La alta variabilidad encontrada en el reclutamiento de mejillón a lo largo de costa puede estar relacionada con la variación en los procesos físicos de meso escala que influyen en la distribución espacial de la disponibilidad de larvas.

En las localidades de la zona sur del área de estudio se observaron en particular eventos de mayor reclutamiento que podrían estar influenciados por algún tipo de mecanismo físico propio de la Bahía de Sebastián Vizcaíno así como por la influencia del transporte hacia el sur de la Corriente de California, el cual podría estar acarreando larvas de poblaciones del norte hacia esta zona.

El bajo reclutamiento encontrado en la localidad de Punta Baja puede estar influenciado por la configuración geomorfológica y las características oceanográficas de extremo oleaje y surgencias intensas. No se encontró una relación entre los eventos de surgencia inducidos por el viento y el arribo de larvas hacia la costa, ni de los periodos de reproducción de *M. californianus* con los cambios de temperatura superficial del mar. Sin embargo se encontró una relación significativa y proporcional entre el reclutamiento de mejillones y la temperatura superficial del mar, lo que indica una posible influencia positiva de la presencia de aguas cálidas y la estratificación de la columna con el arribó de larvas de mejillón a las costas de Baja California.

Al parecer durante el periodo del evento de El Niño 2006-2007 las características ambientales asociadas a este evento no modificaron significativamente la intensidad de los eventos de surgencia ni la circulación oceánica costera en la región ya que no se observó un alto reclutamiento de larvas de mejillón durante verano de 2007 en las costas de B.C.

En las localidades más al sur la disminución de sustrato rocoso es uno de los factores que limita el reclutamiento de mejillón así como el tamaño de las poblaciones de este bivalvo. Se determinó que la cobertura de mejillón ha disminuido en lugares como Eréndira y en otras localidades donde se extrae este recurso. Se observó que es necesario además incorporar las actividades humanas y el efecto que estas tienen sobre los ecosistemas para poder determinar que porcentaje de la variación estructural de los ecosistemas es producto de la extracción comercial, sobrexplotación y/o uso de los recursos.

Aunque en este estudio la relación entre algunos de los procesos oceanográficos y ecológicos permanece como una pregunta abierta, existe en la literatura evidencia de que a pesar de la complejidad del sistema de acoplamiento físico-biológico se pueden en algunos casos establecer relaciones entre procesos ecológicos de las comunidades intermareales con procesos oceanográficos. Algunos procesos ecológicos como el reclutamiento de algunos organismos y su dispersión, está influenciado por los eventos de surgencia y la dinámica de las corrientes costeras que funcionan como mecanismo de transporte. La conectividad entre las diferentes localidades se ve favorecida por este mecanismo de transporte físico, el cual es fundamental para mantener el flujo de organismos, la distribución de nutrientes y alimento para el sostenimiento de las comunidades.

Referencias

- Abbott, I.A. y G.J. Hollenberg. 1976. *Marine algae of California*. Stanford University Press, Stanford, CA.
- Aguilar-Rosas, L.E., R. Aguilar-Rosas, I. Pacheco-Ruíz, E. Bórquez-Garcés, M. Aguilar-Rosas y E. Urbieta-González. 1982. Algas de Importancia Económica de la Región Noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 8(1): 49-63.
- Aguilar-Rosas, L.E., I. Pacheco-Ruíz. 1985. Nuevos registros y ampliación de rango geográfico para algas marinas de la costa del pacífico de Baja California, México. *II Ciencias Marinas* 11(2): 69-76.
- Aguilar-Rosas, L.E., R. Aguilar-Rosas, C. Mendoza-González y L.E. Mateo-Cid. 2000. Marine algae from the Northeast coast of Baja California, México. *Botánica Marina* 43: 127-139.
- Aguilar-Rosas, R., I. Pacheco-Ruíz y L.E. Aguilar-Rosas. 1990. Algas marinas de las Islas Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 16(2): 117-129.
- Aguilar-Rosas, R. y M.A. Aguilar-Rosas. 1994. Estudio florístico de las algas marinas bentónicas del ejido San José, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 20(4): 511-534.
- Amador-Buenrostro, A., M.L. Argote-Espinoza, M. Mancilla-Peraza y M. Figueroa-Rodríguez. 1995. Variaciones de periodo corto de la circulación anticiclónica en Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. *Ciencias Marinas* 21(2): 201-223.
- Bayne, B.L. 1976. *Marine Mussels: Their Ecology and Physiology*. Cambridge Univ. Press. UK. 293-356.
- Bardach, J.E., J.H. Ryther, y W.O. McLarney. 1972. *Aquaculture: The farming and husbandry of freshwater and marine organisms*. Wiley-Interscience, New York. 868 pp.
- Behrenfeld, M.J. y P. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42(1): 1-20.
- Benson, K.R. 2002. The study of vertical zonation on rocky intertidal shores a historical perspective. *Integr. Comp. Biol.* 42: 776–779.
- Blanchette, C.A., B.B. Broitman y S.D. Gaines. 2006. Intertidal community structure and nearshore oceanography around Santa Cruz Island, California, USA. *Marine Biology* 149: 689–701.

- Blanchette, C.A., Miner, C.M., Raimondi, P.T., Lohse, D., Heady, K.E., y B.R. Broitman. 2008. Biogeographic patterns of rocky intertidal communities along the Pacific coast of North America. *Journal of Biogeography*, 35: 1593–1607.
- Blanchette, C.A., Wieters E.A., Broitman B.R., Kinlan B.P. y D.R. Schiel. 2009. Trophic structure and diversity in rocky intertidal upwelling ecosystems: A comparison of community patterns across California, Chile, South Africa and New Zealand. *Prog Oceanogr* 83: 107–116.
- Bograd, S.J., Chereskin, T.K., y D. Roemmich. 2001. Transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California current system: annual cycle and interannual variability. *Journal of Geophysical Research*, 106: 9255–9275.
- Bograd, S.J. y R.J. Lynn. 2003. Long-term variability in the Southern California Current System. *Deep-Sea Res. II* 50: 2355–2370.
- Borquez, E. 1982. Estudio estacional de algas bentónicas desde Punta Santo Tomas hasta Punta China, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC. Ensenada, México.
- Broitman, B.R., Navarrete, S., Smith, F., y S.D. Gaines. 2001. Geographic variation in southern Pacific intertidal communities. *Mar Ecol Prog Ser* 224: 21–34.
- Broitman, B.R., C.A. Blanchette y S.D. Gaines. 2005. Recruitment of intertidal invertebrates and oceanographic variability at Santa Cruz Island, California. *Limnology and Oceanography* 50:1473-1479.
- Bustamante, R.H., Branch, G.M., Eekhout, S., Robertson B., Zoutendyk P., Schleyer M., Dye A., Hanekom N., Keats D., Jurd M. y C. McQuaid. 1995. Gradients of intertidal primary productivity around the coast of South Africa and their relationships with consumer biomass. *Oecologia* 102:189–201.
- Caley, M.J., M.H. Carr, M.A. Hixon, T.P. Hughes, G.P. Jones y B. A. Menge. 1996. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27:477–500.
- Carey, 2010. The Berwickshire and North Northumberland Coast European Marine Site <http://www.xbordercurrents.co.uk/key-features/rocky-reefs/>
- Caplan, R.I. y R.A. Boolootian. 1967. Intertidal ecology of San Nicolas Island. En: *Proceedings of the symposium on the biology of the California Islands* (Ed, por R.N. Philbrick) Santa Barbara Botanic Garden, Santa Barbara, CA. , 203-217 pp.
- Carpenter, S.R. 1996. Microcosm experiments have limited relevance for community and ecosystem ecology. *Ecology* 77: 677–680.

- Castilla, J.C. 1999. Coastal marine communities: trends and perspectives from human exclusion experiments. *Trends in Ecology and Evolution* 14:280–283.
- Chelton, D.B., Bernal, P. A., y J.A. McGowan. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California current. *Journal of Marine Research*, 40: 1095–1125.
- Chi-Barragán G. y F. García-Pámanes. 1983. Estudios preliminares sobre la biología, ecología y explotación comercial de *Mytilus californianus* en Baja California. Tesis de Licenciatura en Oceanología. ESCM-UABC. 180 pp.
- Clarke K.R. y R.N. Gorley. 2001. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. Plymouth Marine Laboratory UK. 91 pp.
- Clarke, K.R y R.M. Warwick. 2001. Change in marine communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd ed. Plymouth Marine Laboratory, UK. 17-17 pp w/ 3 apendices.
- Connolly, S.R. y J. Roughgarden. 1998. A latitudinal gradient in northeast pacific intertidal community structure: Evidence for an oceanographically based synthesis of marine community theory. *The American Naturalist*, vol 151 pp. 3511-326.
- Connolly, S.R. y J. Roughgarden. 1999a. Theory of marine communities: competition, predation, and recruitment-dependent interaction strength. *Ecol Monogr* 69:277–296.
- Connolly, S.R. y J. Roughgarden. 1999b. Increased recruitment of northeastern Pacific barnacles during the 1997 El Niño. *Limnol Oceanogr* 44:466–469.
- Connolly, S.R., Menge, B.A. y J. Roughgarden. 2001. A latitudinal gradient in recruitment of intertidal invertebrates in the northeast Pacific Ocean. *Ecology* 82:1799–1813.
- Curiel-Ramírez, S. 2005. Asentamiento y dispersión de *Mytilus galloprovincialis* y *Mytilus californianus* en condiciones naturales y de laboratorio. Tesis de Doctorado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.
- Daume, S., S. Brand-Gardner, y W.J. Woelkerling. 1999. Settlement of abalone larvae (*Haliotis laevis* Donovan) in response to non-geniculate coralline red algae (Corallinales, Rhodophyta). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 234: 125–143.

- Davidson, I.C., A.C. Crook, y D.K.A. Barnes. 2004. Quantifying spatial patterns of biodiversity: Is movement important? *Marine Ecology* 25:15–34.
- Davison, I.R. y R.H. Reed. 1985. The physiological significance of mannitol accumulation in brown algae: the role of mannitol as a compatible cytoplasmic solute. *Phycologia*: December 1985, Vol. 24, No. 4, pp. 449-457.
- Dayton, P.K. 1971. Competition, disturbance, and community organization: the provision and subsequent utilization of space in a rocky intertidal community. *Ecol. Monogr.* 41: 351–388.
- Dayton, P.K. y M.J. Tegner. 1984. The importance of scale in community ecology: a kelp forest example with terrestrial analogs. En: Price PW, Slobodchikoff CN, Gaud WS (eds) *A new ecology: novel approaches to interactive systems*. Wiley, New York, pp 457–481.
- Dring, M.J. y F.A. Brown. 1982. Photosynthesis of Intertidal Brown Algae During and After Periods of Emersion: A Renewed Search for Physiological Causes of Zonation *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 8: 301-308.
- Dudas, S.E., Grantham B.A., Kirincich A.R., Menge B.A., Lubchenco J. y J.A. Barth. 2009. Current reversals as determinants of intertidal recruitment on the central Oregon coast. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 396–407.
- Durazo, R, Baumgartner T.R., Bograd S.J., Collins C.A., de la Campa S, García J., Gaxiola-Castro G., Huyer A., Hyrenbach D., Loya D., Lynn R.J., Schwing F.B., Smith R.L., Sydeman W.J. y P. Wheeler. 2001. The state of the California Current 2000–2001: A third straight La Niña year. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 42: 29–60.
- Durazo, R. y T.R. Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Progr. Oceanogr.* 54: 7–31.
- Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B., Castro-Valdez, R., Gomez-Valdés, J. y Jr. AS. Mascarenhas. 2005. Oceanographic conditions west of the Baja California coast, 2002–2003: A weak El Niño and Subarctic water enhancement. *Cienc. Mar.* 31: 537–552.
- Durazo, R. 2009. Climate and upper ocean variability off Baja California, México: 1997–2008. *Progr. Oceanogr.* 83: 361–368.

- Durazo, R., Ramírez, A.M., Miranda, L.E., Soto-Mardones, L. 2010. Climatología de variables hidrográficas. En: Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.), Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California. Pp. 25–57
- Elvin, D.W. 1974. Ovogenesis in *Mytilus californianus*. PhD Thesis, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.
- Escofet, A y I. Espejel. 1999. Conservation and management oriented ecological research in the coastal zone of Baja California, México. *Journal of Coastal Conservation* 5:43- 50.
- Esqueda, M.C, Rios-Jara, E. y J.E. Michel-Morfin. 2000. The vertical distribution and abundance of gastropods and bivalves from rocky beaches of Cuastecomate Bay, Jalisco. México. *Rev. biol. trop*, vol.48, no.4: pp.765-775. ISSN 0034-7744.
- Farrell, T., D. M. Bracher, y J. Roughgarden. 1991. Crossshelf transport causes recruitment to intertidal populations in central California. *Limnology and Oceanography* 36: 279–288.
- Gaines, S.D. y J. Roughgarden. 1985. Larval settlement rate: a leading determinant of structure in an ecological community of the marine intertidal zone. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 82:3707-38711.
- Gaines, S.D., S. Brown y J. Roughgarden. 1985. Spatial variation in larval concentrations as a cause of spatial variation in settlement for the barnacle, *Balanus glandula*. *Oecologia* 67:267-272.
- Gaines, S.D. y K.D. Lafferty. 1995. Modeling the dynamics of marine species: the importance of incorporating larval dispersal, en: McEdward, L. *Ecology of marine invertebrate larvae*. CRC Marine Science Series, 6: pp. 389-412.
- Gaxiola-Castro, G., Durazo R., Lavaniegos B., De La Cruz Orozco M.E., Millan-Nuñez E., Soto-Mardones L. y J. Cepeda-Morales. 2008. Pelagic ecosystem response to interannual variability off Baja California. *Cienc. Mar.* 34: 263–270.
- Griffiths, C.L., McQuaid, C.D., Harris, J.M. y A.H. Dye. 2000. Functional ecosystems: Rocky shores. En: Summary Marine Biodiversity Status Report for South Africa. Durham, B.D. & Pauw, J.C. (eds). National Research Foundation, Pretoria.
- Grosberg, R.K. 1982. Intertidal zonation of barnacles: the influence of planktonic zonation on vertical distribution of adults. *Ecology* 63: 894–899.

- Guardado-France, R. 1997. Funcionalidad de las obras de protección costera construidas en la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada. 145 pp.
- Guichard, F., S.A. Levin, A. Hastings, y D. Siegel. 2004. Toward a dynamic metacommunity approach to marine reserve theory. *BioScience* 54:1,003–1,011.
- Guillemette, G.E. 1999. Stock assessment and management frameworks for the proposed fishery for sea mussels (*Mytilus californianus*) in British Columbia. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 99-116, 46 pp.
- Guiry, M.D. y G.M. Guiry. 2011. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>
- Hall, C. 1960. Displaced Miocene molluscan provinces along the San Andreas fault, California. *University of California Publications in Geological Sciences*, 34:281–308.
- Hall, C. 1964. Shallow water marine climates and molluscan provinces. *Ecology* 45(2):226-234.
- Hamilton, S., J. W. White, J. E. Caselle, S. E. Swearer, y R. R. Warner. 2006. Consistent long-term spatial gradients in replenishment for an island population of a coral reef fish. *Marine Ecology Progress Series* 306:247–256.
- Harger, J. 1972. Competitive co-existence: maintenance of interacting associations of the sea mussels *Mytilus edulis* and *Mytilus californianus*. *Veliger* 14:387– 410.
- Harmon, B. 2011. Biological illustrations. Pacific intertidal zone. http://www.harmonartillustrations.com/store/products/2_biological_illustration/page/2/56_pacific_intertidal_zone.
- Helmuth, B.S.T. y G.E. Hofmann. 2001. Microhabitats, thermal heterogeneity, and patterns of physiological stress in the rocky intertidal zone. *Biol. Bull.* 201: 374-384.
- Hickey, B.M. 1979. The California Current system-hypotheses and facts, *Prog. Oceanogr.* 8: 191-279.
- Hickey, B.M. 1998. Coastal oceanography of western North America from the tip of Baja California to Vancouver Island. En: Robinson AR, Brink KH (Eds.), *Coastal Segment, The Sea*, Vol 11. Wiley, New York. Pp. 345–391.

- Hubbs, C.L. 1948. Changes in the fish fauna of western North America correlated with changes in ocean temperature. *J. Mar. Res.* VII:459–482.
- Huyer, A. y R. L. Smith. 1985. The signature of El Niño off Oregon in 1982–83. *Journal of Geophysical Research*, 90:7133–7142.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1985. Cartas Geológicas del estado de Baja California (H00B01), escala 1:50,000: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, INEGI, 6 mapas.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS) on-line database, <http://www.itis.gov>. 2011.
- Lagos, N., Navarrete, S.A., Véliz, F., Masuero, A. y J.C. Castilla. 2005. Meso-scale spatial variation in settlement and recruitment of intertidal barnacles along the coast of central Chile. *Mar Ecol Prog Ser* 290:165–178.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1993. *Biological Oceanography: An Introduction*, Segunda Edición. 301 pp., Elsevier, New York.
- Lawton, J.H. 1999. Are there general laws in ecology? *Oikos* 84:177-192.
- Lewis, J.R. 1964. *The Ecology of Rocky Shores*. English Universities Press. London. 323 pp.
- Lewis, J.R. 1977. The role of physical and biological factors in the distribution and stability of rocky shore communities. In: Keegan, B.F., Ceidigh, P.O., Boaden, P.J.S. (Eds.), *Biology of Benthic Organisms*. 11th European Symposium of Marine Biology. Galway, October 1976. Pergamon Press, Oxford, pp. 417–423.
- Littler, M.M. y S.N. Murray. 1978. Influence of domestic wastes on energetic pathways in rocky intertidal communities. *J. Appl. Ecol.* 15:538-595.
- Littler, M.M. y D.S. Littler. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. - *Am. Nat.* 116: 2544.
- Littler, M.M., Martz, D.R., y D.S. Littler. 1983. Effects of recurrent sand deposition on rocky intertidal organisms: importance of substrate heterogeneity in a fluctuating environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11: 129–139.
- López, A.R. 2001. Comunidades de macrófitas en una franja del intermareal rocoso de Punta Cabras, B.C. y su relación con factores ambientales. Tesis de Maestría. FCM – UABC. Ensenada México.

- Lubchenco, J. y B.A. Menge. 1978. Community development and persistence in a low rocky intertidal zone. *Ecological Monographs* 48:67-94.
- Lynn, R.J. y J.J. Simpson. 1987. The California Current system: the seasonal variability of its physical characteristics. *J. Geophys. Res.* 92: 12947–12966.
- Lynn, R.J., Baumgartner, T., Collins, C. A., García, J., Hayward, T. L., Hyrenbach, K. D., Mantyla, A. W., y T. Murphree. 1998. The state of the California current, 1997–98: transition to El Niño conditions. *CalCOFI Reports*, 39: 29–49.
- Magurrán, A. E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement* (Croom Helm, London).
- Mancilla-Peraza, M., E. Palacios-Hernández y G. López-Castillo. 1993. Variabilidad hidrográficas de Bahía Sebastián de Vizcaíno, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3): 265-284.
- McPhaden, M.J., Zebiak, S.E. y M.H. Glantz. 2006. ENSO as an integrating concept in earth science. *Science* 314:1740–45.
- McQuaid, C.D. y T.E. Phillips. 2006. Mesoscale variation in reproduction, recruitment and population structure of intertidal mussels with low larval input: a bay/open coast comparison. *Mar Ecol Prog Ser* 327:193–206.
- Menge, B.A. 1976. Organization of the New England rocky intertidal community: role of predation, competition, and environmental heterogeneity. *Ecol. Monogr.* 46:355–393.
- Menge, B.A. y T.M. Farrell. 1989. Community structure and interaction webs in shallow marine hard-bottom communities: tests of an environmental stress model. *Adv. Ecol. Res.* 18:189–26.
- Menge, B.A., Daley, B.A., Wheeler, P.A., Dahlhoff, E., Sanford, E. y P.T. Strub. 1997a. Benthic–pelagic links and rocky intertidal communities: bottom-up effects on top-down control? *Proc Natl Acad Sci USA* 94:14530–14535.
- Menge, B.A., Daley, B.A., Wheeler, P.A. y P.T. Strub. 1997b. Rocky intertidal oceanography: an association between community structure and nearshore phytoplankton concentration. *Limnol Oceanogr* 42:57–66.
- Menge, B.A., B.A. Daley, J. Lubchenco, E. Sanford, E. Dahlhoff, P.M. Halpin, G. Hudson y L. Burnaford. 1999. Top-down and bottom-up regulation of New Zealand rocky intertidal communities. *Ecol. Monogr.* 69: 297-330.

- Menge, B.A. y G.M. Branch. 2001. Cap. 9. Rocky intertidal communities, pp 221-252. En: Bartness, M.D.; S.D. Gaines. y M. E. Hay [Eds.] Marine Community Ecology, Sinauer Associates, Inc. Publisher, Sunderland, Massachussets, USA. 550 pp.
- Menge, B. A., J. Lubchenco, M. E. S. Bracken, F. Chan, M. M. Foley, T. L. Freidenburg, S. D. Gaines, G. Hudson, C.Krenz, H. Leslie, D. N. L. Menge, R. Russell, and M. S.Webster. 2003. Coastal oceanography sets the pace of rocky intertidal community dynamics. Proceedings of the National Academy of Science (USA) 100:12229–12234.
- Menge, B.A., Blanchete, C., Raimondi, P., Freidenburg, T., Gaines, S., Lubchenco, J., Lohse, D., Hudson, G., Foley, M. y J. Pamplin. 2004. Species interaction strength: testing model predictions along an upwelling gradient. Ecological Monographs 74:663–684.
- Monje-Fernández, F. 1983. Experimentos sobre fijación de juveniles del mejillón *Mytilus californianus* en colectores artificiales y estudios de crecimiento para dos especies de mejillón (*M. californianus* y *M. edulis*) en cultivo experimental en la costa de Eréndira, Baja California, México. Tesis de Licenciatura en Oceanología. ESCM-UABC. 121 pp.
- Morris, R.H., D.P. Abbott, y E.C. Haderlie. 1980. Intertidal invertebrates of California. Stanford Univ. Press, Stanford, CA. 690 pp.
- Morse, A.N.C. 1992. Role of algae in the recruitment of marine invertebrate larvae. Pp. 385-403 in Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos, D. M. John. S. J. Hawkins and J. H. Price, eds. Systematics Assoc. Special Vol. 46. Clarendon Press, Oxford.
- Morse, A.N.C., y D. E. Morse. 1984. Recruitment and metamorphosis of *Haliotis* larvae are induced by molecules uniquely available at the surfaces of crustose red algae. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 75: 191-215.
- Murray, S.N. y M.M. Littler. 1989. Biogeographical analysis of intertidal macrophyte floras of southern California. Journal of Biogeography, 8:339-351.
- Navarrete, S.A. y J.C. Castilla. 1990. Barnacle walls as mediators of intertidal mussel recruitment: effects of patch size on the utilization of space. Mar Ecol. Prog. Ser. 68: 113-11.

- Navarrete, S. A., y B.A. Menge. 1996. Keystone Predation and Interaction Strength: Interactive Effects of Predators on Their Main Prey. *Ecological Monographs* 66:409–429.
- Navarrete, S. A., B. Broitman, E. A. Wieters, G. R. Finke, R. M. Venegas y A. Sotomayor. 2002. Recruitment of intertidal invertebrates in the southeast Pacific: inter-annual variability and the 1997–1998 El Niño. *Limnology and Oceanography* 47:791–802.
- Navarrete, S. A., B. R. Broitman, y B. A. Menge. 2008. Interhemispheric comparison of recruitment to intertidal communities: pattern persistence and scales of variation. *Ecology* 89:1308–1322.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) / Goddard Earth Sciences (GES) / Distributed Active Archive Center (DAAC). <http://daac.gsfc.nasa.gov/> , 2011.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/index.html>, 2011.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) / OAR/PMEL. Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA. <http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset>, 2011.
- Nielsen, K. y S. Navarrete. 2004. Mesoscale regulation comes from the bottom-up: intertidal interactions between consumers and upwelling. *Ecology Letters*, 7: 31–41.
- Olguín-Espinoza, I. 1983. Descripción de la larva del mejillón *Mytilus californianus* y estudio de su abundancia y distribución en la costa del ejido Eréndira, Baja California. Tesis de Licenciatura en Oceanología. ESCM-UABC. 73 pp.
- Pacheco-Ruíz, I. 1980. Algas pardas (feofitas) de la costa del Pacífico entre Bahía de Todos Santos y la frontera con Estados Unidos de América (E.U.A.). Tesis de Licenciatura, FCM-UABC. Ensenada, México. 51pp.
- Pacheco-Ruíz, I. y J.A. Zertuche-González. 1996. The commercially valuable seaweeds of the Gulf of California. *Bot. Mar.* 1: 201–206.

- Paine, R.T. 1974. Intertidal community structure. Experimental studies on the relationship between a dominant competitor and its principal predator. *Oecologia*, 15: 93- 120.
- Paine, R.T. 1976. Size-limited predation: An observational and experimental approach with the *Mytilus – Pisaster* interaction. *Ecology*, 57: 858-873.
- Paine, R.T., Castilla, J.C. y J. Cancino. 1985. Perturbation and recovery patterns of starfish-dominated intertidal assemblages in Chile, New Zealand, and Washington State. *American Naturalist*, 125: 679–691.
- Paine, R.T. 1990. Benthic macroalgal competition: complications and consequences. – *J. Phycol.* 26: 12–17.
- Paine, R. T. 2002. Trophic control of production in a rocky intertidal community. *Science* 296:736–739.
- Pfetzinger, J., D.B. Stengel, M.M. Cuffe, A.V. Savage y M. D. Guiry. 2000. Effects of temperature and prolonged emersion on photosynthesis, carbohydrate content and growth of the brown intertidal alga *Pelvetia canaliculata*. *Bot. Mar.* 43: 399-407.
- Pielou, E.C. 1977. *Mathematical ecology*. J. Wiley & Sons, New York, 385 pp.
- Pielou, E.C. 1979. *Biogeography*. Wiley-Interscience, New York.
- Pineda, J. 1991. Predictable upwelling and shoreward transport of planktonic larvae by internal tidal bores. *Science (Washington, D.C.)*, 253: 548–551.
- Pineda, J. 2000. Linking larval settlement to larval transport: assumptions, potentials, and pitfalls. pp. 61-81. In: *Oceanography of the Eastern Pacific*, J. Färber-Lorda, editor, CICESE, Ensenada.
- Pineda, J., N.B. Reyns y V.R. Starczak. 2009. Complexity and simplification in understanding recruitment in benthic populations. Biology Department, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA. USA.
- Polis, G.A. y S.D. Hurd. 1996. Linking marine and terrestrial food webs—allochthonous input from the ocean supports high secondary productivity at small islands and coastal land communities. *Am Nat* 147:396–423.
- Ramp, S. R., McClean, J. L., Collins, C. A., Semtner, A. J., y K. A. S. Hays. 1997. Observations and modeling of the 1991–1992 El Niño signal off central California. *Journal of Geophysical Research*, 102: 5553–5582.

- Ricketts, E.F., J. Calvin, J.W. Hedgpeth, y D.W. Phillips. 1985. *Between Pacific Tides*. Stanford University Press, Stanford, California. USA. 611 pp.
- Roden, G.I. 1971. Aspects of the transition zone in the Northeastern Pacific. *J. Geophys. Res.* 76: 3462–3475.
- Rojas-Guiot, P. y R. Santiago-Bravo. 1982. Determinación del ciclo reproductivo del mejillón *Mytilus californianus* en el Ejido Eréndira, Baja California. Tesis de licenciatura en Oceanología. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC. 46 pp.
- Roughgarden, J. e Y. Iwasa. 1986. Dynamics of a metapopulation with space-limited subpopulations. *Theoretical Population Biology*, 29:235.
- Roughgarden, J., Gaines, S. y H. Possingham. 1988. Recruitment dynamics in complex life cycles. *Science* 241:1460–1466.
- Salas, A. y A. Oliva. 1983. Características poblacionales del bivalvo *Mytilus californianus* y algunos aspectos sobre su comunidad en la costa de Eréndira, B. C. Tesis de Licenciatura en Oceanología ESCM-UABC. 183 pp.
- Santiago, R. 1982. Determinación del ciclo reproductivo del mejillón *Mytilus californianus* en el ejido Eréndira, Baja California. Tesis de Licenciatura en Oceanología ESCM-UABC. 46 pp.
- Schiel, D.R. 2004. The structure and replenishment of rocky shore intertidal communities and biogeographic comparisons. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 300:309–342.
- Shaw, W.N., T.J. Hassler y D.P. Moran. 1988. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Southwest)--California sea mussel and bay mussel. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(11.84). U.S. Army Corps of Engineers, TR EL-82-4. 16 pp.
- Shkedy, Y. y J. Roughgarden. 1997. Barnacle recruitment and population dynamics predicted from coastal upwelling. *Oikos* 80:487–498.
- Simpson, J.J. 1984. El Niño-induced onshore transport in the California current during 1982–1983. *Geophysical Research Letters*, 11: 241–242.
- Somero, G.N. 2002. Thermal physiology and vertical zonation of intertidal animals: optima, limits, and costs of living. *Integ. and Comp. Biol.*, 42, 780–789.

- Soto-Mardones, L., Parés-Sierra, A., García, J., Durazo, R. y S. Hormazabal. 2004. Analysis of the mesoscale structure in the IMECOCAL region (off Baja California) from hydrographic, ADCP and altimetry data. *Deep Sea Research II*, 51: 785-798.
- Steneck, R.S. y M.N. Dethier. 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos* 69: 476–498.
- Stephenson, T.A. y A. Stephenson. 1972. *Life Between Tidemarks On Rocky Shores*. Freeman, San Francisco, CA.
- Strathmann, M.F. 1987. *Reproduction and development of marine invertebrates of the northern Pacific coast*. University of Washington Press, Seattle, Washington, USA.
- Suchanek, T.H. 1978. The ecology of *Mytilus edulis* L. In exposed Rocky intertidal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 31:105–120.
- Suchanek, T.H. 1979. The *Mytilus californianus* community: Studies on the composition, structure, organization, and dynamics of a mussel bed. M.S. Thesis, University of Washington, Seattle, Washington, USA.
- Talley, L.D. 1993. Distribution and formation of the North Pacific Intermediate Water. *J. Phys. Oceanogr.* 23: 517–537.
- Tellez-García, G. 2003. Diseño preliminar de un rompeolas sumergido separado de la costa y su impacto potencial frente a los cantiles marinos de PM, Ensenada, Baja California, México. Tesis de Oceanología, Ensenada. 72.
- Thompson, R.C., T.P. Crowe, y S.J. Hawkins. 2002. Rocky intertidal communities: past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environmental Conservation* 29:168–191.
- Valentine, J.W. 1966. Numerical analysis of marine molluscan ranges on extratropical northeastern Pacific shelf. *Limnology and Oceanography*, 11: 198–211.
- Underwood, A.J. 1978. An experimental evaluation of competition between three species of intertidal gastropods. *Oecologia* 33:185–208.
- Underwood, A.J. 1981. Structure of a rocky intertidal community in New South Wales: patterns of vertical distribution and seasonal change. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 51:57–85.

- Underwood, A.J. y E.J. Denley. 1984. Paradigms, explanations and generalizations in models for the structure of intertidal communities on rocky shores. In *Ecological Communities: Conceptual Issues and the Evidence*, ed. DR Strong Jr, D Simberloff, LG Abele, AB Thistle, pp. 151–80. Princeton: Princeton Univ. Press
- Underwood, A.J. y M.G. Chapman. 1996. Scales of spatial patterns of distribution of intertidal invertebrates. *Oecologia* 107:212–224.
- Underwood, A.J. 1999. Physical disturbances and their direct effect on an indirect effect: responses of an intertidal assemblage to a severe storm. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 232: 125–140.
- Urbietta, E. 1982. Estudio estacional de las algas bentónicas de las costas del ejido Eréndira, B. C. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC. Ensenada, México.
- Young, R.T. 1946. Spawning and setting season of the mussel *Mytilus californianus*. *Ecology*, 27:354-363.
- Young, C.M. 1987. Novelty of “supplieside” ecology. *Science* 235:415–16
- Young, C.M. 1990. Larval ecology of marine invertebrates: a sesquicentennial history. *Ophelia* 32: 1-48.
- Zaytsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante O. y A. Gallegos-Garcia. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *J. Oceanogr.* 59: 489–502.