



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA DE LAS
COLONIAS REPRODUCTIVAS DE *Zalophus c.
californianus* EN EL GOLFO DE CALIFORNIA,
MEXICO**

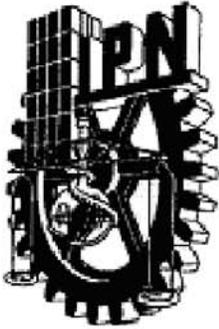
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

DIANA IRENE SZTEREN JEZIERSKI

LA PAZ, B.C.S., AGOSTO DE 2006.



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 3 del mes Julio del año 2006, el (la) que suscribe DIANA IRENE SZTEREN JEZIERSKI alumno(a) del Programa de DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS con número de registro A030430 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo al dirección de: DR. DAVID AURIOLES GAMBOA y cede los derechos del trabajo titulado: "REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA DE LAS COLONIAS REPRODUCTIVAS DE *Zalophus c. californianus* EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

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

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

DIANA IRENE SZTEREN JEZIERSKI

nombre y firma



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 21 del mes de Junio del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**"REGIONALIZACIÓN ECOLÓGICA DE LAS COLONIAS REPRODUCTIVAS
DE *Zalophus c. californianus* EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO"**

Presentada por el alumno:

SZTEREN Apellido paterno	JEZIERSKI materno	DIANA IRENE nombre(s)
Con registro:		
A	0	3
0	4	3
0		0

Aspirante al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS MARINAS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. DAVID AURIOLES GAMBOA

PRESIDENTE

DR. EVGUENI CHOUMILINE NIKOLAHYEVICH

SECRETARIO

DR. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN

SEGUNDO VOCAL

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ

TERCER VOCAL

DRA. LEAH RACHAEL GERBER

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



I. P. N.
CICIMAR
DIRECCION

Soy hija de forasteros y de una estrella del alba
Nieta de desterrados, una flor en esta tierra
Y de chica me enseñaron las pocas cosas que sé del amor y de la guerra
...Y si hay amor me dijeron, que la distancia se salva...
Ya estoy en la mitad de esta carretera, tantas encrucijadas quedan detrás
Ya está en el aire girando mi moneda... y que sea lo que sea
Todos los altibajos de la marea, todos los sarampiones que ya pase...
Y que sea lo que sea... y lo que no por algo será...
(Modificaciones mías de trozos de canciones de Jorge Drexler, un Uruguayo ganador)

Mi trabajo está dedicado...

a mis antecesores próximos, mis padres
Elías y Felisa y lejanos, abuelos Zeide
Marcos y Baba Kreine, Zeide Ruben y
Bobé Wigne, que sobrevivieron a la
persecución por su raza y sus ideas.

A Diego, por todo.

Y a toda la gente que lucha
honestamente, ojalá sean exitosos y
vivan dignamente.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a todos aquellos que hicieron que disfrute de cada etapa de mi Doctorado. En primer lugar a mi Director de Tesis, David Auriol, quien me incentivó, apoyó, confió en mí, y motivó en todo momento. Desde el día que me aceptó como su estudiante aún sin conocerme en Uruguay, hasta hoy. Gracias por Sarapicos, Gerónimo, el crucero por el Golfo, por Alaska, San Diego, Montevideo y los planes de futuro laboral. Por todos los momentos en los que discutimos resultados, divagamos sobre la suerte de los lobos y por tus enseñanzas. Ojalá siga trabajando contigo en el futuro (y viajando!... es lo más lindo que hay). En segundo lugar, mis padres... quienes nunca jamás dejaron de alentarme para que siguiera adelante, sintiéndose orgullosos de mí. Un pilar gigante y un ejemplo de lucha. Agradezco que desde bebé me repitieran miles de veces que debía estudiar y aprender inglés y que algún día se los iba a agradecer! A Laura, a quien no pude ver con panza y a Valentina. "SOMOS OPTIMISTAS, LUCHADORES, SUFRIDOS y FELICES!" dijo mi padre.

A mi familia adoptiva: mis suegros, cuñados y amigos: Lercari y Bernier, gracias a toooodos ellos!

Luego, a México lindo y querido, gracias a las facilidades que me brindó CICIMAR: buena onda, caras alegres, positivas, un grupo de investigación en lobos y amigos.

Agradezco a los integrantes de mi Comité Doctoral: Paco Arrequín, gracias por los ratos de ayuda y sugerencias sobre el mundo de la dinámica poblacional. Agradezco a Leah Gerber, que a pesar de la distancia aprendí sobre análisis de viabilidad poblacional y salió todo lo que es el primer capítulo de esta tesis y la publicación. Bernardo Shirasago, por enseñarme oceanografía del Golfo de California, sobre sensores remotos y por las charlas sobre Latinoamérica. Y gracias Shumilin por obligarme a aprender algo de química marina y por su orientación en mi despiste de la misteriosa alquimia de los metales. A todos ellos, les agradezco las sugerencias y correcciones que permitieron el mejoramiento de ésta tesis.

Mi agradecimiento a toda la gente que colectó las bases de datos que utilicé en ésta tesis, seguramente durante cálidas y cansadas salidas de campo.... Claudia Hernández y Conchita García (censos), Francisco García-Rodríguez (dieta), Sebastián Luque (condición corporal), Heidi Porras (dieta e isótopos estables) y Ceci Pedernera (Leptospira).

Gracias a Gustavo de la Cruz por su ayuda en estadística multivariada, a Jon Elorduy por ayudarnos enseñarnos a pensar, a mejorar nuestra redacción en español, las presentaciones

orales y por sus críticas en los Seminarios. César López por la colaboración con los mapas y a Humberto Ceseña por hacer lo burocrático divertido.

Las ayudas económicas fueron fundamentales: agradezco al Programa Interinstitucional de Formación de Investigadores (PIFI) por otorgarme becas de agosto 2004 a junio 2005, a cargo de Dr. Auriolés y de agosto 2005 a junio 2006, a cargo del Dr. Shumilin. La tercera es la vencida dicen, y por ello muchas gracias a LASPAU de la OEA, por la beca otorgada para mis estudios, desde junio de 2004 hasta julio de 2006. También agradezco un mini-grant que me concedieron de la Oak Foundation y Duke University, NC, USA. Gracias al Castor y la fundación Szteren-Jeziarski que me ayudaron financieramente durante el primer año del Doctorado.

A mis amigos de diferentes ondas y países, que compartieron estos tiempos e hicieron alegre mi vida. Gracias Paula y Diego por recibirnos en La Paz y en Casa Drácula, Todos Santos. A Gastón el uruguayo matero, que llegó para compartir asados, salidas a acampar y snorkeleos. Sandie, Xavier, Milena, Larisa, Ferh mis compañeros de laboratorio, horas de trabajo y dudas resueltas en grupo, además de fiestas, salidas y experiencias compartidas como extranjeros y amigos. Gracias Lari (loca!), la gran amiga que necesitaba... Vanessa, calladita pero presente. Clau! mi primera amiga en La Paz, gracias por tu apoyo y ayuda. Heidi, Chers, Mario y muchos otros compañeros del CICIMAR, por pláticas de pasillo y fiestas. Ticos no podían faltar... y aparecieron Farid y la Katia para llenarnos de carcajadas. Manuel, Gladis y Tere, Loren gracias por ofrecernos su amistad, fiestas, comilonas, idas a la playa y conversaciones. A todos mis amigos en Uruguay (y otros dispersos por el mundo) que no abandonaron el contacto conmigo, como Majo, Leti y flaco, Ceci Murrone, Ceci Lezama, el Mapi, la Bea, el Pupi, Yuyú, Chela, etcéteras.

Last but not least: al Castor... que realizó esta aventura conmigo entre miles de otras. Gracias mil por toda la paciencia que me tuviste, todos los malos humores que me aguantaste, nervios, inseguridades y demás. Te agradezco que hayas escuchado (varias veces) y sugerido en mis presentaciones y leído manuscritos, predoctoral, tesis, etc. Más que nada que hayas decidido embarcarte en esta vida conmigo.

INDICE

INDICE	6
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN	18
ABSTRACT	20
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	22
Consideraciones sobre el lobo marino de California.....	22
Justificación	27
HIPÓTESIS	28
OBJETIVOS.....	29
ÁREA DE ESTUDIO.....	30
Regionalizaciones del Golfo de California	32
Descripción de las colonias de lobo marino.....	36
METODOLOGIA GENERAL.....	39
Análisis estadísticos	40
Estrategia de investigación	41
CAPITULO 1 Estatus y tendencia poblacional de las colonias reproductivas de <i>Zalophus californianus</i> en el Golfo de California	43
1.1 Introducción	43
1.2 Metodología	44
1.3 Resultados.....	47
1.4 Discusión	51
CAPÍTULO 2 Regionalización de las colonias de lobo marino en el Golfo de California	56
2.1 Introducción	56
2.2 Concentración de metales en hueso de lobo marino	58
Resultados.....	61
Discusión	65
2.3 Variables ambientales alrededor de las colonias de lobo marino.....	68
Resultados.....	72
Discusión	77
2.4 Isótopos estables.....	79
Resultados.....	81
Discusión	83
2.5 Dieta de lobo marino.....	85
Resultados.....	87
Discusión	88

2.6 Condición corporal de crías de lobo marino	90
Resultados	91
Discusión	93
2.7 Patologías en cráneos de lobo marino	93
Obtención de datos y análisis	94
Resultados	94
Discusión	97
2.8 Presencia de serovariedades de <i>Leptospira</i> en lobo marino	98
Resultados	100
Discusión	103
2.9 Morbillivirus	105
Resultados	106
Discusión	106
2.10 Relación entre la tendencia y abundancia poblacional del lobo marino y las variables ecológicas	108
Resultados	108
2.11 Regionalización general de las colonias de lobo marino	109
Metodología	109
Resultados	111
2.12 Agrupación de las colonias de lobo marino que presentan ausencias de datos	115
2.13 Discusión	118
Relación entre variables ecológicas y la tendencia poblacional de las colonias de lobo marino	120
Aspectos Oceanográficos	121
CAPÍTULO 3 Evaluación del estado de salud de las colonias de lobo marino	123
3.1 Introducción	123
Metales	124
Morbillivirus	126
Diversidad de dieta	126
Condición corporal	127
Tendencia poblacional	128
Afecciones craneanas	129
3.2 Metodología	130
Estado de salud por zona	134
Estado de salud y abundancia y tendencia poblacional de las colonias	135
3.3 Resultados	135
3.5 Discusión	140
DISCUSIÓN GENERAL	143
Estructuración de poblaciones y filopatría	144
CONCLUSIONES	149
RECOMENDACIONES DE MANEJO	151
Recomendaciones para cada grupo de colonias	151
Recomendaciones generales	152

BIBLIOGRAFÍA	154
ANEXOS	174
Anexo 1	175
Anexo 2	176
Anexo 3	177
Anexo 4	178
Anexo 5	179
Anexo 6	180

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación y características generales de las 13 colonias reproductivas del lobo marino de California en el Golfo de California (Referencias: Los Islotes (SEMARNAP, 2000), San Jorge (Romero-Saavedra, 2000) y las restantes de Zavala (1993)).....	36
Tabla 2. Matriz de distancias entre colonias de lobo marino de California en el Golfo de California (ordenadas de sur a norte).	38
Tabla 3. Bases de datos y variables de las poblaciones de lobo marino en el Golfo de California, a utilizar en este estudio.	39
Tabla 4. Número de crías y población total de <i>Zalophus californianus</i> en cada colonia reproductiva en el Golfo de California en el último año de censos, y porcentaje de incremento o declinación desde Auriolles-Gamboa & Zavala-González (1994).	48
Tabla 5. Regresiones entre la abundancia (total y de crías) en el tiempo (en años) de cada colonia reproductiva de lobo marino en el Golfo de California. n es el número de años de datos de censos poblacionales disponible.....	49
Tabla 6. Resultados del análisis de viabilidad poblacional de cada colonia reproductiva de lobo marino en el Golfo de California.	50
Tabla 7. Concentración promedio de los metales en estudio, forma química en que se encuentran en el agua marina (Chester, 2003) y concentración de algunos de ellos en el agua superficial del Golfo de California.	59
Tabla 8. Contenido promedio (mg/kg) de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, mercurio, hierro, níquel, plomo, selenio y zinc en bula timpánica de lobos marinos en 10 colonias del Golfo de California.	64
Tabla 9. Características de los dos satélites con sensores remotos de los cuales se obtuvieron datos para en éste estudio.	70
Tabla 10. Número de cráneos positivos y prevalencia (P) de la osteoartritis (OA) y osteomielitis (OM), número total de cráneos examinados (n) en cada colonia de lobo marino.	95
Tabla 11. Promedio de reacciones positivas (PRP), porcentaje de reacciones positivas (%TRP) y número total de serovariedades de <i>Leptospira</i> spp. halladas en 11 colonias de lobo marino en el Golfo de California.....	101
Tabla 12. Agrupamiento de las colonias de lobo marino con base en su tendencia poblacional y abundancia total y de crías.	109
Tabla 13. Posibles configuraciones de agrupamiento de las colonias Isla Lobos, El Partido y El Rasito en los grupos Norte, Angel de la Guarda o Centro.....	116

Tabla 14. Concentración promedio de los tres metales más tóxicos empleados en el análisis de salud y calificación obtenida para cada colonia de lobo marino, de acuerdo al nivel medio y los límites de confianza.....	131
Tabla 15. Prevalencia de las afecciones craneanas y calificación resultante para cada colonia de lobo marino de California.	132
Tabla 16. Diversidad de dieta (índice de Shannon, H') para cada colonia de lobo marino de California y calificación resultante. 1 es máxima diversidad y 4 es mínima diversidad.	133
Tabla 17. Factor de condición de Fulton promedio en cada colonia de lobo marino de California para tres años de estudio y calificación del promedio.	134
Tabla 18. Calificaciones finales asignadas para cada colonia de lobo marino de California con base en su nivel de metales pesados, afecciones craneanas, <i>Morbillivirus</i> , tendencia poblacional, diversidad, y condición corporal.	136
Tabla 19. Calificaciones optimistas y pesimistas para cada colonia de acuerdo a las distintas variables analizadas.	137
Tabla 20. Calificaciones promedio obtenidas para cada colonia con base en su nivel de metales, condición corporal, diversidad de dieta, <i>Morbillivirus</i> y afecciones craneanas.	140

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las colonias reproductoras de lobo marino en el Golfo de California. 1. Rocas Consag; 2. Isla San Jorge; 3. Isla Lobos; 4. Isla Granito; 5. Los Cantiles; 6. Los Machos; 7. El Partido; 8. El Rasito; 9. San Esteban; 10. San Pedro Mártir; 11. San Pedro Nolasco; 12. Farallón de San Ignacio; 13. Los Islotes.....	23
Figura 2. Mapa batimétrico del Golfo de California mostrando la ubicación de las sub-cuencas.	30
Figura 3. Regionalizaciones del Golfo de California según su productividad primaria.....	35
Figura 4. Resultados de los tratamientos estadísticos de la concentración promedio de As, Co, Hg y Ni en bula timpánica en 10 colonias de lobo marino: a) Análisis de clasificación (cluster); b) Análisis de componentes principales.....	62
Figura 5. Regionalización indicada por el contenido de As, Co, Hg y Ni en bula timpánica de lobos marinos pertenecientes a 10 colonias en el Golfo de California.	63
Figura 6. Áreas alrededor de las 13 colonias reproductivas de donde se obtuvieron los datos: a) Concentración de clorofila 'a' (imagen SeaWiFS) y b) Temperatura superficial del mar (imagen AVHRR).	71
Figura 7. Temperatura superficial del mar promedio (6 años) para los alrededores de cada colonia de lobo marino en el Golfo de California, en invierno.....	73
Figura 8. Resultados de los análisis estadísticos para regionalizar las colonias de lobo marino según la temperatura superficial del mar en los alrededores de cada colonia: a) Análisis de agrupamiento y b) Análisis de componentes principales.....	73
Figura 9. Concentración de clorofila 'a' promedio (5 años) para los alrededores de cada colonia de lobo marino en el Golfo de California, en invierno.....	74
Figura 10. Resultados de los análisis estadísticos para regionalizar las colonias de lobo marino según la concentración de clorofila 'a' en los alrededores de cada colonia: a) Análisis de agrupamiento; b) Análisis de componentes principales.....	75
Figura 11. Resultados de los análisis estadísticos para regionalizar las colonias de lobo marino de California de acuerdo con las variables ambientales (TSM y clorofila 'a'): a) Análisis de clasificación y b) Análisis de ordenación de componentes principales.....	76
Figura 12. Mapa mostrando la regionalización indicada por las variables ambientales.....	77
Figura 13 a). Promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en pelo de crías en las colonias reproductivas de lobo marino en el Golfo de California. Las columnas en blanco representan $\delta^{13}\text{C}$ y las columnas en negro representan $\delta^{15}\text{N}$. b). Valor promedio y desvío estándar de los	

isótopos de carbono y nitrógeno.....	82
Figura 14. Análisis de agrupamiento de las colonias de lobo marino en el Golfo de California utilizando las razones de isótopos estables de carbono y nitrógeno.....	83
Figura 15. Mapa mostrando las agrupaciones resultantes con base en los isótopos de carbono y nitrógeno en las 13 colonias de lobo marino.....	84
Figura 16. Diversidad de dieta medido con el índice de Shannon en las colonias de lobo marino de California, ordenadas de norte a sur.....	88
Figura 17. Mapa mostrando las agrupaciones resultantes de colonias reproductivas de lobos marinos en el Golfo de California con base en la diversidad de dieta.....	89
Figura 18. Resultado del análisis estadístico para el tratamiento de los datos del factor de condición de Fulton en crías del lobo marino de California, a) 1996, b) 1997 y c) 1998.....	92
Figura 19. Resultado del análisis de agrupamiento de colonias de lobo marino en el Golfo de California con base en la prevalencia de osteoartritis y osteomielitis.....	96
Figura 20. Mapa mostrando las agrupaciones resultantes de colonias reproductivas de lobos marinos con base en las afecciones craneanas.....	97
Figura 21. Número de serovariedades y promedio de reacciones positivas (PRP) detectadas en cada colonia de lobo marino en el Golfo de California. Las barras representan el número de serovariedades y los puntos el promedio de reacciones positivas en cada localidad.....	101
Figura 22. Análisis de agrupamiento de las 13 serovariedades de <i>Leptospira</i> spp. (según Pedernera, 2004).....	102
Figura 23. Mapa de las colonias de lobo marino en el Golfo de California mostrando los agrupamientos resultantes del análisis de serovariedades de <i>Leptospira</i> spp.....	103
Figura 24. Incidencia de <i>Morbillivirus</i> sp. en 11 colonias de lobo marino en el Golfo de California.....	107
Figura 25. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	111
Figura 26. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, ambientales, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, <i>Leptospira</i> y metales.....	112
Figura 27. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando todas las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, ambientales, metales, <i>Leptospira</i> y osteoartritis.....	113
Figura 28. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables:	

tendencia poblacional, diversidad de dieta, ambientales, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ y osteoartritis.....	114
Figura 29. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: ambiente, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	115
Figura 30. Análisis canónico asociado al análisis discriminante entre los 4 grupos de colonias propuestos, a) con las variables: tendencia, diversidad de dieta, isótopos estables y ambiente; b) con las variables: metales, osteoartritis y ambiente.	117
Figura 31. Regionalización general de las colonias reproductivas del lobo marino de California en el Golfo de California.	118
Figura 32. Gráfico de las calificaciones finales para cada colonia de lobo marino de California con base en la concentración de metales, afecciones craneanas, <i>Morbillivirus</i> , tendencia poblacional, diversidad de dieta y condición corporal, a) escenario optimista y b) escenario pesimista.	138
Figura 33. Gráfico mostrando las calificaciones finales para cada región de colonias de lobo marino de California con base en la concentración de metales, afecciones craneanas, <i>Morbillivirus</i> , tendencia poblacional, diversidad de dieta y condición corporal.	139

GLOSARIO

Análisis multivariado: métodos estadísticos que facilitan el análisis de datos de más de dos variables independientes y/o dependientes correlacionadas con otra con grados diferentes de variación.

Clorofila: grupo de pigmentos fotosintéticos presente en los cloroplastos de las plantas. Es capaz de transformar la energía de la luz solar en energía química a través del proceso de fotosíntesis.

Corriente de marea: movimiento horizontal alternante del agua asociado con el ascenso y descenso del nivel del mar, causado por la marea astronómica. En regiones costeras la alternancia de las corrientes de marea está dominada por la topografía.

δ delta: notación utilizada para expresar las diferencias relativas en las razones isotópicas entre una muestra y un estándar, expresada en partes por mil (‰).

Diversidad de dieta: medida de los ítems alimentarios que considera la riqueza y abundancia de las presas consumidas por un depredador.

El Niño (ENOS): evento oceanográfico y atmosférico que tiene lugar en el Océano Pacífico tropical Oriental, donde ocurre un incremento de la temperatura de la capa superficial del agua de mar y disminuyen las surgencias.

Endémico: especie perteneciente, nativa o restringida a cierta región.

Epizootia: enfermedad contagiosa que afecta a un número inusual de animales al mismo tiempo y lugar y se propaga con rapidez.

Estructura genética: de una especie es la cantidad y distribución de la variación genética dentro y entre poblaciones de dicha especie. Está determinada por la historia

evolutiva de esa población y va a ser consecuencia de las interacciones entre los 5 factores que condicionan la evolución de las poblaciones: mutación, deriva genética, flujo génico, sistema de reproducción y selección natural.

Filopatría: (“apego al sitio”) tendencia de los individuos a regresar o permanecer en su localidad natal para reproducirse o mudar, a lo largo de su vida.

Forzamiento: fuerza o impulso que al aplicarse a un fluido, provoca alguna reacción. El viento que sopla sobre la superficie del mar es un forzamiento que induce algún movimiento en el fluido.

Fraccionación isotópica: cambios en la señal isotópica entre la dieta y los tejidos del consumidor debido a la diferencia de asimilación bioquímica de los diferentes componentes de la dieta con señales isotópicas diferentes, así como por una discriminación isotópica.

Isótopo: átomo de un elemento que tiene igual número atómico pero diferente número másico (de neutrones).

Isótopo estable: isótopo que no muestra tendencia a desintegrarse emitiendo partículas o radiación electromagnética.

Lactancia: período de amamantamiento de las hembras hacia sus crías.

Metales: material que se caracteriza por conducir el calor y la electricidad, tienen entre 1 y 3 electrones de valencia, átomos poco electronegativos y baja energía de ionización.

Metales pesados: elementos metálicos con alto peso específico y densidad. Muchos de los metales que tienen una densidad alta no son especialmente tóxicos, algunos son elementos esenciales que a determinadas concentraciones puedan ser tóxicos en

alguna de sus formas.

Osteoartritis= artritis degenerativa: tipo de artritis en donde el cartílago se está deteriorando o desprendiendo. Esto permite que los huesos froten entre sí causando dolor y rigidez, también limita los movimientos articulares.

Osteomielitis: infección ósea aguda o crónica causada generalmente por bacterias u hongos.

Pelágico: división primaria del océano, que incluye prácticamente toda el agua oceánica, excepto la capa más cercana al fondo marino, la zona costera y la superficie del océano.

Poliginia: sistema de apareamiento de algunas especies de animales donde los machos se aparean con más de una hembra durante la temporada reproductiva.

Productividad: La productividad primaria regional de los océanos se mide por el crecimiento y la reproducción de algas y otras plantas el crecimiento es el resultado de una compleja combinación de alimentos disponibles, luz y temperatura. El océano, y por consiguiente las plantas que crecen en él, responden a las condiciones meteorológicas locales, como la velocidad del viento, la nubosidad y la luz solar incidente. La producción primaria es sólo la primera de las varias etapas por las que pasa la transformación de los nutrientes y el dióxido de carbono en los elementos constitutivos de células vivas.

Percepción remota: es la técnica que permite adquirir datos o información de la superficie terrestre, desde sensores instalados en plataformas espaciales, existiendo entre la tierra y el sensor una interacción energética, ya sea por reflexión de la luz solar o emisión propia.

Serovariedad: es un grupo de microorganismos basados en los antígenos de la superficie celular, que permiten clasificar los organismos a nivel de subespecie. Según las características antigénicas de su membrana externa, las leptospiras se clasifican en serovariedades que se agrupan en serogrupos basados en su grado de reactividad antigénica cruzada. Generalmente cada serovariedad es específica y está adaptada a una especie hospedera.

Surgencia: ascenso de aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes, causando el desplazamiento de las aguas superficiales, en zonas restringidas del océano. Las surgencias más importantes ocurren en las zonas costeras y son provocadas por vientos que soplan paralelos a la misma, provocando un transporte de agua a la derecha de la dirección del viento en el hemisferio norte y a la izquierda en el sur.

Viaje de alimentación: en los Pinnípedos implica la búsqueda, captura y consumo de presas, interrumpido por un período en tierra para reproducirse, amamantar o mudar.

RESUMEN

Existen 13 colonias reproductivas del lobo marino (*Zalophus c. californianus*) en el Golfo de California, de las cuales 6 han reflejado la existencia de tres grupos genéticamente diferentes, Norte, Centro y Sur. Hasta el momento la población del lobo marino en México se ha tratado como una unidad, por lo que resulta necesario implementar medidas de conservación y manejo diferencial. El presente estudio propone: 1) realizar una regionalización ecológica de las colonias de lobo marino en el Golfo de California, y 2) analizar variables relacionadas con la vulnerabilidad de la población del lobo marino, para definir áreas críticas de la población en el Golfo de California, que requieran mayor atención. Se analizaron 11 bases de datos ecológicas y biológicas: censos poblacionales, contenido de metales en hueso, *Leptospira* spp., isótopos estables ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$), *Morbillivirus* sp., afecciones craneanas, dieta, condición corporal de crías y dos variables ambientales. Las bases de datos fueron organizadas y depuradas, seleccionándose las variables más explicativas. Luego se exploró el patrón geográfico de cada base de datos, recopilando la estructura regional hallada en otros estudios y utilizando análisis multivariados.

La tendencia poblacional y un análisis de viabilidad poblacional, permitieron clasificar las colonias en tres grupos: en aumento, en disminución y fluctuando. La población total en el Golfo decreció 21% en los últimos 10 años. Las colonias que decrecieron más significativamente se encuentran en la zona de las grandes islas, lo que podría estar asociado con la abundancia de sardina en el área. Con respecto al patrón geográfico de las restantes bases de datos, los análisis multivariados sugirieron que los lobos marinos estarían estructurados entre 2 y 3 grupos de colonias. Según el ambiente y leptospira, las colonias del norte se asocian con las del centro, mientras que el sur formaría otro grupo. Tanto el nivel de metales como la dieta agruparon las colonias del centro con las del sur y el norte se separó como grupo independiente. Las afecciones craneanas y los isótopos también definieron una zona centro-sur y dos grupos en el norte (noreste y noroeste). La presencia de *Morbillivirus* delimitó dos zonas: una al noroeste y otra en el noreste junto con el centro y finalmente la condición de crías no mostró un patrón regional claro.

A fin de examinar la regionalización general de las colonias, se realizaron varios

ensayos estadísticos utilizando diferentes combinaciones de variables y colonias. Estas indicaron la separación de las colonias en cuatro grupos: Norte, Ángel de la Guarda, Centro y Sur del Golfo. Las agrupaciones resultantes presentan coherencia geográfica y se corresponden con las unidades genéticas y con las regionalizaciones oceanográficas del Golfo de California. Por otro lado, se realizó una calificación del estado de salud de las colonias en base a un sistema de puntuaciones comparativas empleando 6 variables (tendencia poblacional, contenido de metales, diversidad de dieta, condición corporal de crías, *Morbillivirus* y afecciones craneanas). Se calculó también la calificación promedio que presenta cada grupo de colonias según la regionalización ya definida. El estado de salud fue peor en la región Ángel de la Guarda, malo en el Norte, decreciendo en el Centro y Sur del Golfo de California.

ABSTRACT

There are 13 California sea lion (*Zalophus c. californianus*) rookeries in the Gulf of California, from which 6 of them are structured in three genetically different groups: North, Center and South. Thus far, California sea lions in Mexico are considered one panmictic population, which suggests the need to establish conservation and management measures on a site-specific basis. The aims of this study were to: 1) determine an ecological regionalization of sea lion rookeries the Gulf of California, and 2) analyze variables related to population vulnerability for sea lions in order to identify critical areas for conservation that would need further attention in the Gulf of California. Eleven ecological and biological databases were analyzed: population censuses, metal levels in bone, *Leptospira* spp., stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$), *Morbillivirus* sp., skull pathologies, diet, pups body condition, and two environmental variables. Databases were organized and simplified, by selecting the most explanatory variables. We then explored the geographic pattern of each database, by gathering the regional structure defined in other studies and using multivariate analysis.

The population trend and a population viability analysis, classified the rookeries into three groups: those increasing, decreasing and fluctuating or stable. The whole sea lion population of the Gulf declined 21% in the last 10 years. Rookeries that showed the greatest declines are located in the Midriff area, suggesting a possible association with Pacific sardine abundance variation in the area. Multivariate analyses of other available databases suggest that sea lions are structured in 2 and 3 groups of rookeries.

Environmental variables and *Leptospira* suggested a similarity between northern rookeries and those in the central Gulf, while the south separated as a different group. The metal level and diet suggested that northern rookeries are independent, and the central area is similar to southern sites. Skull pathologies and stable isotopes defined a central-south group, and two north groups (northeast and northwest). *Morbillivirus* delimited two areas, northwest and northeast together with center, and pups body condition did not reflect a clear regional pattern.

To examine the overall structure for sea lions in the Gulf of California, we analyzed data for different combinations of variables and rookeries. These evaluations suggested the

separation of four groups of sea lion rookeries: northern, Ángel de la Guarda Island, center and southern Gulf. The resulting regions show geographic coherence, and correspond with the genetic units and with oceanographic regions of the Gulf of California. Finally, we developed a classification of the rookeries according to their health status, based on a comparative qualification system using 6 variables (population trend, metal levels, diet diversity, body condition, *Morbillivirus* and skull pathologies). Then we calculated the mean qualification for each of the four regions. The health status was worst in Ángel de la Guarda region, bad in the north, decreasing in the central and southern Gulf.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Consideraciones sobre el lobo marino de California

El lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*) se distribuye en aguas templadas y subtropicales desde la Columbia Británica (costa suroeste de Canadá, 51° de latitud norte) a la costa suroeste de México (19° latitud norte). Las áreas reproductivas se ubican desde las islas de Canal (California) hasta la Isla Santa Margarita en la costa occidental de Baja California (México) (Lowry *et al.*, 1992). La población global de la especie fue estimada entre 237,000 y 244,000 animales (Carretta *et al.*, 2003). En México el lobo marino es el pinnípedo más abundante y de amplia distribución, siendo la única especie que habita permanentemente el Golfo de California, donde a mediados de los 90 el tamaño poblacional era de entre 25 y 30 mil individuos (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994). La población del lobo marino en el Golfo de California está repartida en 13 colonias reproductivas: Consag (Con), San Jorge (SJ), Isla Lobos (Lob), Granito (Gra), Los Cantiles (Can), Los Machos (Mac), El Partido (Par), El Rasito (Ras), San Esteban (SE), San Pedro Mártir (SPM), San Pedro Nolasco (Nol), Farallón de San Ignacio (FSI), Los Islotes (Isl) (Figura 1).

El lobo marino de California es una especie poligínica que lleva a cabo su reproducción en tierra. La duración de la estación reproductiva es aproximadamente de 10 semanas (Odell, 1975; García-Aguilar & Aurioles-Gamboa, 2003). Los machos establecen y defienden territorios y luego arriban las hembras, para dar a luz un cachorro cada año (Peterson & Bartholomew, 1967; Heath, 1989). Los nacimientos comienzan a fines de mayo y se extienden hasta fines de junio y las cópulas ocurren entre 15 y 21 días después (inicios de junio a fines de julio). Unos 5 días después del parto las hembras comienzan sus viajes de alimentación, regresando a estos territorios aproximadamente cada 1.7 a 2 días para amamantar a sus crías (Heath, 1989; García-Aguilar & Aurioles-Gamboa, 2003). El período de lactancia dura de 6 meses hasta un año habitualmente, aunque puede prolongarse aún más (Morales-Vela & Aguayo-Lobo, 1991; Newsome *et al.*, en prensa). Los machos se mantienen asociados a tierra durante la etapa reproductiva y posteriormente se mueven, para regresar antes

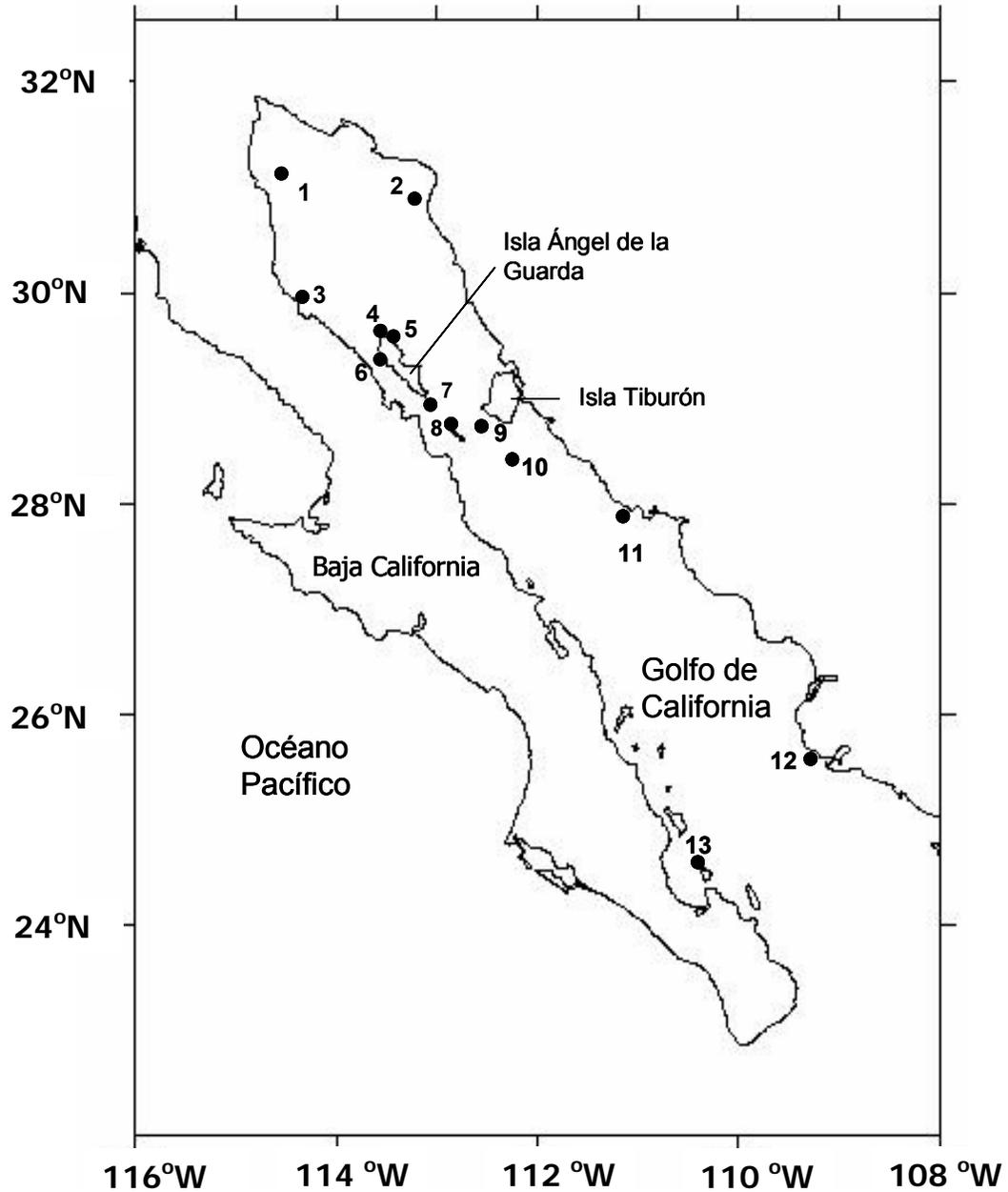


Figura 1. Ubicación geográfica de las colonias reproductoras de lobo marino en el Golfo de California. 1. Rocas Consag; 2. Isla San Jorge; 3. Isla Lobos; 4. Isla Granito; 5. Los Cantiles; 6. Los Machos; 7. El Partido; 8. El Rasito; 9. San Esteban; 10. San Pedro Mártir; 11. San Pedro Nolasco; 12. Farallón de San Ignacio; 13. Los Islotes.

del próximo período reproductivo. Estas migraciones pueden ser relativamente largas, se ha encontrado que animales del sur del Golfo de California llegan a la costa de

California, Oregon y Washington en Estados Unidos (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1983).

En las loberías del Golfo de California las hembras son filopátridas debido a que la prolongada lactancia (uno a tres años), las obliga a permanecer en las áreas reproductivas durante todo el año y en el caso de tener crías consecutivas, este período se extiende por largo tiempo. Por ejemplo, Hernandez-Camacho (2001) a través de un estudio de marcaje y recaptura en la colonia Los Islotes, reporta que muchos individuos de ambos sexos marcados de crías, regresaban cada año y reproducían de adultos. Se ha encontrado que muchos machos regresan a estos mismos territorios en varias temporadas sucesivas (Heath, 1989).

Estudios genéticos han establecido que las colonias del Golfo de California y las del Pacífico se encuentran aisladas. Mediante la secuenciación de un fragmento del ADN mitocondrial del citocromo b, Maldonado *et al.* (1995) indicó que individuos de la región central del Golfo de California poseían una región de control única en sus genotipos, que no se encontró en animales de la costa del Pacífico. La extensión de la divergencia en la región de control entre ambos genotipos sugiere que las hembras no migran entre ambas regiones. Las causas que inhibirían estas migraciones podrían ser factores etológicos, como la filopatría (Maldonado *et al.*, 1995). Recientemente, Schramm (2002) encontró que la población del lobo marino está genéticamente estructurada en 4 grupos: uno en la costa del pacífico y tres dentro del Golfo de California: uno en el norte (San Jorge), otro en el centro (Lobos, Granito, Cantiles y San Esteban) y otro en el sur (Los Islotes). La diversidad genética fue mayor en el norte y menor en el sur, lo que podría significar la mayor permanencia de individuos en el norte. El movimiento de individuos con efecto en el intercambio genético (reproductivos) entre colonias es muy bajo. También se sugiere que es poco probable que animales jóvenes de ambos sexos se reproduzcan en una lobería diferente a la natal y si ocurre, es probable que la nueva lobería se encuentre cercana (Schramm, 2002).

Esta diferenciación entre grupos implica que estos deben considerarse como distintas unidades en cuestiones de manejo (Schramm, 2002). Una unidad de manejo se define como una población que presenta una divergencia significativa en las frecuencias alélicas, en loci nucleares o mitocondriales (Moritz, 1994). El

reconocimiento de las unidades es fundamental para un manejo apropiado, porque estas son adecuadas para monitorear una población y realizar estudios demográficos.

A consecuencia de la alta filopatría, es posible predecir que con el tiempo se han establecido áreas de alimentación específicas de cada colonia o grupo de colonias, donde los animales tendieron a la segregación geográfica y después de miles de años puedan generar una diferenciación genética. Así, la prolongada lactancia sería la causa primaria de la diferenciación genética, mientras que la filopatría y los hábitos alimentarios específicos por colonia, serían las causas secundarias (Hernández-Camacho, 2001).

Actualmente las poblaciones de lobo marino están protegidas en México y Estados Unidos (Mate, 1982). La especie se encuentra en la categoría 1 “no amenazado” en el Libro Rojo Internacional y en la legislación nacional, está listada como “sujeta a protección especial” NOM-059-ECOL-1994 (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1998). En el Golfo de California la población del lobo marino se encuentra amparada desde 1963 porque las islas del Golfo de California han sido declaradas “zona de reserva y refugio de aves migratorias y fauna silvestre”. Desde el año 2000 esta zona se declaró “Área de Protección de Flora y Fauna, Islas del Golfo de California (SEMARNAP, 2000).

Dado que el lobo marino de California es un depredador de alto nivel trófico, constituye una especie altamente visible que cumple un papel importante en el mantenimiento de la estructura y dinámica del medio en que habita (Le Boeuf *et al.*, 1983). Es reconocido como una especie apropiada para registrar condiciones del ecosistema, siendo bio-indicador de características ambientales específicas (como contaminación, presencia de ciertas presas, productividad) (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2000).

Por su elevado gregarismo, los Pinnípedos son vulnerables a epidemias infecciosas que pueden ocasionar mortalidades masivas y afectar la abundancia y reproducción de sus poblaciones. Por ejemplo, el *Morbillivirus* ha causado al menos 8 mortalidades masivas de focas y lobos marinos (Di Guardo *et al.*, 2005) y la leptospirosis en lobo marino de California ha causado mortalidades en California y Oregon (Vedros *et al.*, 1971). Asimismo los niveles de contaminación pueden causar

afecciones, problemas fisiológicos o la muerte de los Pinnípedos (Reijders, 1988). En éste sentido, un análisis del estado de salud de las colonias resulta de fundamental relevancia porque una epizootia podría ser un factor muy importante en la viabilidad futura de una población, particularmente si se encuentra aislada, ya que podría afectar el éxito reproductivo y la supervivencia de todas las clases de edad (Aurióles-Gamboa *et al.*, 1998).

Con base en las unidades genéticas definidas por Schramm (2002), es de suponer que otras características biológicas de las colonias de lobos marinos también difieran. En los últimos años el Laboratorio de Ecología de Mamíferos Marinos del CICIMAR ha desarrollado una serie de estudios, varios trabajos de tesis y publicaciones relativas a la biología y ecología del lobo marino en el Golfo de California. Estas investigaciones han generado bases de datos históricas de distintas variables que han mostrado claras tendencias a formar agrupaciones geográficas. En este trabajo se pretende utilizar bases de datos de significancia ecológica, ambiental y de salud de las colonias reproductivas de *Zalophus californianus* con el fin de examinar su agrupación en áreas o unidades de manejo. Se espera que estas áreas tengan correspondencia con el arreglo genético ya descrito, y que puedan utilizarse en futuros planes de manejo a fin de enfocar futuras regulaciones, de acuerdo con las características o problemas concretos que afecten a cada región.

Justificación

La existencia de tres grupos genéticamente diferentes en el Golfo de California (Schramm, 2002) implica que en el contexto de manejo y conservación las poblaciones de *Z. californianus* deberían ser tratadas como unidades evolutivamente independientes debido a que constituyen poblaciones separadas genéticamente (Maldonado *et al.*, 1995; Schramm, 2002). Hasta el momento, para fines de conservación la población de lobo marino en México se ha tratado como una sola unidad. Sin embargo, el reconocimiento de que la población del Golfo de California es un grupo reproductor diferente, implica que este grupo es exclusivo de México por lo que la responsabilidad de la conservación de esta unidad genética también es exclusiva del país y enfatiza la necesidad de implementar medidas para su conservación (Aurióles-Gamboa *et al.*, 1998). Así, la regionalización puede ser una herramienta que permita establecer grupos de colonias como unidades poblacionales diferentes, en cuanto a parámetros ecológicos y biológicos. De este modo su conservación será más eficiente, al proveer las bases para un manejo adecuado. Con la regionalización se podrán definir áreas dentro del golfo que requieran diferentes normas de manejo y atender contingencias ambientales con mayor éxito, por ejemplo ante una eopizootia.

Algunas enfermedades en mamíferos marinos son endémicas y pueden reflejar el efecto de condiciones ambientales a largo plazo, procesos debidos a reducciones poblacionales o al aislamiento geográfico. Así, la incidencia de una enfermedad en una población puede revelar patrones geográficos resultantes de distintos efectos ambientales y diferencias en la estructura genética (Aurióles-Gamboa *et al.*, aceptado). En éste estudio se espera utilizar la información recabada durante años para calificar el estado de salud de las colonias de manera comparativa. Esto permitirá establecer un diagnóstico que sirva como base para el manejo de áreas, en cuanto a la susceptibilidad de los animales y su vulnerabilidad relativa.

HIPÓTESIS

Las hipótesis subyacentes a la investigación que aquí se propone son las siguientes:

1. Los parámetros biológicos y ecológicos de las poblaciones de *Z. c. californianus* del Golfo de California reflejarán una regionalización coherente que pueda utilizarse para generar unidades ecológicas definidas. Se espera que estas unidades tengan correspondencia parcial con el arreglo genético propuesto por Schramm (2002) y con características oceanográficas locales.
2. Las variables bajo estudio y las agrupaciones multivariadas resultantes podrán utilizarse para evaluar el estado de salud de las poblaciones de *Z. c. californianus* en el Golfo de California. El estado de salud estará asociado a características ambientales en cada región.

OBJETIVOS

Generales

- Realizar una regionalización ecológica de las colonias de *Zalophus c. californianus* en el Golfo de California, mediante el análisis de variables biológicas y ecológicas de la población, con el fin de identificar unidades que puedan ser usadas en su manejo y conservación.
- Desarrollar un análisis del estado de salud de las colonias y definir áreas críticas que requieran mayor atención o investigación.

Específicos

- 1- Organizar y estandarizar variables biológicas y ecológicas y explorar sus asociaciones potenciales.
- 2- Determinar los patrones de distribución geográfica de las colonias de lobo marino del Golfo de California, con base en dichas variables.
- 3- Definir arreglos de variables para ser utilizadas en la regionalización global de las colonias y para la evaluación del estado de salud.
- 4- Seleccionar y utilizar algunas de las variables indicadoras de estrés para calificar el estado de salud de las colonias de lobo marino en el Golfo de California.

ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California se ubica en el noreste de México y se extiende desde el Delta del Río Colorado hasta el Cabo San Lucas en el extremo sur de la Península de Baja California y Cabo Corrientes, Jalisco en el continente. Mide en promedio 1100 km de largo por 150 km de ancho. El área se define como una cuenca de evaporación sub-tropical, presentando características templadas y tropicales (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994a). Topográficamente se divide en una serie de cuencas y cañones separados por cordilleras submarinas transversales que se hacen más profundas hacia el sur. El golfo norte es más somero debido a la acumulación de sedimentos provenientes principalmente del Río Colorado, mientras que al sur de las grandes islas (Tiburón y Ángel de la Guarda) la plataforma continental es más estrecha, existiendo varias sub-cuencas (Álvarez-Borrego, 1983) y la boca del Golfo llega hasta 3600 m de profundidad (SEMARNAP, 2000) (Figura 2).

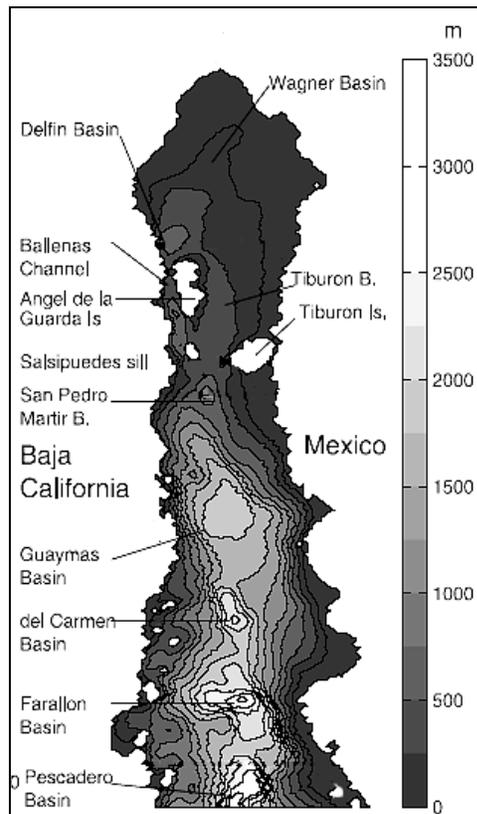


Figura 2. Mapa batimétrico del Golfo de California mostrando la ubicación de las sub-cuencas (Tomado y modificado de Marinone, 2006).

La temperatura superficial del mar en el Golfo es mayor de abril a septiembre, mientras que el resto del año se mantiene mas o menos constante. De octubre a noviembre las temperaturas en la boca son mayores que en el Alto Golfo (Álvarez-Borrego, 1983).

Existe una variabilidad estacional e interanual de condiciones oceanográficas y atmosféricas en el Golfo, que influyen en la distribución, abundancia y disponibilidad de los recursos marinos (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994b). El Golfo norte es una zona poco profunda (menos de 200 m) y su circulación es ciclónica durante el verano (junio a septiembre) y anticiclónica en invierno (noviembre a marzo) (Carrillo *et al.*, 2002, Marinone, 2003). Se caracteriza por su enriquecimiento debido a las intensas corrientes de marea las que alcanzan los 9m (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994b), gran turbidez, sedimentos gruesos, temperaturas extremas, alta evaporación y salinidad (Maluf, 1983).

La zona de las grandes islas presenta una topografía particular y es oceanográficamente única. Se caracteriza por fuertes corrientes por marea longitudinales, gran mezcla vertical, bajas temperaturas superficiales y altos niveles de productividad (Maluf, 1983). Entre la Isla Ángel de la Guarda y la Península de Baja California se encuentra el Canal de Ballenas que es muy profundo (hasta 1500 m) y donde también se producen fuertes corrientes por marea. Esta zona presenta baja temperatura superficial y alta productividad durante todo el año, lo cual sería consecuencia de la mezcla causada por las corrientes de marea, la batimetría, y además por procesos de circulación que causan convergencia en el fondo y divergencia en la superficie (López *et al.*, 2006).

La región central (desde el sur de Isla Tiburón hasta la altura de La Paz-Topolobampo) presenta varias sub-cuencas, baja amplitud de mareas e importantes surgencias estacionales (Maluf, 1983). La termoclina está bien desarrollada todo el verano, siendo máxima en agosto (Álvarez-Borrego, 1983). Esta zona muestra importantes diferencias de temperatura entre invierno y verano (16-31⁰⁰⁰⁰C) y ocurren mínimos de salinidad superficial (Soto-Mardones *et al.*, 1999). Se produce un mecanismo de dispersión de aguas frías por la formación de giros y

filamentos usualmente de agua fría y con alta concentración de clorofila, que atraviesan el Golfo de este a oeste (Navarro-Olache *et al.*, 2004).

El Golfo sur exhibe características más oceánicas, con pendientes pronunciadas, menores niveles de salinidad, mayores precipitaciones y gran influencia del Pacífico (Maluf, 1983). La boca del Golfo presenta tres masas de agua superficiales: Agua de la Corriente de California, fría y de baja salinidad que fluye hacia el sur a lo largo de la costa de Baja California; Agua del Pacífico Tropical, cálida y de salinidad intermedia, que fluye del sureste hacia la boca del Golfo; y Agua del Golfo de California, cálida y de mayor salinidad (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978; 1983). Asimismo, es típica la formación de frentes en la entrada del Golfo, lo que tiene gran importancia pesquera (Álvarez-Borrego, 1983). La circulación en el golfo sur está generada por los vientos, procesos termohalinos y el forzamiento dinámico que ejerce el Pacífico (Marinone, 2003).

Regionalizaciones del Golfo de California

Las zonificaciones ambientales consideran análisis basados en todo el ecosistema, incluyendo así la heterogeneidad ecológica de un espacio geográfico y su objetivo es proteger áreas con funciones importantes para la biodiversidad (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998). Se han elaborado varios ejercicios de regionalización de áreas prioritarias marinas en México y particularmente en el Golfo de California. Por ejemplo, CONABIO determinó áreas prioritarias considerando criterios ambientales, económicos y sus amenazas, resultando en 70 áreas prioritarias en México de las cuales 16 se encuentran dentro del Golfo (Arriaga-Cabrera *et al.*, 1998).

Existen varias regionalizaciones oceanográficas del Golfo de California con base en diferentes variables y con distintos grados de detalle. Entre las más antiguas está la descrita por Gilbert & Allen (1943) con base en la composición de fitoplancton y por Round (1967), utilizando la distribución y abundancia de fitoplancton, quienes describen cuatro regiones similares dentro del Golfo de California (Fig. 3a): en la zona 1 predominan formas del océano abierto indicando la entrada de agua del Pacífico, la zona 2 sería de transición y corresponde a la cuenca del Carmen donde el plancton fue

pobre. La zona 3, central presenta algunos grupos característicos y la ausencia de otros grupos y la región 4 en el norte, la abundancia de diatomeas es baja, con pocas especies de la zona 3 que llegan hasta allí.

De acuerdo a la distribución del fitoplancton, Álvarez-Borrego (1983) estableció que el golfo se divide en tres regiones geográficas: la región sur (al sur de los 25°N), la región media (entre 25 y 27°N) y la región norte (al norte de los 27°N). La zona sur presenta las menores poblaciones de fitoplancton y la productividad primaria promedio es de 0.27 gCm⁻²/día (Zeitzchel 1969). La región media presenta poblaciones de fitoplancton más elevadas, aunque todavía pobres y la productividad primaria promedio es de 0.38 gCm⁻²/día (Zeitzchel, 1969). Finalmente la zona norte presenta un valor de productividad primaria integrada de 0.53 a 0.68 gCm⁻²/día.

Utilizando datos de la concentración de pigmentos obtenidos de imágenes satelitales del sensor CZCS (Costal Zone Color Scanner), Santamaría-del-Ángel *et al.*, (1994a), proponen una división biogeográfica del Golfo de California detallada que consiste de 14 regiones. La primera es en el Alto Golfo, la segunda en la zona centro y oeste del golfo norte y la cuarta se ubica justo al norte de la isla Angel de la Guarda. Las zonas 3, 6, 10 y 14 se encuentran en la costa este y son zonas de surgencia de invierno. La zona 5 se sitúa al oeste de dicha isla, en el Canal de Ballenas, que se distingue de áreas aledañas por su alta concentración de nutrientes y su alta turbulencia. La zona 7 se caracteriza por la presencia de ondas internas. Las regiones 8, 9 y 11 presentan baja concentración de pigmentos. Hacia el sur, la región 12 separa la Bahía de La Paz y por último la región 13 en la boca del Golfo es oceánica y oligotrófica (Fig. 3b).

Posteriormente, Arias-Aréchiga (1998) define tres regiones con base a la concentración de pigmentos fotosintéticos, usando datos satelitales del CZCS. De acuerdo a los factores de forzamiento (i.e. aspectos físicos determinantes): la zona norte (incluyendo las grandes islas) influida principalmente por las mareas, la zona central (hasta la Bahía de La Paz), influida por los vientos y la zona sur (boca del golfo) influido por el Océano Pacífico (Fig. 3c). Con base a ésta última regionalización, Lluch-Cota & Arias-Aréchiga (2000) propusieron otra, dividiendo el Golfo básicamente en las mismas regiones, pero agregan otra alrededor del canal de Ballenas, que se

diferencia por sus mayores niveles de concentración pigmentaria que se mantienen durante todo el año, su configuración batimétrica y oceanográfica (Fig. 3d).

Por último Lluch-Cota (2004), describe 4 zonas en el Golfo de California con base en los niveles de productividad primaria: una al norte de la isla Ángel de la Guarda, la segunda en la zona de las grandes islas, la tercera en el centro- sur del Golfo (incluye la Bahía de La Paz) y la cuarta en la boca del Golfo (Fig. 3e). Estas regiones coinciden con las descritas por Maluf (1983).

Por su parte, Walker (1960) describe tres asociaciones de la ictiofauna del Golfo: la primera en el Alto Golfo, con su límite sur en la Bahía San Francisquito y sur de isla Tiburón, caracterizado por su fauna relativamente escasa, la presencia de endemismos y especies de profundidad moderada. La segunda en el Golfo central (de Bahía Kino a Guaymas por el este y de Bahía San Francisquito a La Paz por la costa oeste) caracterizado por especies endémicas de aguas someras; y la tercera en el golfo Sur (de la Paz a Cabo San Lucas) caracterizada por especies del oeste del Pacífico, la ausencia de especies del Golfo norte y varios endemismos.

Otras especies también presentaron estructura poblacional dentro del Golfo. Riginos y Nachman (2001) reportaron una estructura genética en poblaciones blenios (*Axoclinus nigricaudus*): un grupo se encuentra en el norte, otro en la zona este central y otro en el oeste central. Esta diferenciación entre poblaciones se explica por la influencia combinada de la biogeografía, la distancia geográfica y la disponibilidad de hábitat apropiado.

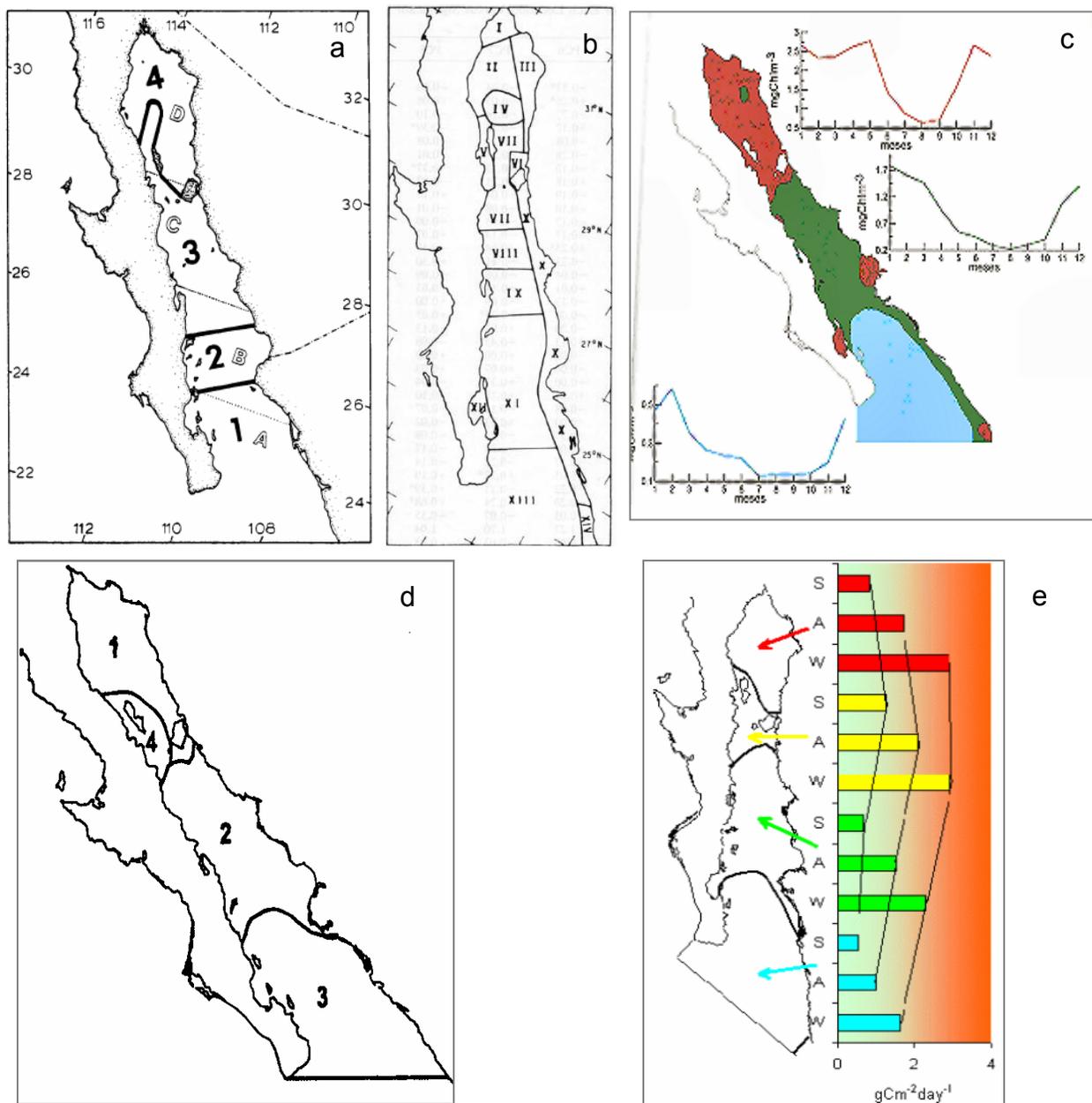


Figura 3. Regionalizaciones del Golfo de California según su productividad primaria. a) Zonación fitogeográfica: las letras representan la propuesta por Gilbert & Allen (1943) y en números la propuesta de Round (1967) (tomado de Brinton *et al.*, 1986); b) Propuesta por Santamaría-del-Ángel *et al.* (1994a), utilizando de concentración de pigmentos de imágenes satelitales CZCS; c) Regionalización propuesta por Arias-Aréchiga (1998) con base en la concentración pigmentaria; d) Regiones propuestas por Lluch-Cota & Arias-Aréchiga (2000); e) Productividad primaria (medida en gC/m²/día) en cuatro regiones del Golfo de California, durante tres estaciones: S: verano, A: otoño y W: invierno (Lluch-Cota, 2004).

Descripción de las colonias de lobo marino

El Golfo de California es geológicamente reciente; su edad se calcula en aproximadamente 4.5 millones de años. Las islas del Golfo por lo general tienen origen volcánico, son áridas y abruptas con costas de formas irregulares, escarpadas y acantilados. En la Tabla 1 se describen las características generales de las 13 colonias reproductivas del lobo marino en el Golfo de California (Figura 1), y en la Tabla 2 se muestran la distancia entre las colonias entre sí.

Tabla 1. Ubicación y características generales de las 13 colonias reproductivas del lobo marino de California en el Golfo de California (Referencias: Los Islotes (SEMARNAP, 2000), San Jorge (Romero-Saavedra, 2000) y las restantes de Zavala (1993)).

Colonia	Ubicación	Dimensiones	Características
Los Islotes (24°35'N, 110°23' W)	En el Complejo insular Espíritu Santo, 50 km al norte de La Paz.	250 m de longitud y superficie de 0.046 km ²	Son dos promontorios rocosos de origen volcánico. Los lobos están principalmente en tres zonas (norte, oeste y sur) en piedras y rocas.
Farallón de San Ignacio (25°26'N, 109°22'W)	Pequeña isla a unos 30 km de Topolobampo (Sinaloa).	0.5 km de largo y unos 141 m de alto	Es una isla de roca árida. Los lobos se ubican sobre plataformas rocosas y acantilados.
Isla San Pedro Nolasco (27°49'N, 111°22'W)	Al norte de Bahía de Bacoichampo	Ocupa 3.62 km de largo, 1.18 km de ancho. Su altura alcanza 152 msnm.	Tiene 6.97 km ² de área. La lobería abarca casi toda la isla principalmente en las costas W, E y N
Isla San Pedro Mártir (28°23', 112° 21'W)	A unos 44 km de la península y 48 km de Sonora (Zavala 1993).	Tiene 1.61 km de largo y una altura máxima de 320 msnm.	Presenta costas escarpadas, playas angostas, de canto rodado y roca en derrumbe. Tiene un área de 1.9 km ² , casi todo ocupado por la lobería.

Isla San Esteban (28°43'N, 112°35'W)	Al suroeste de Isla Tiburón	Tiene 6.46 km de largo, 4.85 de ancho y un área de 43 km ² .	Es una isla de mayor tamaño, con playas amplias y extensas separadas por acantilados. Los lobos ocupan casi toda la zona costera, en playas rocosas, guijarros, grava y arena.
Isla El Rasito (28°49'N, 113°00'W)	Al sur de la Isla Ángel de la Guarda y oeste de Isla Rasa	Es un islote pequeño de un área de 0.6 km ² .	Es una pequeña isla sin playas. El sustrato predominante es rocoso, con canto rodado, muchos piletones de marea y pendiente abrupta. Los lobos se encuentran en la zona NE.
Isla El Partido (28°54'N, 113°02'W)	Muy cercana a El Rasito.	Tiene una extensión de 0.85 km de costa	Es una pequeña isla con sustrato rocoso y canto rodado. La lobería ocupa casi todo el islote.
Los Cantiles (29°29'N, 113°31'W)	Al noroeste de la Isla Ángel de la Guarda		Los lobos se asientan en playas en bahías de canto rodado, grava, roca en derrumbe y cuevas rocosas, separadas por acantilados de rocas grandes y planas.
Los Machos (29°21'N, 113°31' W)	En la costa oeste de Ángel de la Guarda, sobre el Canal de Ballenas		Zona de acantilados con oquedades y cuevas. Al norte hay playas de canto rodado y bloques de piedra y al sur playas de grava con terrazas rocosas. Se forman piletas de marea.
Isla Granito (29°34'N, 113°32'W)	A unos 2 km al norte de la isla Ángel de la Guarda	Tiene un largo total de 1.04 km, 0.24 km de ancho y 50m de altura máxima	Presenta playas arenosas, piedra y de canto rodado. La colonia ocupa casi toda la costa.
Isla Lobos (30°03'N, 114°29'W)	A unos 6.6 km de la península		Sus playas son rocosas y de canto rodado. Los machos subadultos se concentran en una barra rocosa y la colonia se sitúa de la zona NE-NW.

Isla San Jorge (31°01'N 113°15'W)	A 16 km del estado de Sonora en el Alto Golfo.	Ocupa 1097 m de largo, 549 m de ancho y 62 m de alto	Comprende una isla con varios islotes. El sustrato predominante es de canto rodado y plataforma rocosa.
Isla Consag (31°07'N, 114°29'W)	Cercana al Puerto San Felipe (Baja California).		Es una isla rocosa. Los lobos se asientan en playas de canto rodado con plataforma rocosa y roca en derrumbe.

Tabla 2. Matriz de distancias entre colonias de lobo marino de California en el Golfo de California (ordenadas de sur a norte).

	Isl	FSI	Nol	SPM	SE	Ras	Par	Mac	Can	Gra	Lob	SJ	Con
Islotes	0												
Ignacio	137	0											
Nolasco	388	345	0										
S.P. Mártir	464	439	104	0									
SanEsteban	510	479	144	40.2	0								
Rasito	541	523	188	84.8	41.4	0							
Partido	549	529	194	91.4	48.1	7.6	0						
Machos	620	595	262	157	113	72.6	65	0					
Cantiles	632	609	272	171	122	92	83.5	48	0				
Granito	642	622	286	184	134	103	95	36	12	0			
I. Lobos	738	717	384	282	239	196	189	124	114	104	0		
Jorge	772	746	406	309	262	242	235	198	165	162	161	0	
Consag	823	799	461	364	319	303	296	213	196	184	110	116	0

METODOLOGIA GENERAL

Para cumplir con los objetivos propuestos se cuenta con 11 bases de datos (Tabla 3). Cuatro de ellas fueron analizadas en profundidad en éste estudio: una base de datos de censos poblacionales, la concentración de metales en cráneos y la temperatura superficial del mar y clorofila 'a', en los alrededores de cada colonia. Complementariamente, se utilizaron bases de datos que ya habían sido utilizadas en otros estudios: las razones isotópicas de carbono y nitrógeno en crías (Porrás-Peters, 2004), especies presa y diversidad de dieta (García-Rodríguez, 1999 y Porrás-Peters, 2004), condición corporal de crías (Luque, 1999), seroprevalencia de *Leptospira* spp., (Pedernera 2004), prevalencia de dos patologías craneanas (osteoartritis y osteomielitis) (Aurioles-Gamboa *et al.*, aceptado) y finalmente la presencia de *Morbillivirus* sp. (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2000).

Tabla 3. Bases de datos y variables de las poblaciones de lobo marino en el Golfo de California, a utilizar en este estudio.

Base de datos o variable	Años disponibles	Nro. de colonias
Censos poblacionales	1978-2004	13
Concentración de metales	1978-1994	10
Temperatura superficial del mar	1985, 1986, 1993, 1996, 1997, 1999, 2000	13
Clorofila 'a'	1999, 2000, 2001, 2002, 2003	13
Razones isotópicas ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$)	2002, 2000, 2004	13
Dieta	1995-96, 2002	13
Condición corporal de crías	1996-98	9, 11 y 6
<i>Leptospira interrogans</i>	2002	11
Patologías craneales	1978-2002	11
<i>Morbillivirus</i> sp.	1997	11

El primer grupo de bases de datos fueron depuradas con el fin de simplificarlas. Se calcularon las características descriptivas más importantes de cada colonia de lobo marino. En algunos casos se eliminaron variables redundantes (correlaciones) de una misma base de datos y se eligieron las más explicativas mediante análisis de componentes principales preliminares. Posteriormente se analizó la estructura geográfica de las bases de datos ya simplificadas. En el caso del segundo grupo de variables, que han sido trabajadas en otros estudios, se incorporaron y corroboraron las regionalizaciones ya descritas por los autores correspondientes.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos multivariados que se emplearon para explorar las regionalizaciones fueron, análisis de clasificación de grupos (clusters) y análisis de ordenación (componentes principales y análisis discriminantes).

Análisis de grupos (Cluster): es una técnica de clasificación de datos que sirve para acomodar objetos dentro de grupos de manera jerárquica, en forma de dendrograma. Se utilizarán modelos aglomerativos, que parten de una muestra ecológica y van formando grupos progresivamente. Los tipos de unión que se emplearán son: la unión completa, unión media no ponderada y la unión de Ward. La unión de los clusters se basa en una matriz de distancia. El método más básico de computar distancias entre objetos (colonias) en el espacio multidimensional, es calculando distancias Euclidianas, que es la distancia geométrica entre los objetos en el espacio. Otra medida de distancia que se usará es la de Manhattan (city-block), que se calcula como la diferencia promedio entre dos dimensiones.

Análisis de componentes principales (ACP): es una técnica de ordenación que divide una matriz en un conjunto de ejes (componentes) ortogonales. Los objetivos del ACP pueden ser clasificar variables o casos, o reducir el número de variables a un número “representativo” de variables no correlacionadas. El procedimiento consiste en extraer sucesivamente eigenvalores de la matriz, en orden descendente, de manera que los ejes del ACP representan de mayor a menor variación de la matriz (Ludwing &

Reynolds, 1988). Cada componente explica un porcentaje de la varianza total. Una bondad interesante de éste análisis es que nos dice cuales son las variables que más contribuyen a la varianza de cada eje en la ordenación hallada. Estas variables pueden ser candidatas para una examinación más profunda. En éste estudio se utilizarán ACP vía matriz de correlación que analiza la asociación entre las variables estandarizadas o escaladas (Statistica, 2006).

Análisis de función discriminante: se utiliza para determinar que variables discriminan o diferencian dos o más grupos que ocurren naturalmente. Se puede emplear ya sea como método exploratorio para poner a prueba una hipótesis, o para determinar que variable(s) son mejores predictores de la separación de grupos (Statistica, 2006). El análisis global resulta en el estadístico lambda de Wilks, que representa la significancia de poder de discriminación del modelo. El lambda varía de 1 (no discriminación) a 0 (discriminación perfecta). Cada variable incorporada en un análisis obtiene un valor de lambda parcial, que representa su contribución en la discriminación del modelo (Statistica, 2006). El análisis brinda el porcentaje de clasificación correcta de las variables dentro de los grupos definidos.

Estrategia de investigación

La presente tesis se organizó de la siguiente manera. Los resultados se presentan en tres sucesivos capítulos, cada uno de ellos se presenta con Introducción, Metodología, Resultados y Discusión a manera de artículo científico. En el capítulo 1 se analiza el estatus de la población del lobo marino de California en cada colonia reproductiva del Golfo de California y sus tendencias poblacionales. Se presenta una actualización del tamaño poblacional total para el Golfo de California y se realiza y discute un análisis de viabilidad poblacional de cada colonia. Por último, se realiza la agrupación de las colonias en tres grupos: en aumento, en disminución y en fluctuación o estables. En el capítulo 2 se trata la regionalización de las colonias de lobo marino considerando independientemente cada una de las bases de datos. Para ello, en primer lugar se realiza una breve introducción a cada base de datos, en segundo lugar se describe con que datos se cuenta, como se obtuvieron, analizaron y

como se procesaron en términos estadísticos para el análisis de regionalización. En tercer lugar, se muestran los resultados de estos análisis y se realiza una breve discusión donde se interpretan los grupos resultantes y se interpretan ecológicamente. A continuación se realiza un análisis para comparar la posible relación entre la tendencia poblacional de cada colonia y las variables ecológicas y de salud analizadas. Luego, se exploró la regionalización general utilizando 7 de las variables, previamente procesadas. En el capítulo 3 se lleva a cabo una evaluación del estado de salud de las colonias. En primer lugar, se hace una breve reseña de como puede afectar cada variable la salud de las poblaciones de lobo marino. Luego se describe como se estimó el estado de salud de las colonias y de cada zona, y se muestran los resultados de manera comparativa. Finalmente se explora la relación entre el estado de salud y la abundancia y tendencia poblacional de las colonias.

Posteriormente, se elabora una discusión general donde se analiza la regionalización propuesta en el marco de antecedentes de estudios genéticos y características oceanográficas del Golfo de California. Asimismo se discute el estado de salud resultante de cada colonia y cada zona, y las implicancias de ambos aspectos en el marco de la estructuración de la población del lobo marino. A continuación se puntúan las principales conclusiones que se obtuvieron a partir de los tres capítulos. Por último se realizan recomendaciones de manejo para cada grupo de colonias, de acuerdo con sus características y principales problemas de salud y de manera general, incluyendo propuestas para futuras investigaciones.

CAPITULO 1

Estatus y tendencia poblacional de las colonias reproductivas de *Zalophus californianus* en el Golfo de California¹

1.1 Introducción

La población de *Zalophus californianus* se ha dividido en tres regiones que se asume son diferentes stocks: 1) el stock de los Estados Unidos, que se extiende desde Canadá a la frontera entre Estados Unidos y México, 2) el stock de Baja California, que se encuentra desde la frontera antes mencionada al extremo sur de la Península de Baja California, y 3) el stock del Golfo de California, que presenta colonias en casi toda la extensión del mismo (Carretta *et al.*, 2003). En 1983 la población global fue estimada en 145,000 animales (Le Boeuf *et al.*, 1983), de los cuales el 16% habitaban en el Golfo de California y el 46% en el Pacífico Mexicano. En el año 2001 se estimaron entre 237,000 y 244,000 animales en Estados Unidos, mostrando un crecimiento del 5.4% a 6.1% anual (Carretta *et al.*, 2003). La población del Golfo de California comprende 29 asentamientos de los cuales 13 son colonias reproductivas (Aurioles-Gamboa & Zavala-González 1994) (Figura 1). En 1979 la población del golfo se estimó en 20,144 animales (Le Boeuf *et al.*, 1983), aumentando a 25,354 individuos en 1988 (Aurioles-Gamboa, 1988), y a 31,393 en 1993 (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994).

Debido a la estructura genética que presenta la población de lobo marino en el Golfo de California, Schramm (2002) sugiere que los grupos de colonias deberían considerarse como unidades de manejo independientes en futuros planes de conservación. Sobre ésta base resulta necesario realizar una evaluación del estatus del lobo marino de California, que permita actualizar el conocimiento acerca de la situación poblacional de las colonias reproductivas en el Golfo de California.

Los análisis cuantitativos de tendencia poblacional pueden usarse para que la toma de decisiones de manejo se base en información científica y sus resultados

¹ Este capítulo está basado en el siguiente artículo: Szteren, D., D. Aurioles-Gamboa & L.R. Gerber (en prensa).

puedan ser aplicados para tomar decisiones de conservación (Gerber & Van Blaricom, 2001). En éste sentido, los análisis de viabilidad poblacional (PVA) son métodos cuantitativos que evalúan datos poblacionales, que permiten anticipar o predecir la probabilidad de que una población persista un tiempo determinado en el futuro (Boyce, 1992). Existen diferentes modelos de PVA de acuerdo a los tipos de datos e información se disponga y los objetivos del análisis. En éste caso, se emplearán los conteos anuales de las colonias de lobo marino. Para este tipo de información se utiliza el modelo de difusión de Dennis *et al.* (1991), que es uno de los modelos más sencillos para realizar un análisis de viabilidad poblacional y se basa en un modelo estocástico de crecimiento poblacional. Este método estima el tiempo medio para la extinción y la probabilidad de extinción para cada colonia. Esta aproximación se ha utilizado en algunos estudios de conservación de diferentes especies, como ballena gris (*Eschrichtius robustus*) (Gerber *et al.*, 1999), osos grizzly (*Ursus arctos*) y algunas aves (ver Dennis *et al.*, 1991).

El principal objetivo de éste capítulo es describir y analizar la tendencia poblacional de las colonias reproductivas de lobo marino en el Golfo de California, usando bases de datos de censos para evaluar el estatus poblacional y la producción de crías como medida del éxito reproductivo. Asimismo se analizará la viabilidad poblacional de las colonias reproductivas y se discutirán los resultados en el marco de sus implicaciones para la conservación.

1.2 Metodología

Se compilaron datos históricos de la población de *Z. californianus* en el Golfo de California, desde 1976 a 2004 (Tabla 1). Los censos fueron realizados durante la estación reproductiva (junio a julio) debido a que en dicho período la mayor parte de la población se halla en tierra. Los conteos se efectuaron desde un bote circulando alrededor de cada colonia a una distancia de unos 40 metros (Le Boeuf *et al.*, 1983, Auriol-Gamboa & Zavala-González, 1994). En cada censo se contabilizaron 5 categorías: machos adultos, machos subadultos, hembras adultas, juveniles, crías y misceláneos (animales no identificados).

El tamaño poblacional se calculó sumando los censos más recientes para cada

colonia (2004 para 11 colonias) (Tabla 1). Posteriormente se aplicaron factores de corrección para el número de crías y hembras adultas obtenido empíricamente por los censos. Le Boeuf *et al.* (1983) encontró que el número de crías contadas en tierra era 50% mayor que los conteos realizados desde la embarcación, por lo que aumentamos nuestros conteos de crías en un 50%. Además se corrigió el número de hembras debido a que algunas se encuentran alimentándose en el mar durante los censos. Bonnell y Ford (1987) sugirieron dos correcciones: 23% y 54%, la primera para las primeras semanas de la época de cría y la segunda para las últimas semanas. Como estas cifras fueron estimadas en California (EUA) y la época de nacimientos es diferente en el Golfo de California (García-Aguilar & Aurióles-Gamboa, 2003), se utilizaron ambos valores para incorporar el rango completo de incertidumbre para este factor de corrección.

Complementariamente se calculó la fecundidad del último año para cada colonia reproductiva. Esta variable evalúa el porcentaje de hembras que tuvieron cría, y se calculó como el número de crías dividido el número total de hembras.

Existen varias aproximaciones cuantitativas para evaluar el estatus poblacional. La presente evaluación se enfoca en dos aspectos críticos de la población: el tamaño y la tendencia, lo que comprende tanto tendencias promedio, como su variabilidad debida a las tasas de crecimiento poblacional. Para caracterizar los patrones de crecimiento en el tiempo, se realizarán regresiones lineales para cada colonia. Adicionalmente, se explorarán períodos de tiempo que sugieran tendencias contrastantes.

Para incorporar variabilidad en las tasas de crecimiento se extrajo un estimador de máxima verosimilitud de la tasa de crecimiento y sus intervalos de confianza correspondientes (Dennis *et al.*, 1991), asumiendo que los cambios poblacionales pueden aproximarse por un proceso de difusión con deriva. Empleando esta aproximación, la tasa de crecimiento poblacional (λ) se calcula como: $\mu + (\sigma^2/2)$, donde μ es la media de la tasa de cambio poblacional, y σ^2 es la varianza de μ (Morris *et al.*, 1999). El método para estimar μ y σ^2 a partir de una serie de censos poblacionales involucra dos pasos: primero realizar transformaciones simples a los conteos y años en que estos se realizaron y luego efectuar una regresión lineal (Morris *et al.*, 1999):

μ se estima como la pendiente de la regresión lineal entre $x = (\sqrt{t_j - t_i})$ e

$$y = (\ln(N_j/N_i)/x)$$

donde t_j es el año del conteo j y t_i es el año del conteo previo que se disponga; N_j es el número de individuos censados el año j y N_i es el número de individuos censados el año previo que se disponga.

σ^2 se estima como el residual medio cuadrado del análisis de varianza asociado a la regresión entre x e y .

En éste PVA se considerará que una colonia está extinta cuando desaparece por completo o su tamaño se reduce por debajo de un cierto número. El cálculo de la probabilidad de extinción (PE) requiere la definición de un umbral de extinción (N_e), es decir, el tamaño al que la población estaría virtualmente extinta o el número de individuos necesario para mantener una población viable. Se utilizó un umbral de 50 individuos (al igual que González *et al.* (2006) para esta misma especie y área de estudio) y se calculó la probabilidad de extinción para un lapso de tiempo determinado en el futuro. La PE se calculó como: si μ es negativo $PE=1$ porque la población declinará indefectiblemente, en cambio si $\mu > 0$ PE está dado por:

$$PE = \left(\frac{N_e}{N_q} \right)^{2\mu/\sigma^2}$$

donde: N_e es el umbral poblacional (50 individuos) y N_q es el tamaño poblacional inicial (población en el censo más reciente) (Morris *et al.*, 1999). El tiempo medio para la extinción (TME) de cada colonia se calculó como:

$$TME = \frac{\ln(N_q/N_e)}{|\mu|}$$

Estos cálculos se realizaron para cada colonia por separado, asumiendo que no hay movimiento de animales entre colonias. Por ello, las estimaciones se usarán solo para comparar el riesgo relativo de extinción ya que existe cierto movimiento entre colonias pero no se conoce su magnitud ni procedencia exacta.

Por último se calculó la tasa de crecimiento de la población de todo el golfo, como la mediana de las λ de todas las colonias individuales y la probabilidad de

extinción, multiplicando la probabilidad de extinción de todas las colonias. Los parámetros del golfo como una unidad asumen que el movimiento entre colonias es máximo (Morris *et al.*, 1999).

1.3 Resultados

La estimación total de abundancia de lobos marinos en el Golfo de California para 2004 fue de 17,484 animales con una producción de 4,299 críos (Tabla 4). Con los totales corregidos el número total asciende a entre 24,062 y 31,159 y el número de críos a 8598. Las tres colonias más abundantes fueron San Esteban, San Jorge e Isla Lobos y las menos abundantes fueron Farallón de San Ignacio, Partido y Rasito (Tabla 4).

La tendencia poblacional de las diferentes colonias reproductivas del lobo marino ha cambiado dramáticamente desde la última estimación publicada (Aurioles-Gamboa & Zavala-González 1994): Los Islotes fue la colonia que más aumentó (50.6%), luego Consag (42.5%) y San Jorge (12.3%). Las restantes colonias decrecieron en distinto grado y la población total decreció un 20.05% (Tabla 4).

Los resultados de las regresiones entre los números totales por colonia *versus* años, se muestran en la Tabla 5. Las poblaciones de Consag, San Jorge e Islotes aumentaron significativamente; mientras que Cantiles, Granito, Machos, Partido y Farallón de San Ignacio decrecieron significativamente. Isla Lobos y Nolasco mostraron decrecimientos marginalmente significativos, mientras que Rasito y S.P. Mártir mostraron decrecimientos no significativos.

Tabla 4. Número de crías y población total de *Zalophus californianus* en cada colonia reproductiva en el Golfo de California en el último año de censos, y porcentaje de incremento o declinación desde Auriolos-Gamboa & Zavala-González (1994). En paréntesis se muestra el año de censo utilizado en el mencionado estudio. Fecundidad sin corregir (Fec. NC), y fecundidad corregida (Fec. C) usando el 23% y 54% de incremento al número de hembras y 50% de incremento al número de crías.

Colonia - año del último censo	Crías Total		% incremento o declinación (año)	Fec NC	Fec C	
					23%	54%
Consag - 2002	140	600	42.5 (1981)	55.3	85.2	50.9
San Jorge - 2004	968	3833	12.3 (1985)	55.5	85.4	51.0
Isla Lobos - 2004	195	1950	-37.4 (1984)	15.5	23.9	14.3
Isla Granito - 2004	246	848	-49.0 (1991)	70.9	100 [#]	65.2
Los Cantiles - 2004	144	634	-51.6 (1991)	48.5	74.7	44.6
Los Machos - 2004	102	580	-61.5 (1990)	31.3	48.2	28.8
El Partido - 2004	82	449	-50.8 (1991)	35.5	54.7	32.7
El Rasito - 2004	55	375	-12.8 (1991)	25.3	39.0	23.3
San Esteban - 2004	1748	5666	8.2 (1990)	75.8	100 [#]	69.8
S. Pedro Mártir- 2004	247	1171	-36.5 (1991)	40.8	62.9	37.6
S.P. Nolasco - 1997	171	659	-44.8 (1991)	52.0	80.0	47.8
F. San Ignacio - 2004	58	280	-47.6 (1985)	51.8	79.7	47.6
Los Islotes - 2004	143	439	50.6 (1993)	79.4	100 [#]	73.1
TOTAL	4299	17484	20.05%	52.4		
Corregido	8598*	24,062 ^{1,*} - 31,159 ^{2,*}			80.7 ^{1*}	48.2 ^{2*}

* 50% agregado al número de crías

¹ 23% agregado al número de hembras, ² 54% agregado al número de hembras (ver texto).

Estos valores fueron mayores al 100% porque el número de hembras ajustado fue menor que el número de crías ajustado. Por lo tanto, se corrigieron las fecundidades al 100% sobre la base de que por lo menos debe haber igual número de hembras que de crías.

Tabla 5. Regresiones entre la abundancia (total y de crías) en el tiempo (en años) de cada colonia reproductiva de lobo marino en el Golfo de California. n es el número de años de datos de censos poblacionales disponible.

Colonia	Abundancia total vs. año	Abundancia de crías vs. años
R. Consag	$R^2 = 0.76$, n=6, p= 0.023*	$R^2 = 0.75$, n= 4, p= 0.135
San Jorge	$R^2 = 0.65$, n= 8, p= 0.015*	$R^2 = 0.17$, n= 8, p= 0.479
Isla Lobos	$R^2 = -0.49$, n= 7, p= 0.077	$R^2 = 0.21$, n= 6, p= 0.112
Isla Granito	$R^2 = -0.36$, n= 16, p= 0.014*	$R^2 = -0.17$, n= 16, p= 0.116
Los Cantiles	$R^2 = -0.73$, n= 21, p< 0.001*	$R^2 = -0.51$, n= 21, p< 0.001*
Los Machos	$R^2 = -0.69$, n= 16, p< 0.001*	$R^2 = -0.48$, n= 16, p< 0.003*
El Partido	$R = -0.42$, n= 16, p= 0.007*	$R^2 = 0.33$, n= 16, p= 0.019*
Rasito	$R^2 = -0.11$, n= 20, p= 0.161 1976-1986 ($R^2 = 0.91$, n=6, p= 0.003) 1987-2004 ($R^2 = -0.33$, n=14, p=0.032*)	$R^2 = -0.01$, n= 19, p= 0.697
San Esteban	$R^2 = 0.29$, n= 13, p= 0.059 1979-1991 ($R^2 = 0.96$, n=6, p<0.001*) 1992-1997 ($R^2 = 0.68$, n=7, p=0.022*)	$R^2 = 0.29$, n= 13, p= 0.055 1979-1991 ($R^2 = 0.61$, n=6, p=0.068) 1992-1997 ($R^2 = 0.53$, n=7, p= 0.063)
San Pedro	$R^2 = -0.03$, n= 17, p= 0.476	$R^2 = -0.002$, n= 16, p= 0.856
Mártir	1976-1990 ($R^2 = 0.57$, n=8, p=0.031*) 1990-2004 ($R^2 = -0.53$, n=10, p=0.017*)	1979-1990 ($R^2 = 0.68$, n=7, p= 0.023) 1990-1994 ($R^2 = -0.82$, n=5, p= 0.014*)
S.P. Nolasco	$R^2 = -0.24$, n= 14, p= 0.079 1984-1991 ($R^2 = 0.93$, n=5 p=0.008*) 1992-1997 ($R^2 = 0.75$, n=6, p=0.026*)	$R^2 = -0.07$, n= 14, p= 0.777 1992-1997 ($R^2 = 0.80$, n= 6, p=0.015*)
F. San Ignacio	$R^2 = -0.54$, n= 8, p= 0.037*	$R^2 = -0.52$, n= 8, p= 0.043*
Los Islotes	$R^2 = 0.83$, n= 21, p< 0.001*	$R^2 = 0.89$, n= 21, p< 0.001*

* valor significativo a p< 0.05

La tasa de crecimiento poblacional (λ) fue mayor en Rasito, Farallón de San Ignacio y Los Islotes y mínima en Cantiles y Machos (Tabla 6). Sin embargo, el análisis de riesgo relativo de extinción sugirió que Isla Lobos, Cantiles, Granito,

Machos, Partido, Nolasco y Farallón de San Ignacio fueron las más vulnerables, mientras que Consag, San Jorge, San Esteban y Los Islotes fueron comparativamente más viables (Tabla 6). La tasa de crecimiento poblacional en todo el golfo indicó que es estable (1.037) y la probabilidad de extinción fue muy baja (2.24×10^{-27}).

Tabla 6. Resultados del análisis de viabilidad poblacional de cada colonia reproductiva de lobo marino en el Golfo de California.

μ es la media del cambio poblacional, σ^2 es la varianza, λ es la tasa de crecimiento poblacional, PE es la probabilidad de extinción para un umbral poblacional (N_e) de 50 individuos y TME es el tiempo medio para la extinción.

Colonia	μ	σ^2	λ (0.1% límites de confianza)	PE relativo ($N_e = 50$)	TME relativo
R. Consag	0.0265	0.0190	1.037 (0.987-1.089)	1.71×10^{-4}	93.69
San Jorge	0.0066	0.0043	1.009 (0.983-1.035)	1.78×10^{-7}	657.48
Isla Lobos	-0.005	0.0327	1.011 (0.939-1.041)	1.0	678.44
Isla Granito	-0.013	0.076	1.025 (0.934-1.126)	1.0	60.48
Los Cantiles	-0.042	0.0271	0.972 (0.920-1.026)	1.0	82.29
Los Machos	-0.033	0.0407	0.987 (0.923-1.056)	1.0	74.27
El Partido	-0.020	0.1173	1.040 (0.909-1.189)	1.0	111.42
El Rasito	0.0654	0.0981	1.121 (1.014-1.240)	0.059	30.81
San Esteban	0.0185	0.0257	1.032 (0.968-1.099)	5.94×10^{-4}	255.69
San Pedro	0.0056	0.0695	1.041 (0.941-1.152)	0.582	563.14
Mártir					
S.P. Nolasco	-0.018	0.1096	1.038 (0.908-1.186)	1.0	145.82
F. San Ignacio	-0.018	0.1245	1.046 (0.914-1.196)	1.0	92.72
Los Islotes	0.0302	0.0236	1.043 (0.990-1.098)	2.89×10^{-3}	71.88
Golfo total			1.037	1.79×10^{-18}	

Al comparar las tendencias de las colonias en distintos períodos de tiempo, se observan algunos patrones. En primer lugar, las dos colonias del golfo norte (Consag y

San Jorge) y probablemente Isla Lobos, aumentaron desde fines de los 60s a 1984. Granito y Rasito aumentaron hasta 1986 y luego comenzaron a declinar. Las colonias situadas en la isla Ángel de la Guarda (Los Cantiles, Los Machos y El Rasito) crecieron hasta 1989-1990 y luego declinaron. Granito al norte de dicha isla y Partido al sur, aumentaron hasta 1986 y luego declinaron. En San Pedro Mártir y San Esteban ocurrió una caída importante en 1992 seguida por la recuperación poblacional.

La producción de críos decreció significativamente en Los Cantiles, Los Machos y Farallón de San Ignacio, mientras que Granito, Rasito y San Pedro Mártir mostraron decrementos no significativos. El resto de las colonias aumentaron ya sea significativamente como Los Islotes, El Partido y Nolasco (desde 1992), o no significativamente (Consag, San Jorge, Isla Lobos, San Esteban) (Tabla 5). Los valores de fecundidad indican que poco más de la mitad de las hembras del Golfo tuvo cría. Sin embargo el porcentaje varía con las colonias: San Esteban y Los Islotes presentaron los mayores valores de fecundidad (más del 75%) lo que es coherente con sus tendencias crecientes, mientras que Isla Lobos y Rasito tuvieron la menor proporción de críos (menos del 26%) (Tabla 4).

1.4 Discusión

Los resultados indican que la población del lobo marino de California en el Golfo de California ha declinado un 20.1% desde el último reporte publicado (Aurioles-Gamboa & Zavala-González 1994). A pesar de que la población de los Estados Unidos está en aumento, en el Golfo de California está decreciendo. Solo 4 colonias aumentaron significativamente: las más norteñas (Consag y San Jorge), la más sureña (Los Islotes), San Esteban y Nolasco (desde 1992). El resto de las colonias se encuentran estables o declinando en abundancia. De acuerdo a las tendencias, se plantean tres grupos de colonias:

- 1) Colonias que crecen en total y su producción de críos también crece: Consag, San Jorge, Los Islotes, San Esteban y desde 1992, Nolasco. Excepto ésta última, todas las colonias presentan muy baja probabilidad de extinción.

- 2) Colonias cuya abundancia decrece, tienen máxima probabilidad de extinción, y la producción de críos decrece: Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Partido y Farallón de San Ignacio.
- 3) Colonias que fluctúan ampliamente o no mostraron tendencia clara en las regresiones: Isla Lobos, El Rasito y San Pedro Mártir.

El primer grupo de colonias puede considerarse como unidades reproductivas viables, particularmente San Esteban y Los Islotes que exhibieron alta producción de críos. Nolasco parece estarse recuperando desde 1992, aunque aun se encuentra muy por debajo de los niveles que tenía en 1990-91. Datos recientes de los años 1997 a 2003 reportan que la población se ha mantenido estable (Gallo-Reynoso, 2003). Las colonias del segundo grupo tendrían mas relevancia para la conservación, ya que declinaron más del 45% desde la última estimación publicada (Aurioles-Gamboa & Zavala-González, 1994). Las colonias que estarían más amenazadas son Los Cantiles y Los Machos porque presentaron tasas de crecimiento levemente menores a uno (Tabla 3). La producción de crías en El Partido aumentó significativamente y podría estar en el proceso de recuperación poblacional, aunque la población total está en franca disminución. Las colonias del tercer grupo podrían tener diferente destino en el futuro, seguir declinando o recobrase. Isla Lobos podría recuperarse ya que es una colonia relativamente numerosa. Rasito es la población más pequeña del Golfo pero presentó un incremento significativo entre 1976 y 1986, seguido por una declinación entre 1987 y 2002, por esa razón el estatus de esta población es difícil de valorar.

Sin embargo, debe notarse que la cantidad de censos para algunas colonias es limitada. Morris *et al.* (1999) recomendó usar por lo menos 10 años de censos para la aproximación de difusión. En relación con la exactitud del PVA, Consag, San Jorge e Isla Lobos tienen menos de 10 años de datos, por lo que las conclusiones deben ser manejadas con cautela. De todas formas, los resultados nos ofrecen una guía provisional para evaluar la salud de las poblaciones en el Golfo de California.

González-Suárez *et al.* (2006) compararon tres escenarios espaciales con diferentes supuestos de tasas de movimiento entre colonias de lobo marino en el Golfo de California. El escenario que considera cada colonia independientemente (sin movimiento entre colonias) resultó con mayores probabilidades de reducción

poblacional, que el escenario de 4 grupos (movimiento limitado), o considerando todas las colonias del golfo como una población (movimiento ilimitado). Sin embargo, tomando en cuenta análisis genéticos (Schramm, 2002) y el patrón de transmisión de *Leptospira* spp. (Pedernera, 2004), es posible el movimiento de animales sea muy limitado, por lo que González-Suárez *et al.* (2006) recomiendan considerar las colonias independientemente o como clusters.

La disponibilidad y abundancia de presas es un aspecto importante que puede afectar la abundancia regional o local de los pinnípedos (Trillmich & Ono, 1991). Muchas poblaciones exhiben fluctuaciones estacionales de acuerdo a la variabilidad de sus principales presas. Por ejemplo, la prevalencia de la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) en la dieta de *Zalophus californianus* en California central, fue correlacionada con el número de buques pesqueros que capturan esa especie (Ainley *et al.*, 1982). Similarmente, Trites & Donnelly (2003) reportaron que la principal causa del declinamiento poblacional de *E. jubatus* en Alaska era el estrés nutricional al que estuvieron sujetos. Se cree que este afectó el número de críos, redujo la productividad, aumentó la mortalidad de críos y juveniles y redujo los tamaños corporales. Este estrés se debió a la menor calidad del alimento, no a la cantidad.

Este aspecto también influye sobre la dieta de lobos marinos en el Golfo de California. Exceptuando Farallón de San Ignacio, las colonias reproductivas más vulnerables están ubicadas en o cerca de la isla Ángel de la Guarda, en el golfo norte y centro. Esta área se caracteriza por la elevada actividad biológica durante todo el año, fuertes mezclas de marea y bajas temperaturas superficiales (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994). Estas condiciones favorecen la abundancia de la sardina Monterey, que se concentra en esta área en verano y se encuentra disponible allí durante todo el año (Lluch-Cota & Lluch-Belda, 2000). El patrón de distribución de la sardina se relacionó con la importancia de esta presa en la dieta de los lobos marinos (García-Rodríguez & Auriol-Gamboa, 2004), especialmente en verano cuando la sardina se mantiene en las aguas frías alrededor de las grandes islas. Esta zona podría funcionar como un refugio para la sardina ante condiciones ambientales adversas (Nevárez, 2000).

Hace más de diez años se detectó el decrecimiento de colonias de lobo marino

en la zona de las grandes islas. Este se ha relacionado con la disponibilidad de presas, ya sea a través del incremento de las pesquerías y/o por la reducción de la productividad del golfo norte debido a cambios oceanográficos (Heath *et al.*, 1994). Algunos autores discuten la relación entre la distribución de la sardina y algunas condiciones ambientales en el Golfo de California (eg. Hammann *et al.*, 1988; Lluch-Cota *et al.*, 1999; Nevárez, 2000). En particular, el ecosistema de las grandes islas es muy variable y depende de las fluctuaciones de la sardina que a su vez influyen sobre otros componentes del sistema. Dicha variabilidad ambiental afecta finalmente la pesquería y el ecosistema completo, incluyendo predadores de tope como aves (Velarde *et al.*, 2004) y lobos marinos. Auriolos-Gamboa *et al.* (sometido) encontraron que en varias colonias situadas entre el este de la isla Ángel de la Guarda y la isla Tiburón existe una correlación entre la producción de críos y las capturas de sardina. Ambas variables fluctúan sincrónicamente lo que sugiere que la tasa de nacimientos disminuye cuando las hembras no consumieron la sardina que necesitaban durante el desarrollo fetal. García-Rodríguez & Auriolos-Gamboa (2004) encontraron que la sardina Monterey era la presa dominante en Los Machos, Cantiles, Granito y Rasito. Coincidentemente, que estas poblaciones decrecieron, presentaron baja proporción de críos, baja tasa de crecimiento poblacional y máxima probabilidad de extinción.

La mayoría de las colonias reproductivas en el Golfo de California presentaron tendencias decrecientes en los comienzos de la década de los 90, lo que coincide con un decrecimiento abrupto en las pesquerías de sardina, que cayeron de 292,000 ton (en 1988/89) a menos de 7,500 ton de 1991 a 1993 (Cisneros-Mata *et al.*, 1995). Esto refuerza la idea de que los números de lobos marinos decrecen conjuntamente con las capturas de sardina. Suponiendo que la dieta de los lobos marinos no cambió sustancialmente desde principios de los 90 a mediados de la década (cuando se colectaron los datos de dieta), se podría hipotetizar que una reducción de una presa preferida (i.e. sardina), podría estar relacionada con el decremento de las poblaciones (Auriolos-Gamboa *et al.*, sometido). De esta manera, la abundancia de sardina podría estar determinando la disminución o aumento en la abundancia de lobos marinos en la región de las grandes islas.

Merrick *et al.* (1997) encontraron que cuanto menor diversidad de dieta, mayores tasas de decrecimiento en varias poblaciones del lobo marino de Steller en el Golfo de Alaska y las islas Aleutianas. En el Golfo de California algunas colonias parecen depender de uno o dos presas dominantes (como la sardina, o *Trichiurus lepturus* el pez sable), mientras que otras presentaron un espectro de presas más diverso (García-Rodríguez & Auriol-Gamboa, 2003). Según estos autores, S.P. Mártir, Rasito y San Esteban tienen alta diversidad trófica, mientras que Los Machos, Los Cantiles y Granito dependen de una menor diversidad de presas, lo que las haría más susceptibles a la influencia de cambios en la abundancia o disponibilidad de sus presas preferenciales.

Los lobos marinos del Golfo de California serían particularmente vulnerables debido a su pequeño tamaño poblacional y la subdivisión poblacional. El Golfo presenta muchas colonias pequeñas, mientras que el stock de los Estados Unidos incluye cuatro colonias muy abundantes: solo en la isla San Nicolás (California) nacen alrededor de 20,488 críos (Lowry, 1999). De acuerdo con Schramm (2002) el movimiento de animales entre las distintas áreas genéticas es muy escaso. La magnitud de la divergencia entre los grupos sugiere que las hembras no migran entre las regiones. Por lo menos uno de los grupos definidos por Schramm (2002) (la región del golfo central) presenta varias colonias que han decrecido marcadamente y deberían considerarse como vulnerables en las estrategias de conservación. La situación en el golfo norte y sur es más optimista, aunque varias de las colonias no han sido incluidas en el estudio genético de Schramm. Además, no se conoce el nivel de intercambio de animales entre las distintas áreas. A la luz de esta incertidumbre, se recomienda que las investigaciones se enfoquen hacia dichas carencias, pero por el momento consideramos que sería apropiado implementar un manejo precautorio. Este proceso implica la previsión prudente de acciones para evitar consecuencias indeseadas o inaceptables, debidas a la falta de información y a la variabilidad ambiental y poblacional. Futuros planes de manejo deberán considerar las tendencias divergentes de las distintas colonias, aquí descritas.

CAPÍTULO 2

Regionalización de las colonias de lobo marino en el Golfo de California

2.1 Introducción

Es posible llevar a cabo regionalizaciones con base en múltiples criterios. En México se han realizado diversas regionalizaciones ecológicas para la planificación y ordenamiento territorial (SEMARNAT, 2002). La utilidad de las mismas, es zonificar áreas para actividades antropogénicas, aprovechamiento de recursos, determinación de problemáticas ambientales y conservación, considerando los aspectos ecológicos y sociales que afectan cada región. De acuerdo con Lluch-Cota & Arias-Aréchiga (2000), las propuestas de regionalización de áreas oceánicas basadas en criterios ecológicos, permitirán reconocer zonas prioritarias para la investigación y muestreos.

La estructura poblacional del lobo marino en el Golfo de California se ha visto reflejada en diversos estudios. Como ya se ha mencionado, el ADN mitocondrial reflejó la existencia de tres grupos de colonias en el Golfo de California que estarían aisladas genéticamente (Schramm, 2002). Estudios ecológicos también han revelado diferencias importantes entre áreas. Por ejemplo, de acuerdo a las presas halladas en copros de 7 colonias en la zona de las grandes islas, García-Rodríguez (1999) encontró 4 grupos de colonias: dos de ellos con colonias situadas del norte de la isla Ángel de la Guarda, dos formados por colonias en el Canal de Ballenas y sur de Ángel de la Guarda. Esto sugiere que los individuos de cada lobería utilizan diferentes sitios de alimentación y el patrón espacial trófico ilustra la sensibilidad de la especie ante condiciones ambientales locales. Posteriormente, Porrás-Peters (2004) analizó la dieta en 11 colonias en 2002 y describe dos grupos de loberías de acuerdo a las especies presa: al norte de la Isla Ángel de la Guarda y al sur de dicha isla. La condición corporal de las crías también fue muy variable entre colonias. Así, Luque (1999) diferencia colonias donde los críos presentaron mayor tamaño y condición, aquellas donde presentaron menor tamaño y mala condición y las colonias que variaban de año a año.

A nivel etológico, García-Aguilar & Aurióles-Gamboa (2003), reportaron que el periodo reproductivo difiere entre Los Cantiles (situada al norte de la Isla Ángel de la

Guarda) y Los Islotes (situada en la Bahía de la Paz, al sur). En el norte los nacimientos inician antes y la sincronización entre hembras es menor que en el sur. En cuanto a diferencias anatómicas, Zavaleta (2003) analizó medidas de cráneos de machos adultos de lobo marino de 12 colonias reproductivas. Los cráneos pertenecientes a la zona norte y centro del Golfo se separaron del sur y del Pacífico de Baja California y California.

Por otra parte, la concentración de 9 metales en pelo de crías mostró cambios latitudinales en el Golfo de California (Elorriaga, 2002). En general los metales variaron espacialmente en forma de W, donde los valores más elevados se hallaron en el Alto Golfo y en el sur. Con referencia a la salud, se han reportado diferencias en la presencia y prevalencia de serovariedades de *Leptospira interrogans* (Pedernera, 2004). Dicho estudio separa tres grupos de colonias: uno en la zona norte y centro, otro formado por dos colonias ubicadas al sur de Ángel de la Guarda y finalmente el sur. Algunas afecciones craneanas también presentaron diferencias geográficas. Auriolles-Gamboa *et al.*, (aceptado) mencionan que la prevalencia de osteoartritis y osteomielitis es mayor en el norte del Golfo, media en el centro y baja en el sur.

El principal objetivo de éste capítulo es realizar una regionalización ecológica de las colonias reproductivas de *Z. c. californianus* en el Golfo de California, mediante el análisis de variables biológicas y ecológicas de la población, con el fin de identificar unidades que puedan ser usadas para el manejo y conservación. Para alcanzar éste objetivo, en primer lugar se van a organizar y estandarizar cada una de las bases de datos, buscando algunas asociaciones entre variables. Luego se explorará el patrón de regionalización de las colonias reflejado por cada base de datos independientemente. De acuerdo a los resultados de éstos patrones de regionalización se seleccionarán las bases de datos a emplear para la regionalización final. Por último se explorará la regionalización general de las colonias de lobo marino, con base en las variables seleccionadas.

2.2 Concentración de metales en hueso de lobo marino

Los metales traza en el agua marina son elementos que se encuentran en una concentración menor a 1 mg/kg o 1 ppm. Estos pueden ser adquiridos por los organismos a través del agua -ya sea por su ingestión a través del alimento (e.g. Cd, Cu, Zn), por absorción a través de heridas en la piel (Hg) (Skoch, 1990), o vía respiratoria, dependiendo del elemento y de la forma química que se encuentre (Hoffman *et al.*, 1995). El lobo marino, como depredador tope y debido a su alta longevidad, permite monitorear elementos que se acumulan en las cadenas tróficas, ya que bioacumula los metales desde los primeros eslabones tróficos (Ikemoto *et al.*, 2004).

Skoch (1990) clasificó los metales de acuerdo a su toxicidad en cuatro grupos: los metales tóxicos mayores, que provocan múltiples efectos sintomáticos y presentan alta toxicidad a bajas concentraciones (e.g. arsénico, cadmio, plomo, mercurio). Al no desempeñar funciones biológicas normales, la presencia de estos metales en los tejidos puede reflejar el contacto con un ambiente contaminado por actividades antropogénicas. Un segundo grupo lo constituyen los metales esenciales, que juegan un papel importante en el metabolismo de los organismos y son necesarios en cantidades mínimas (e.g. cobalto, cobre, selenio y zinc) (Thompson, 1995, Ando *et al.*, 2005). Los elementos esenciales se pueden tornar tóxicos una vez que rebasan cierta concentración. Otro grupo está conformado por los metales usados en terapia médica (e.g. aluminio, oro, litio) y por último, los metales tóxicos menores que son poco comunes en el ambiente (e.g. antimonio, magnesio, plata). En la Tabla 7 se muestra la concentración promedio de los metales en estudio y la forma química en que se encuentran en el agua marina.

Una manera de estudiar la acumulación de los metales es analizando tejidos con escasa renovación como es el hueso. Los metales se incorporan al hueso y dientes durante la calcificación de la matriz intercelular y durante el remodelado óseo pueden salir e ir a la circulación sanguínea. El 99% del Ca, 90% del Pb, 50% del Zn y el 46% del Cu se encuentran en el hueso y también son importantes el Ni y Co (Farias-González, 1996).

Tabla 7. Concentración promedio de los metales en estudio, forma química en que se encuentran en el agua marina (Chester, 2003) y concentración de algunos de ellos en el agua superficial del Golfo de California.

Metal traza	Especiación en agua de mar oxigenada	Concentración en agua de mar oxigenada (nmol/kg)
Aluminio	$\text{Al}(\text{OH})_4^-$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$	5 - 40
Fierro	$\text{Fe}(\text{OH})_3^0$	0.1 - 2.5
Cobalto	Co^{2+} , CoCO_3^0 , CoCl^+	0.01 - 0.1
Níquel	Ni^{2+} , NiCO_3^0 , NiCl^+	2 - 12
Cobre	CuCO_3^0 , CuOH^+ , Cu^{2+}	0.5-6
Zinc	Zn^{2+} , ZnOH^+ , ZnCO_3^0 , ZnCl^+	0.05-9
Arsénico	HAsO_4^{2-}	15-25
Selenio	SeO_4^{2-} , SeO_3^{2-}	0.5-2.3
Cadmio	CdCl_2^0	0.001-1.1
Mercurio	HgCl_4^{2-}	0.002 - 0.010
Plomo	PbCO_3^0 , $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{2-}$, PbCl^+	0.005 - 0.175

En éste trabajo se cuenta con datos del contenido de 11 metales en bula timpánica de lobos marinos. La ventaja de éste hueso es que es muy compacto y presenta muy escasa remoción, por lo que el análisis de los metales representa la acumulación de los metales a lo largo de la vida de los animales. Se supone que la asociación de las colonias de lobo marino resultantes del análisis del contenido de metales, se relacionará con el alimento y/o características oceanográficas circundantes de las colonias.

Obtención de la base de datos

Se cuenta con datos de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cobalto, hierro, mercurio, níquel, plomo, selenio y zinc, registrados en bula timpánica de lobos marinos de 10 colonias, colectados en el período 1978-1994 (Aurioles-Gamboa, datos no publicados).

La metodología del procesamiento analítico se describe en detalle en Farias-González (1996), así como el procedimiento empleado para la calibración del espectrofotómetro y la conversión de las lecturas a las concentraciones de metales en microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$) de peso seco. Los estándares empleados y la sensibilidad del equipo se describen en Elorriaga (2002). El trabajo de laboratorio consistió en el corte de hueso y la posterior cuantificación de los metales en un equipo de espectrofotometría de absorción atómica del Laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, Ciudad de México. El Hg se determinó por la técnica de vapor frío y se expresó en nanogramos por gramo (ppb), por lo que posteriormente se convirtió a $\mu\text{g/g}$ (ppm).

Análisis de datos

Para procesar esta base de datos, en primer lugar se quitaron los valores extremos y se realizaron correlaciones entre los metales. Los datos se transformaron con logaritmo para minimizar las diferencias de escala entre los distintos metales. Posteriormente, se analizó cuales metales presentaban diferencias significativas entre colonias utilizando análisis de varianza y de Kruskal Wallis, de acuerdo a si los datos cumplían o no con los supuestos de normalidad.

Para seleccionar los metales a ser utilizados para la regionalización se consideraron dos criterios: aquellos que se correlacionaran con más metales (de manera de tener representados más metales) y los que presentaran diferencias significativas entre colonias (con la finalidad de que la regionalización incluya diferencias importantes entre las localidades). Los elementos que presentaron más correlaciones con otros metales fueron el Co y el Ni, que se correlacionaron con otros 4 metales cada uno. En el Anexo 1 se muestran las correlaciones de Pearson entre todos los metales. Por otro lado, los metales que presentaron diferencias significativas

entre colonias fueron el As, Hg y Ni. Así, para explorar el patrón de distribución geográfica se eligieron el As, Hg, Co y Ni. Los análisis estadísticos utilizados fueron el análisis de clasificación (cluster), empleándose la unión de Ward y la distancia Euclideana y el análisis componentes principales vía matriz de correlación. Finalmente, se realizó un análisis discriminante para confirmar la pertenencia a los grupos delineados por los análisis exploratorios.

Resultados

El metal que se presentó con mayor abundancia en bula timpánica fue el aluminio con 68 mg/kg, seguido por el zinc cuyo promedio general fue de 59 mg/kg (Tabla 8). Los que se encontraron en menor concentración fueron el Hg (0.08 mg/kg) y el Cd (2.8 mg/kg). Seis metales presentaron máximas concentraciones en Nolasco: arsénico, cadmio, cobalto, níquel, plomo y zinc. El aluminio mostró la mayor concentración promedio en Granito y Cantiles. También se encontraron altos niveles de cobalto y zinc en lobos de San Esteban y San Pedro Mártir. El material colectado en Los Islotes presentó las mayores concentraciones de hierro y selenio y altos niveles de níquel, plomo y arsénico. Las loberías del norte de Ángel de la Guarda presentaron altas concentraciones de aluminio, hierro, mercurio y plomo en sus bulas timpánicas. En lo que se refiere a las concentraciones menores, tanto el aluminio, como cobre, mercurio, hierro, níquel y plomo fueron bajos en las muestras de San Pedro Mártir. El contenido de arsénico fue menor al límite de detección de la técnica aplicada en las muestras de 4 colonias en el norte. Los contenidos de cadmio, cobalto y selenio fueron mínimos en Machos y Cantiles y por último el contenido de zinc fue bajo en lobos marinos de Farallón de San Ignacio, Los Islotes y Consag (Tabla 8).

El análisis de clasificación describe la existencia de dos grupos de colonias: uno formado por San Jorge, Isla Lobos, Granito, Cantiles y Machos, situadas en el Golfo norte y zona de las grandes islas y el segundo constituido por San Esteban, S. Pedro Mártir, Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes, situados de Ángel de la Guarda al sur (Fig. 4).

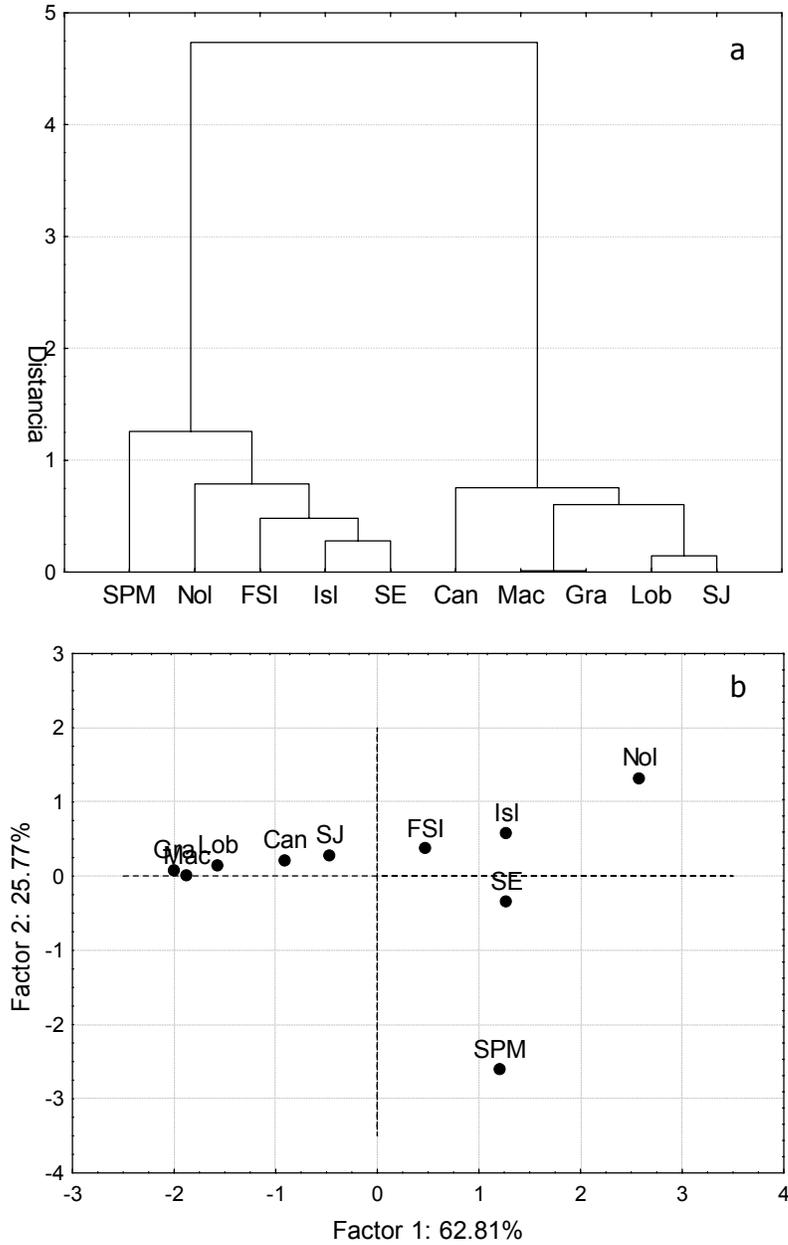


Figura 4. Resultados de los tratamientos estadísticos de la concentración promedio de As, Co, Hg y Ni en bula timpánica en 10 colonias de lobo marino: a) Análisis de clasificación (cluster); b) Análisis de componentes principales.

La ubicación espacial de los dos grupos se observa en la Figura 5. El análisis de componentes principales sugiere la misma separación de las colonias en la ordenación del primer componente, que explica el 63% de la variabilidad. Por último, el análisis

discriminante confirmó estos dos grupos, con un Lambda de Wilks significativo ($W=0.0525$, $F_{4,5}=22.56$, $p=0.0021$), y predijo clasificación correcta de las colonias del 100%. El metal que más contribuyó a esta discriminación fue el As ($W=0.245$, $W_{\text{parcial}}=0.214$, $F_{1,5}=18.31$, $p=0.008$).

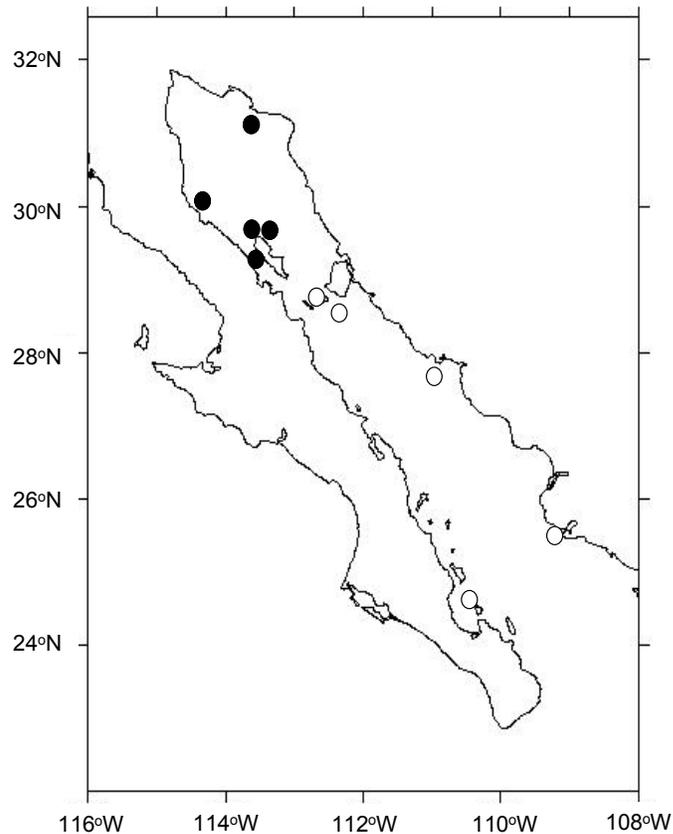


Figura 5. Regionalización indicada por el contenido de As, Co, Hg y Ni en bula timpánica de lobos marinos pertenecientes a 10 colonias en el Golfo de California.

De norte a sur, en negro: San Jorge, Isla Lobos, Granito, Los Cantiles y Los Machos; y en blanco San Esteban, S. Pedro Mártir, Nolasco, F. de San Ignacio y Los Islotes.

Tabla 8. Contenido promedio \pm desvío estándar de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, mercurio, hierro, níquel, plomo, selenio y zinc (mg/kg), en bula timpánica de lobos marinos en 10 colonias del Golfo de California. Entre paréntesis se muestra el número de muestra disponible en cada colonia.

Colonia	Al	As	Cd	Co	Cu	Hg	Fe	Ni	Pb	Se	Zn
San Jorge (4)	46 \pm 58	0 \pm 0	2.2 \pm 2.7	27 \pm 44	4.0 \pm 3.8	0.053 \pm 0.086	30 \pm 22	41 \pm 38	30 \pm 22	45 \pm 91	46 \pm 37
Isla Lobos (9)	71 \pm 50	0 \pm 0	2.8 \pm 1.3	27 \pm 33	3.5 \pm 0.9	0.210 \pm 0.340	72 \pm 66	30 \pm 13	28 \pm 7.3	35 \pm 82	68 \pm 40
Granito (9)	114 \pm 139	2.3 \pm 6.8	2.8 \pm 1.4	27 \pm 29	3.6 \pm 0.9	0.176 \pm 0.189	85 \pm 83	32 \pm 14	30 \pm 3.8	35 \pm 82	49 \pm 18
Cantiles (4)	98 \pm 79	0 \pm 0	2.2 \pm 0.4	12 \pm 1.0	2.9 \pm 0.3	0.158 \pm 0.045	73 \pm 31	34 \pm 1.4	25 \pm 4.9	0 \pm 0	48 \pm 7
Machos (3)	54 \pm 18	0 \pm 0	1.8 \pm 0.2	12 \pm 3.7	3.0 \pm 1.0	0.137 \pm 0.057	60 \pm 8	33 \pm 5	28 \pm 12	0 \pm 0	67 \pm 17
S. Esteban (15)	79 \pm 82	29 \pm 58	3.3 \pm 2.9	38 \pm 41	3.6 \pm 2.2	0.031 \pm 0.065	39 \pm 27	25 \pm 24	27 \pm 16	42 \pm 60	74 \pm 56
S.P. Mártir (2)	4.4 \pm 6.2	13 \pm 18	2.4 \pm 3.4	39 \pm 54	2.4 \pm 3.4	0 \pm 0	16 \pm 22	4.8 \pm 7	13 \pm 19	36 \pm 51	71 \pm 99
Nolasco (4)	82 \pm 81	49 \pm 52	5.5 \pm 0.6	89 \pm 11	5.1 \pm 0.3	0 \pm 0	47 \pm 23	76 \pm 15	38 \pm 3.1	44 \pm 27	83 \pm 57
F.S.Ignacio (9)	58 \pm 42	11 \pm 33	2.2 \pm 1.7	27 \pm 35	3.9 \pm 2.7	0.047 \pm 0.044	46 \pm 32	43 \pm 27	23 \pm 14	18 \pm 42	45 \pm 44
Islotes (5)	71 \pm 52	26 \pm 53	3.3 \pm 2.1	38 \pm 41	4.2 \pm 1.6	0.028 \pm 0.044	115 \pm 96	49 \pm 25	30 \pm 10	104 \pm 187	43 \pm 30
Promedio	68 \pm 30	13 \pm 17	2.9 \pm 1.1	33 \pm 22	3.6 \pm 0.8	0.08 \pm 0.08	58 \pm 29	37 \pm 18	27 \pm 6	36 \pm 29	59 \pm 15

Discusión

Los resultados permitieron determinar la existencia de un patrón geográfico de las colonias de lobo marino al norte y sur de Ángel de la Guarda (Fig. 5). Es notable la alta concentración encontrada en la mayoría de los metales en hueso de lobos marinos en Nolasco y la baja concentración hallada en San Pedro Mártir. Ambas colonias se encuentran a unos 100 km de distancia y tendrían la influencia de la costa este del Golfo de California. Aparentemente, la presencia de altas concentraciones de algunos metales en el Golfo es restringida, influyendo a las colonias que se encuentran más cercanas. Cabe señalar que Nolasco presenta el menor número de muestra (2 individuos), por lo que quizás la situación podría variar si se dispusiera de un mayor número de datos.

Metales en el Golfo de California

En cuanto a la distribución de los metales en el Golfo, fue difícil encontrar asociaciones claras entre las agrupaciones de colonias resultantes y el nivel de los metales en el medio. La información es escasa y puntual o proviene de agua (e.g. Delgadillo Hinojosa *et al.*, 2001) o sedimentos (Shumilin *et al.*, 2000; 2002). El Golfo de California tiene poco aporte de metales por ríos y estos se ubican en la costa oriental. Las ciudades e industrias son escasas.

Las concentraciones aquí reportadas mostraron pocas correspondencias espaciales con las concentraciones de metales en sedimentos en el Golfo de California. Por ejemplo, la mayor concentración de cadmio en agua en el Golfo de California se encontró en la zona de las grandes islas y la menor en la boca del golfo (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001). Este patrón no coincide espacialmente con el presente trabajo, donde el cadmio resultó con mayor concentración promedio en las colonias de la zona centro-sur del golfo, de las cuales solo San Esteban se sitúa en la zona de las grandes islas. Por otro lado, se ha registrado un alto impacto del Cu en las cercanías de Santa Rosalía a consecuencia de minería, fundición y producción del cobre (Shumilin *et al.*, 2000). Las loberías más cercanas a dicha localidad son San Pedro Mártir y San Esteban, sin embargo los mayores niveles de cobre se registraron en muestras de huesos en Nolasco. La distribución del Co reportada en los sedimentos del Alto Golfo (Shumilin *et al.*, 2002) tampoco coincidió con las mayores

concentraciones en lobos marinos, las cuales fueron bajas y similares en las 3 loberías situadas en el Golfo norte. El contenido de As fue elevado en sedimentos del Alto Golfo, mientras que no se encontró en muestras de huesos de lobos marinos de las colonias de San Jorge ni Lobos y fue bajo en Granito. El contenido de Se fue escaso especialmente en sedimentos del este del Alto Golfo (Shumilin *et al.*, 2002), mientras que se encontró alto en lobos marinos de San Jorge y relativamente alto en Lobos y Granito.

También existieron similitudes geográficas de algunos metales que se hallaron altas concentraciones en áreas cercanas a colonias de lobo marino y en hueso de lobos de dichas colonias. Es el caso del Al que se encontró enriquecido en la costa oeste del Alto Golfo (Daesslé *et al.*, 2004), lo cual coincide con el alto nivel hallado en Isla Lobos, Granito y Cantiles colonias situadas esa zona. El Ni se encontró enriquecido en sedimentos del Delta del Río Colorado y fue relativamente alto en las colonias norteñas (especialmente en San Jorge). En los alrededores de Santa Rosalía, Shumilin *et al.* (2000) reportan concentraciones anómalamente altas de Cu, Co, y Zn en sedimentos. Estos excedieron los niveles reportados en puertos y áreas industriales, así como otros mares marginales y fueron comparables a los mayores niveles hallados en otras áreas muy contaminadas. Los contenidos de estos metales fueron máximos en bula timpánica de lobos marinos de Nolasco, e incluso los niveles del Co y el Zn fueron muy elevados en San Esteban y San Pedro Mártir. Esta última es la colonia más cercana a Santa Rosalía aunque a una distancia de 300 km aproximadamente. Será importante investigar en el futuro cual es el mecanismo de transporte de los metales a tales distancias, debido a que no podrían transportarse en forma disuelta, a causa de la rápida dilución en el agua de mar, pero acumulados en el plancton u otras partículas finas tal vez podrían hacerlo.

En sedimentos de la Laguna de La Paz Shumilin *et al.* (2001) reportan altas concentraciones de As, Se y Pb lo cual se atribuye en parte a la presencia de fosforita proveniente de la formación San Gregorio y/o del distrito minero de San Juan de la Costa. Estos tres metales presentaron máximas concentraciones en lobos marinos de Los Islotes, en la Bahía de La Paz. Se cree que la distribución del selenio en la laguna posiblemente se deba a descargas urbanas y/o el arroyo La Palma, mientras que

algunas fuentes potenciales de plomo son una fábrica de cemento, instalaciones navales, muelles, debido a que es una zona muy turística y a la presencia de marinas. El uso de gasolina con plomo en el pasado (1960-1990) es una de las causas posibles de estos altos niveles de este elemento en los sedimentos (Shumilin *et al.*, 2001). De acuerdo con Farias-González (1996), los plaguicidas de BC, Sonora y Sinaloa contienen Hg, As y Pb. Los contenidos de estos dos últimos metales fueron máximos en las muestras de huesos de lobos marinos de Nolasco, colonia cercana a la costa de Sonora, lo que podría deberse a la descarga de ríos. Sin embargo fueron bajos en San Pedro Mártir, la colonia más cercana a Nolasco.

Contenido de metales en Pinnípedos

En un estudio anterior realizado en el Golfo de California (Farias-González, 1996) los metales que más se acumularon en bula timpánica de lobo marino, fueron el Al, Fe y Zn con contenidos promedio mayores a $45 \mu\text{g.g}^{-1}$. Los niveles promedio hallados en el presente estudio también superan este valor, aunque ciertas colonias muestran menores promedios. Por otro lado, las concentraciones de Pb, Ni y Co en bula timpánica en el mencionado estudio fueron menores a los $30 \mu\text{g.g}^{-1}$, mientras que aquí el promedio de los niveles de Co y Ni excedieron levemente este límite. El Cu y Cd, según Farias-González (1996) presentaron niveles menores a $10 \mu\text{g.g}^{-1}$, lo cual coincide con nuestros límites. Finalmente la concentración promedio de Hg fue de $0.16 \mu\text{g.g}^{-1}$, mayor al aquí hallado (0.08) aunque tres colonias rebasaron este nivel.

Los contenidos de Al, Cd y Zn aquí reportados resultaron mucho menores a lo encontrado en un trabajo anterior por Becerril (1995) en el Golfo de California, quien reporta niveles promedio de $140 \mu\text{g.g}^{-1}$, $6 \mu\text{g.g}^{-1}$ y $165 \mu\text{g.g}^{-1}$ en hueso de lobos marinos respectivamente. Este autor encontró un promedio de Co de $11 \mu\text{g.g}^{-1}$, muy similar a lo hallado en las colonias que presentaron menor promedio para éste metal (Los Machos y Los Cantiles). El Cu presentó bajos valores promedio, comparado con Becerril (1995) que reporta una concentración promedio de $8 \mu\text{g.g}^{-1}$. Con respecto al Ni, sus valores están en el rango inferior de lo hallado en el presente estudio ($28 \mu\text{g.g}^{-1}$), casi $10 \mu\text{g.g}^{-1}$ menor al promedio general. El Pb se presentó en promedios algo inferiores a dicho estudio ($32 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Becerril, 1995).

Elorriaga (2002) menciona rangos de variación bastante mayores de Cu, Fe, Hg,

Se, Pb y Zn en pelo de crías de 8 colonias. La mayor variabilidad en estas mediciones puede deberse a la mayor tasa de renovación del pelo. Coincidentemente dicho estudio también reporta altos valores de mercurio en pelo de crías en Granito y bajos en San Pedro Mártir y San Esteban y altas concentraciones de Fe y Se en crías de Los Islotes.

En 1995 se examinó la presencia de arsénico, plomo y mercurio en varios mamíferos marinos varados en el Alto Golfo de California. Se encontraron altas concentraciones de As ($275 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) y Pb ($285 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) en hígado de delfín y Hg (69.1 y $115.3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) en hígado y riñón de delfín. Sin embargo, como estos metales son acumulativos, su efecto es subletal y se cree que estos niveles se habrían acumulado en un extenso período de tiempo y no se deberían a este evento de mortalidad masiva (Vidal & Gallo-Reynoso, 1996). Los efectos negativos de estos metales no son bien comprendidos en los mamíferos marinos y no han sido ligados a mortandades masivas (Geraci *et al.*, 1999).

En relación con la obtención de los metales a través del alimento, existe poca información que permita analizar los resultados al respecto. Se ha mencionado que las altas concentraciones de Fe y Zn podrían estar relacionadas con el consumo de Mictófidios (Elorriaga, 2002). Por otra parte, el Cd suele ser elevado en depredadores que se alimentan de cefalópodos (Bustamante *et al.*, 1998), y este podría ser el caso en algunas colonias que presentaron altos niveles de cadmio y el consumo de calamar es importante (Nolasco y Los Islotes) (Porrás-Peters, 2004).

2.3 Variables ambientales alrededor de las colonias de lobo marino

Las características ambientales influyen el hábitat donde los lobos marinos mantienen sus colonias y se alimentan, por lo cual es importante considerarlas a la hora de realizar decisiones de manejo (Call & Loughlin, 2005). Particularmente, la temperatura es un factor que afecta a los organismos marinos cuya distribución geográfica está asociada con el gradiente latitudinal de temperaturas (Luch-Belda *et al.*, 1991). Esta actúa principalmente afectando la abundancia y disponibilidad de especies presa. Por ejemplo, las grandes fluctuaciones de la sardina Monterey entre

1990 y 1996 fueron inducidas por una disminución en los niveles de surgencia y aumento en las temperaturas en el centro del Golfo. El patrón general de migración de la sardina puede ser explicado por la estacionalidad de la temperatura superficial del mar y su circulación (Hammann *et al.*, 1998). Por otro lado, la concentración de clorofila 'a' es un reflejo del nivel de productividad, lo cual puede indicar áreas de concentración de presas de los lobos marinos.

La percepción remota es una técnica de adquisición de información sobre la superficie de la tierra desde sensores instalados en plataformas espaciales. Se basa en el registro de energía reflejada o emitida y su procesamiento, análisis y aplicación de la información. Para el registro de la temperatura superficial de mar, así como de la clorofila se emplean sensores pasivos, que se limitan a recibir la energía electromagnética (infrarroja o en el visible respectivamente). Estas técnicas proveen una cobertura global y periódica de la superficie terrestre, mediante una visión panorámica. Además brindan homogeneidad en la toma de datos, e información sobre regiones del espectro no visible. Finalmente tienen la ventaja de que las imágenes presentan formato digital lo que agiliza su tratamiento.

El Golfo de California presenta un tamaño ideal para estudios de mesoescala, además al carecer generalmente de nubosidad, resulta un sitio idóneo para análisis de características oceanográficas utilizando sensores remotos (Shirasago *com. pers.*; Lluch-Cota *et al.*, 2001). La información obtenida de imágenes de satélite provee un diagnóstico de los procesos dinámicos subsuperficiales y de ésta manera pueden ser correlacionados con cambios a través de la capa superior (Soto-Mardones *et al.*, 1999). Las imágenes satelitales de clorofila 'a' reflejan adecuadamente datos *in situ* ya que a pesar de que los datos representan la capa superficial del mar, es posible identificar eventos de mesoescala como movimientos de masas de agua, fenómenos de surgencia, giros o plumas; o simplemente conocer datos locales (Zuria-Jordan *et al.*, 1995).

Los datos de TSM se obtuvieron del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) instalado en el satélite NOAA 15, y los de clorofila 'a' se obtuvieron del sensor SeaWiFS del satélite Seastar de la NASA (Tabla 9).

Tabla 9. Características de los dos satélites con sensores remotos de los cuales se obtuvieron datos para éste estudio.

Características del satélite	Sensor: AVHRR Satélite NOAA - Dato obtenido: TSM	Sensor Sea WIFS - Satélite Seastar (NASA) Dato obtenido: concentración de clorofila 'a'
Canales	<ol style="list-style-type: none"> 1. 580-680 nm (visible) 2. 735-1100 nm (borde del visible y el infrarrojo cercano) 3. 3550-1450 nm (infrarrojo cercano) 4. 1030-11300 nm (infrarrojo medio) 5. 11500-12500 nm (infrarrojo lejano) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 402-422 nm (azules) 2. 433-453 nm (violeta) 3. 480-500 nm (verdes) 4. 500-520 nm (verdes) 5. 545-565 nm (amarillos) 6. 660-680 nm (naranja-rojo) 7. 745-785 nm (vegetación) 8. 845-885 nm
Altitud	entre 830 y 870 km	705 km
Swath (ancho del barrido)	2700 km	1500 a 2800 km
Resolución espacial	1.1, 4 y 9 km	1.1, 4.5 y 9 km

Obtención de la base de datos

Los datos de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila 'a' se obtuvieron a partir de imágenes satelitales de invierno en la fase ascendente del satélite, con una resolución espacial de 9 km y formato hdf (hierarchical data format). Este formato permite obtener los datos de temperatura superficial del mar (°C) o clorofila 'a' (mg/m³). Se seleccionó el invierno debido a que se considera un período crítico para las hembras que están preñadas y amamantando, para los subadultos que se dispersan y las crías que comienzan a alimentarse independientemente.

La información de TSM se obtuvo de programa NOAA/NASA/ AVHRR Ocean Pathfinder (ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/) y las concentraciones de clorofila 'a' del sensor SeaWifs fueron tomadas de

NOAA/NASA (<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl>). Se trazaron cuadrados de 100 km de lado alrededor de cada colonia (50 km para cada lado), a fin de abarcar el área de alimentación promedio de los lobos marinos, que es de 30 a 40 km (Kuhn *et al.*, 2004) (Fig. 6). Por medio del software WIM (Windows Image Manager), se obtuvieron el promedio, desvío estándar, mediana, error estándar y el número de datos (pixeles) del interior de cada cuadrado.

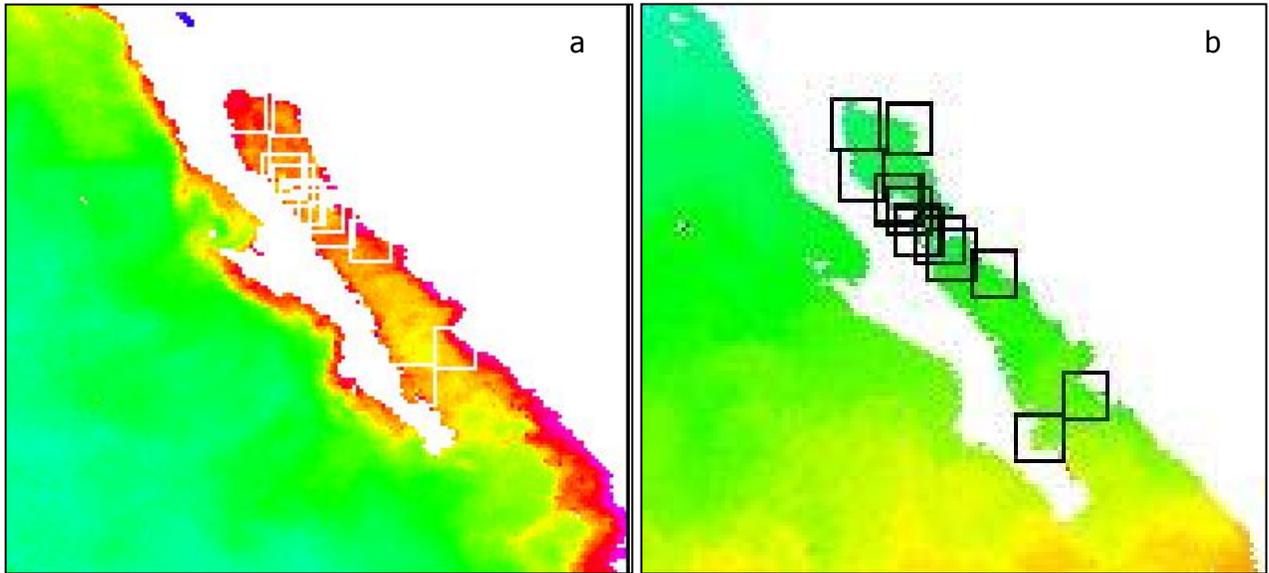


Figura 6. Áreas alrededor de las 13 colonias reproductivas de donde se obtuvieron los datos: a) Concentración de clorofila 'a' (imagen SeaWIFS) y b) Temperatura superficial del mar (imagen AVHRR).

Los criterios para la selección de años consistieron en representar años con condiciones “normales” (es decir no Niño ni Niña) y además que se contara con los meses de invierno en formato hdf disponible en internet. Así, para la TSM se emplearon imágenes mensuales (diciembre, enero y febrero) de los siguientes años: 1985, 1986, 1993, 1997, 1999 y 2000. Para la clorofila 'a' se utilizaron imágenes estacionales de los inviernos correspondientes a los años: 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003.

Análisis estadísticos

En primer lugar, se realizó un análisis de varianza para determinar la existencia de diferencias entre colonias. Para explorar la agrupación de las colonias, se utilizó un análisis de clasificación (cluster) mediante la unión simple y distancia Euclídeana, para la TSM y para la clorofila se empleó la unión media no ponderada y distancia Euclídeana.

Se seleccionaron los años más explicativos mediante un análisis de componentes principales preliminar, para luego analizar la regionalización sugerida por ambas variables juntas. Ambas variables fueron transformadas con logaritmo a fin de que fueran comparables las diferentes escalas de medición. La regionalización resultante se estableció con base en un análisis de clasificación con la unión completa y la distancia Euclídeana y un análisis de componentes principales.

Resultados

Temperatura superficial del mar

Esta variable mostró diferencias significativas entre las colonias ($F_{12}= 24.01$, $p<0.001$), siendo máxima en Los Islotes y Farallón de San Ignacio, y mínima en San Esteban y San Pedro Mártir (Fig. 7). Los análisis multivariados mostraron la existencia de tres grupos de colonias: Islotes y Farallón de San Ignacio en el golfo sur, Nolasco como grupo independiente y el resto de las colonias formando un tercer grupo (Fig. 8). Los grupos resultantes tienen consistencia geográfica, que se asemejan en las condiciones ambientales locales.

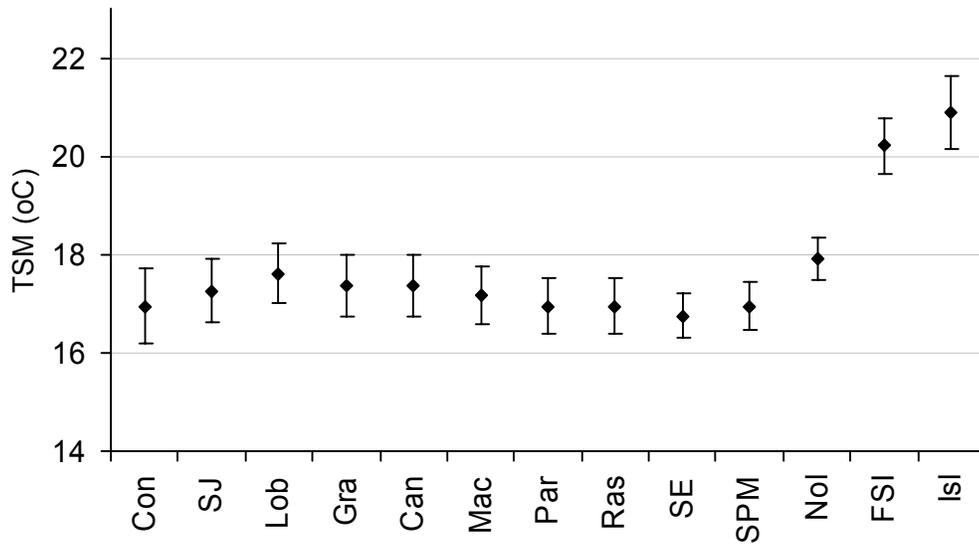


Figura 7. Temperatura superficial del mar promedio (6 años) para los alrededores de cada colonia de lobo marino en el Golfo de California, en invierno.

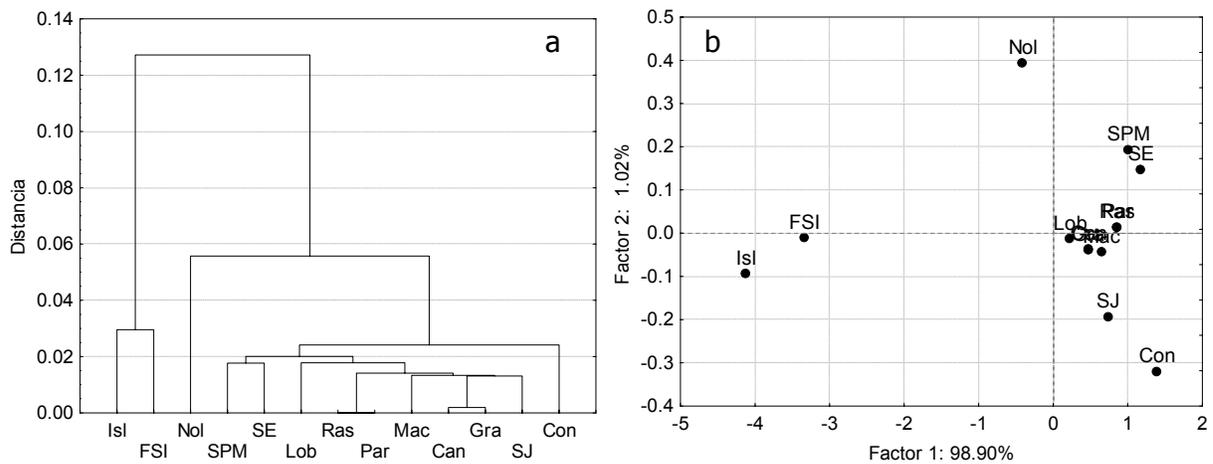


Figura 8. Resultados de los análisis estadísticos para regionalizar las colonias de lobo marino según la temperatura superficial del mar en los alrededores de cada colonia: a) Análisis de agrupamiento y b) Análisis de componentes principales.

Clorofila 'a'

Los alrededores de las colonias presentaron diferentes concentraciones promedio de clorofila ($F_{12} = 13.72$, $p < 0.001$), siendo máxima en Consag y mínima en Los Islotes (Fig.

9).

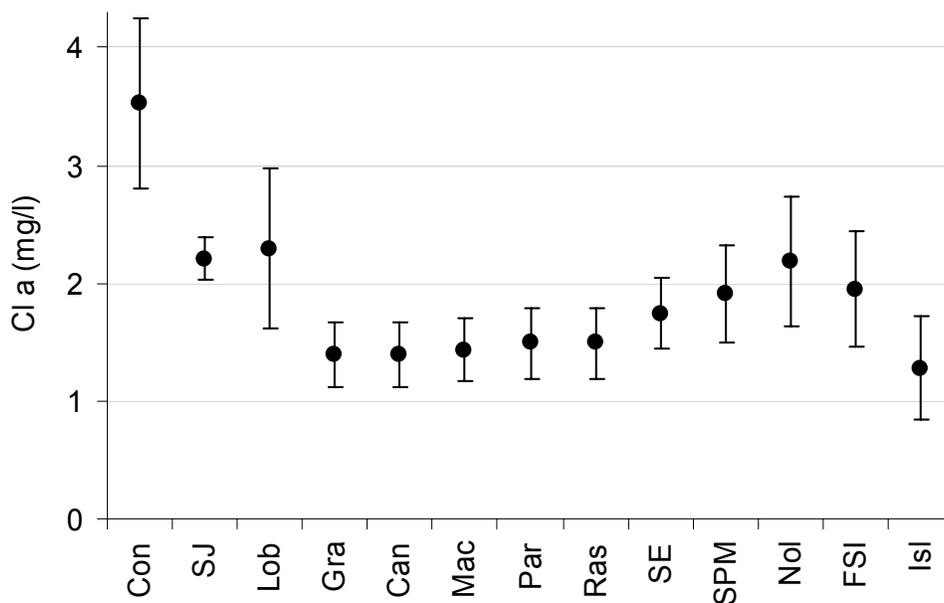


Figura 9. Concentración de clorofila 'a' promedio (5 años) para los alrededores de cada colonia de lobo marino en el Golfo de California, en invierno.

Se encontraron tres grupos de colonias: uno formado por Consag en el Alto Golfo, otro conformado por San Jorge, Isla Lobos (norte), Nolasco y Farallón de San Ignacio (centro y sur) y otro grupo formado por el resto de las colonias que se encuentran en Ángel de la Guarda junto con Los Islotes (Fig. 10 a,b).

El ACP de la TSM arrojó que los años más explicativos fueron 1986 y 1999 y para la clorofila 'a' fueron: 1999 y 2001. Por último se analizó la regionalización conjunta de ambas variables logaritmizadas (Fig. 11 a,b). A una distancia de corte de 0.3, se distinguen dos grandes grupos de colonias: uno formado por Los Islotes, San Pedro Mártir, San Esteban, Partido, Rasito, Los Machos, Los Cantiles y Granito, caracterizado por bajos niveles de clorofila. A una distancia de corte de 0.15 Los Islotes y Consag se separarían del resto de las colonias (posiblemente por presentar valores extremos de TSM (Los Islotes) y de Clorofila (Consag) (Fig. 11a). En la Figura 12 se muestra la ubicación de los grupos resultantes de los análisis multivariados de ambas variables ambientales en conjunto.

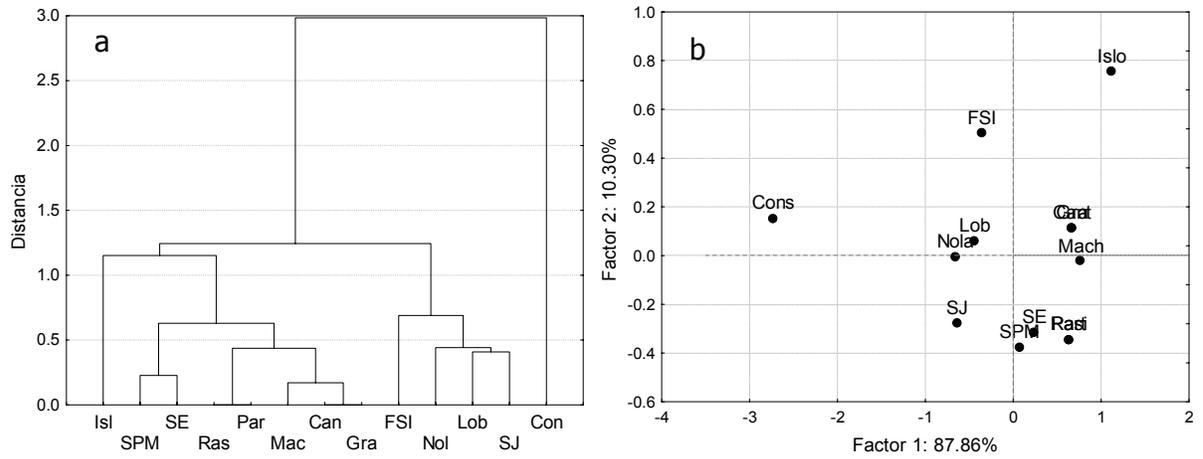


Figura 10. Resultados de los análisis estadísticos para regionalizar las colonias de lobo marino según la concentración de clorofila 'a' en los alrededores de cada colonia: a) Análisis de agrupamiento; b) Análisis de componentes principales.

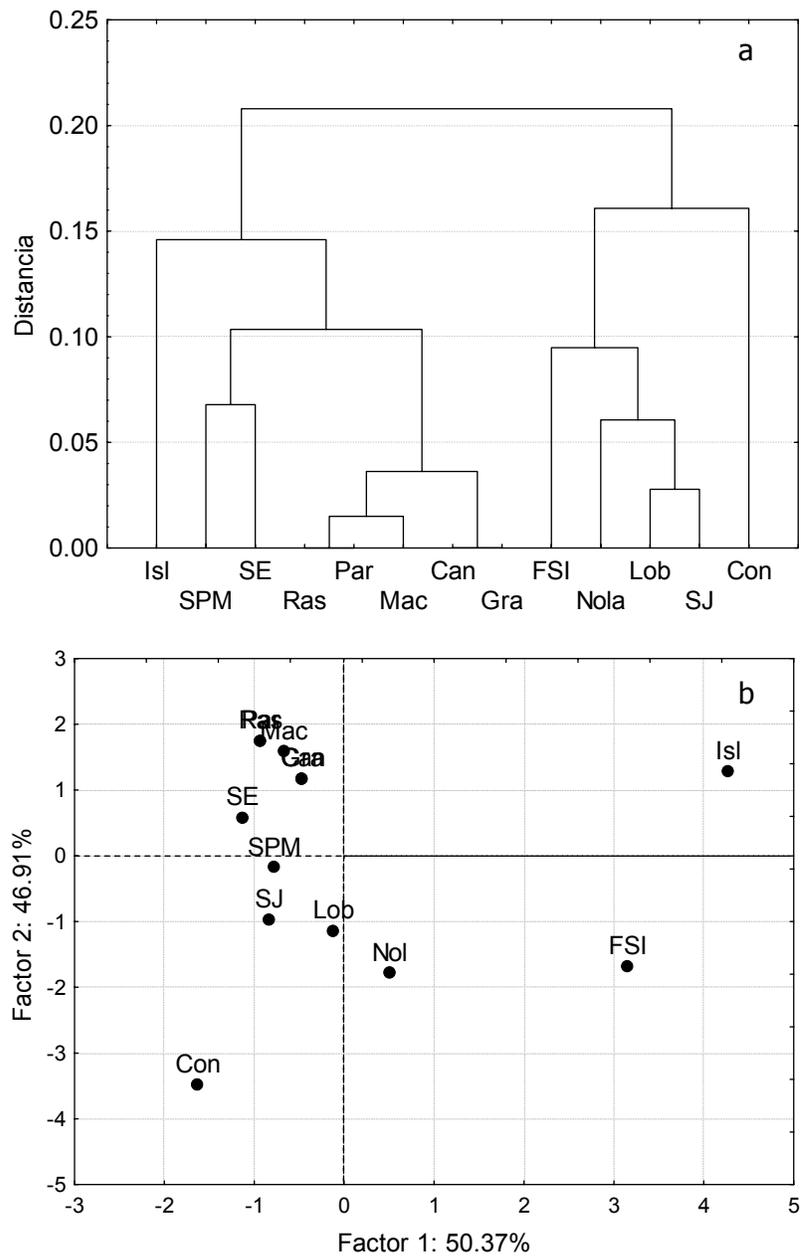


Figura 11. Resultados de los análisis estadísticos para regionalizar las colonias de lobo marino de California de acuerdo con las variables ambientales (TSM y clorofila 'a'): a) Análisis de clasificación y b) Análisis de ordenación de componentes principales.

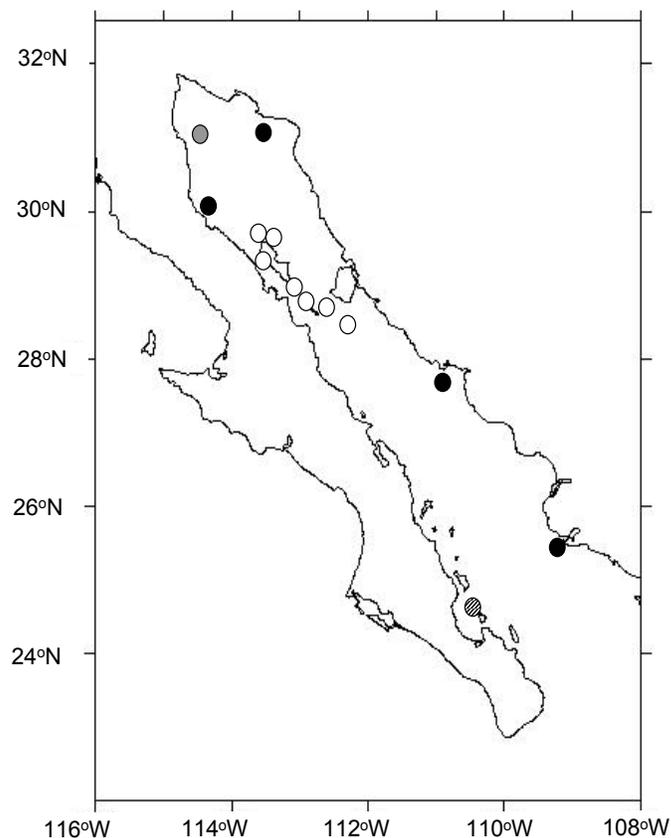


Figura 12. Mapa mostrando la regionalización indicada por las variables ambientales. En negro: San Jorge, Isla Lobos, Nolasco y Farallón de San Ignacio, en blanco: Granito, Cantiles, Machos, Partido, Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir, en gris: Consag y en rallado: Los Islotes.

Discusión

La temperatura superficial del mar disminuye de la boca hacia el Alto Golfo (Álvarez-Borrego, 1983, Soto-Mardones *et al.*, 1999). Aquí las máximas temperaturas se hallaron en la zona del sur del Golfo de California (promedio de 20 y 21°C en Farallón de San Ignacio y Los Islotes respectivamente). Estos valores se encuentran en el rango de lo hallado por Bernal *et al.* (2001), quienes mencionan que el bajo Golfo llega a temperaturas mínimas de entre 21 y 24°C en invierno y primavera, debido a los menores niveles de insolación y la gran influencia de vientos provenientes del NW. En verano éstas pueden alcanzar entre 27 y 31°C.

Las temperaturas mínimas se registraron en Consag, San Jorge, San Pedro

Mártir, Los Machos y colonias situadas entre las grandes islas, lo que tiene coherencia con el hecho de que sean áreas de surgencia y de fuerte mezcla vertical con alta productividad. Soto Mardones *et al.* (1999) y López *et al.* (2006) encontraron que la región de las grandes islas y el Canal de Ballenas respectivamente presentan las menores temperaturas del Golfo.

En cuanto a los pigmentos fotosintéticos, las concentraciones mínimas suelen estar en la boca del Golfo, principalmente en otoño (Zuria-Jordan *et al.*, 1995). En ésta zona la distribución del fitoplancton está afectada por la intrusión de masas de agua hacia el interior del Golfo. En verano los vientos del SE refuerzan la corriente de Costa Rica, que transporta agua oligotrófica superficial del Pacífico tropical oriental al interior del Golfo y causa menores concentraciones de pigmentos en verano (Zuria-Jordan *et al.*, 1995).

De acuerdo a las imágenes satelitales de clorofila 'a', los valores máximos se hallaron en las tres colonias situadas en el Alto Golfo de California, lo cual se corresponde con el hecho de que esta zona presenta altas concentraciones de nutrientes y es muy productiva durante todo el año (Millán-Nuñez *et al.*, 1999). El norte de Ángel de la Guarda presenta concentraciones de pigmentos intermedios y el Canal de Ballenas a pesar de tener altas concentraciones, presenta intensa turbulencia y mezcla (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994a), por lo que el registro superficial del satélite estaría detectando una menor concentración. El área entre las grandes islas donde se sitúan las colonias Los Cantiles, Partido, Rasito, San Esteban en Santamaría-del-Ángel *et al.* (1994a) (ver Fig. 3b, región VII), se caracteriza por la presencia de ondas internas generadas por los amplios rangos de marea. El área que comprende Nolasco y Farallón de San Ignacio (costa este del Golfo) presenta surgencias en invierno, lo que se corresponde con los valores hallados aquí, que son muy altos alrededor de las grandes islas. Por último, la Bahía de La Paz, donde se ubica la colonia Los Islotes, está influida por aguas oligotróficas de la boca del Golfo. En esta área la entrada del agua superficial del Pacífico Este Tropical provoca altas temperaturas y baja concentración de nutrientes en verano (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994a).

La regionalización ambiental mostró que las colonias del centro (muy cercanas

entre sí) se agruparon en un grupo bien diferenciado y las colonias situadas en los extremos norte y sur (Consag y Los Islotes) se diferenciaron del resto.

2.4 Isótopos estables

La técnica de isótopos estables de carbono y nitrógeno se utiliza para obtener información sobre la posición trófica y las fuentes de productividad primaria del área de alimentación, para diferentes períodos de tiempo (desde días a años), según el tejido analizado. De ésta manera los isótopos proveen un registro más extenso de la dieta de un animal que el análisis de copros o de contenido estomacal y no dependen de la recuperación de partes duras. Resulta una técnica complementaria del análisis de dieta, con la ventaja de representar el alimento asimilado, no solo el ingerido, por lo que refleja información alimenticia integrada (Hobson *et al.*, 1996).

La técnica se basa en registrar el enriquecimiento de un isótopo pesado (menos común en la naturaleza) *versus* el liviano, que es muy abundante. Las tasas de ^{12}C versus ^{13}C y ^{15}N versus ^{14}N varían como resultado de la fraccionación isotópica durante procesos físicos, químicos, y biológicos (de Niro y Epstein, 1978). La razón de isótopos de nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) de un depredador es típicamente mayor que el de su presa, por lo que informa sobre la posición trófica en donde los isótopos más pesados incrementan conforme aumenta su posición trófica (Porrás-Peters, 2004).

En animales marinos la razón de isótopos estables de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) varía geográficamente con la distancia a la costa y la latitud de alimentación, por lo que indica las preferencias alimentarias en diferentes zonas (e.g. costera vs. oceánica, pelágica vs. bentónica). Por otro lado, DeNiro y Epstein (1978) establecieron que los consumidores presentan un ^{13}C y ^{15}N mayores que su dieta, estimando que si se mantiene un fraccionamiento metabólico sucesivo a lo largo de la cadena trófica, la razón isotópica del ^{13}C aumenta un 1‰ en cada nivel trófico y el ^{15}N un 3‰.

El pelo presenta buena resolución para determinar diferencias entre colonias y al muestrear crías en las primeras semanas de vida, se estaría obteniendo un registro de la alimentación de sus madres, ya que las crías de menos de un mes (como fueron muestreadas) se alimentan solamente de leche (Porrás-Peters, 2004). El objetivo de

ésta sección es examinar la agrupación de las colonias de lobos marinos con base en su nivel de isótopos de carbono y nitrógeno en pelo de crías.

Obtención de la base de datos

Esta base de datos consiste en las razones isotópicas de carbono y nitrógeno (expresadas como $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) medidas en muestras de pelo de 10 crías en once colonias en el año 2002 (Porrás-Peters, 2004). A fin de complementar esta base de datos se agregaron los datos de Los Machos proveniente del año 2000 (Porrás-Peters, 2004) y San Jorge muestreada en 2004 (Aurioles-Gamboa, com. pers.). Se decidió completar esta base de datos con información de distintos años, ya que de acuerdo a Porrás-Peters (2004) no se observaron diferencias significativas entre los niveles de isótopos estables de 2000 y 2002.

La composición de isótopos de carbono y nitrógeno (relativas a un estándar) se mide como:

$$\delta^{15}\text{N} \text{ ó } \delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = [(R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}}) - 1] \times 1000$$

donde: $\delta^{15}\text{N}$ o $\delta^{13}\text{C}$ es la diferencia en partes por mil (‰) entre el contenido de ^{15}N o ^{13}C de la muestra y de la del estándar y R_{muestra} y $R_{\text{estándar}}$ son las razones de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ o $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ para la muestra y el estándar, respectivamente. El estándar internacional que se usa para el nitrógeno es el N_2 atmosférico y para el carbono el carbonato de calcio conocido como Pee Dee Belemnita (Porrás-Peters, 2004).

Análisis estadísticos

Con el fin de establecer si existen diferencias significativas en el nivel de los isótopos entre las colonias, se compararon los datos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ utilizando un ANOVA de una vía. Para explorar las asociaciones entre las colonias se tomó el procedimiento realizado por Porrás-Peters (2004). Se realizaron análisis multivariados de clasificación (cluster), utilizando la unión de Ward y distancia de Manhattan y análisis de componentes principales (ACP) para los niveles promedio de cada isótopo para cada colonia.

Resultados

Tanto el isótopo de carbono como el de nitrógeno, presentaron diferencias significativas entre colonias ($F_{11}= 15.94$, $p<0.0001$ para el $\delta^{13}\text{C}$ y $F_{11}= 22.83$, $p<0.0001$ para el $\delta^{15}\text{N}$). En el caso del $\delta^{13}\text{C}$, los análisis *a posteriori* mostraron que Islotes y Cantiles presentaron valores significativamente menores que el resto de las colonias, mientras que Partido y Nolasco tuvieron valores mayores diferenciándose significativamente de casi todas las colonias. Según Porras-Peters (2004) podrían distinguirse tres grupos: Consag, San Jorge, Partido, Nolasco y F. de San Ignacio con valores altos de $\delta^{13}\text{C}$; Lobos, Granito, Machos, Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir con niveles medios y finalmente Cantiles y Los Islotes con valores bajos (Fig. 13a,b).

Para el $\delta^{15}\text{N}$, Consag presentó el mayor promedio siendo diferente de todas las demás colonias mientras que Los Machos y El Rasito tuvieron el menor valor. Los análisis multivariados indican la formación de tres grupos: uno formado por Consag con muy altos valores, otro caracterizado por valores medios (integrado por San Jorge, Isla Lobos, Granito, Los Cantiles, Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes) y el tercero con valores bajos (con Los Machos, El Partido, El Rasito, San Esteban y S. Pedro Mártir) (Fig. 13a,b).

El análisis de ambos isótopos juntos distinguió tres grupos de colonias: 1) Machos, Partido, Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir en el oeste y sur de Ángel de la Guarda, 2) Lobos, Granito Cantiles (en el norte y este) junto con Los Islotes y 3) Consag, San Jorge (Alto Golfo), Nolasco y Farallón de San Ignacio en la costa centro este (Fig. 14). Estos tres grupos se corroboraron mediante un análisis discriminante, obteniéndose una clasificación del 100% para los tres grupos y una Lambda de Wilks significativa ($W=0.808$, $F_{4,18}=11.33$, $p=0.0001$). Ambos isótopos contribuyeron significativamente a la clasificación (N: $W=0.29$, $F_{2,9}= 11.89$, $p=0.003$; C: $W=0.28$, $F_{2,9}= 11.36$, $p=0.003$). En la Figura 15 se puede observar la ubicación de los diferentes grupos de colonias en el mapa.

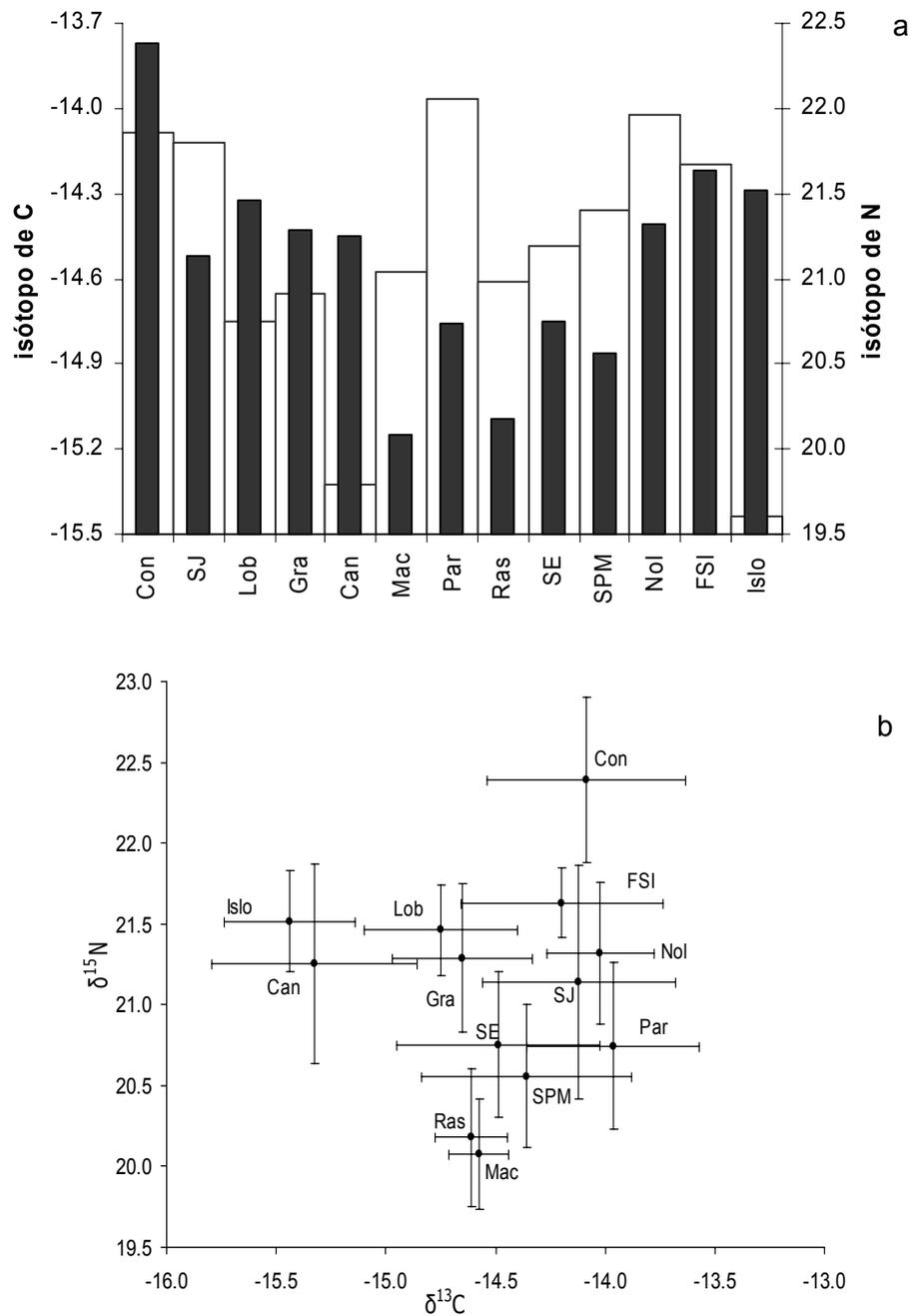


Figura 13 a). Promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en pelo de crías en las colonias reproductivas de lobo marino en el Golfo de California. Las columnas en blanco representan $\delta^{13}\text{C}$ y las columnas en negro representan $\delta^{15}\text{N}$. b). Valor promedio y desvío estándar de los isótopos de carbono y nitrógeno (Porrás-Peters, com. pers.).

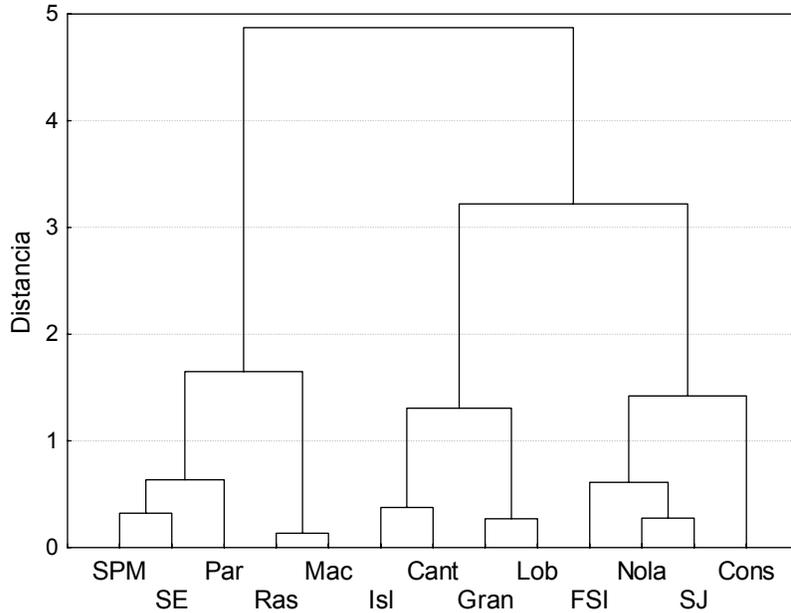


Figura 14. Análisis de agrupamiento de las colonias de lobo marino en el Golfo de California utilizando las razones de isótopos estables de carbono y nitrógeno.

Discusión

La señal isotópica es un reflejo del alimento consumido, pero también de las condiciones oceanográficas en cada región (Burton & Koch, 1999). Se supone que las colonias que presentaron menores niveles de $\delta^{15}\text{N}$ se estarían alimentando de presas de menor nivel trófico (Porrás-Peters, 2004). Este fue el caso de las colonias situadas al oeste y sur de Ángel de la Guarda, posiblemente debido a su consumo de peces pelágicos (de las familias Clupeidae, Engraulidae y Scombridae) que son abundantes en la zona (García-Rodríguez, 1999). Por otro lado, altos niveles de $\delta^{15}\text{N}$ podrían representar el consumo de presas de alto nivel trófico (Porrás-Peters, 2004), lo que se halló al norte de Ángel de la Guarda y en el centro-sur del Golfo (Farallón de San Ignacio, Nolasco, San Jorge y Consag). Este grupo es muy similar a uno definido por la clorofila, por lo que aparentemente las colonias comparten características oceanográficas que se reflejan en el nivel trófico.

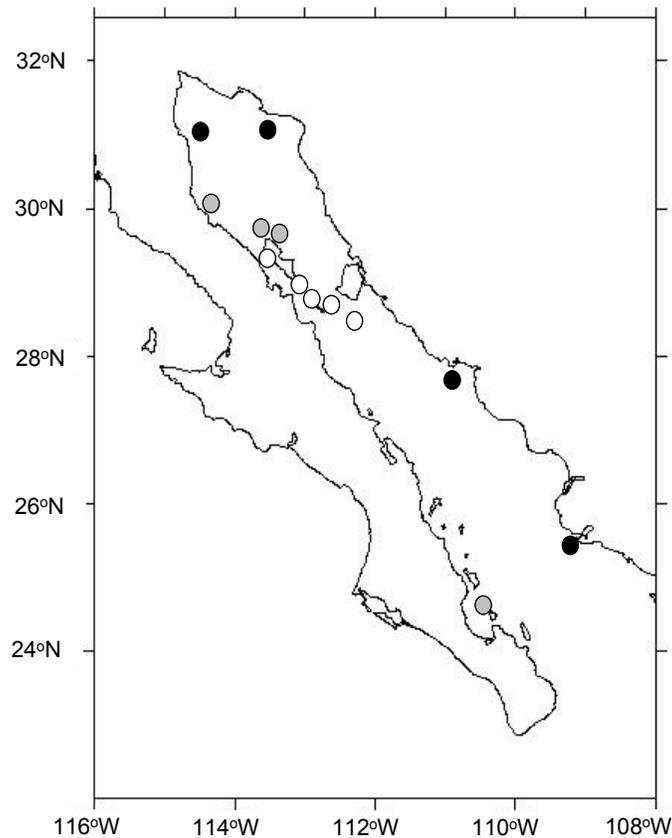


Figura 15. Mapa mostrando las agrupaciones resultantes con base en los isótopos de carbono y nitrógeno en las 13 colonias de lobo marino.

En negro: Consag, San Jorge Nolasco y F. de San Ignacio; en gris: Isla Lobos, Granito, Los Cantiles y Los Islotes; y en blanco: Los Machos, El Partido, El Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir.

El Alto Golfo es un ecosistema con muy alta productividad primaria, que se reflejaría en presas y depredadores. Así, el alto valor isotópico hallado en Consag respecto al resto de las colonias, podría ser consecuencia de la gran actividad microbiana que genera materia orgánica y a los procesos de remineralización que ocurren en el delta del Río Colorado que producen fitoplancton muy enriquecido en $\delta^{15}\text{N}$ (Aguíñiga, 1999). Ambientalmente, esta colonia se diferenció de las demás.

La composición de isótopo de carbono en animales marinos varía entre habitats costeros o pelágicos según la composición isotópica de la fuente de productividad primaria. Así, en áreas de surgencias costeras se genera carbono orgánico enriquecido en ^{13}C en la base de la cadena trófica, resultando en altos valores de $\delta^{13}\text{C}$

(Burton & Koch, 1999). En cambio, en zonas pelágicas limitadas en nutrientes, hay menor crecimiento de fitoplancton y el carbono orgánico en la base está enriquecido en ^{12}C , lo que se refleja en bajos niveles de $\delta^{13}\text{C}$ (Burton & Koch, 1999). Los altos niveles de isótopo de carbono en el Alto Golfo de California pueden deberse a que las fuertes corrientes de marea que propician la formación de surgencias con agua fría y abundancia de nutrientes (influyendo las colonias Consag y San Jorge). También se estaría reflejando en El Partido, San Esteban, San Pedro Mártir y en Nolasco y Farallón de San Ignacio posiblemente se deba a las surgencias. En el caso de Los Islotes y Los Cantiles, sus bajos niveles de C pueden deberse a su alimentación pelágica como se ha observado en la primera (Porrás-Peters, 2004).

Al analizar la regionalización de ambos isótopos, se encontró un grupo de colonias situadas en una franja que va de Machos en el Canal de Ballenas (oeste de Ángel de la Guarda), hasta San Esteban al sur de dicha isla. Estas presentan bajo $\delta^{15}\text{N}$ y valores medios de $\delta^{13}\text{C}$. Las colonias situadas al norte y este de Ángel de la Guarda en cambio se asociaron con Los Islotes, y se caracterizan por sus bajos niveles de $\delta^{13}\text{C}$ y valores medios de $\delta^{15}\text{N}$. El tercer grupo también incluyó colonias del norte del Golfo, junto con las situadas en la costa centro-este del Golfo. Estas comparten altos niveles de ambos isótopos, alta concentración de clorofila 'a' y de TSM.

2.5 Dieta de lobo marino

Los estudios de alimentación constituyen una manera adecuada de conocer y comprender las relaciones tróficas entre las poblaciones, ya que es posible conocer la procedencia de la energía necesaria para los organismos (García-Rodríguez, 1999). El lobo marino de California presenta preferencias alimentarias hacia especies de peces que forman grandes cardúmenes, como la anchoíta, sardina, macarela y calamares, pero cuando las especies preferidas no están disponibles consumen gran variedad de otras especies (Aurioles-Gamboa, 1988, García-Rodríguez & Aurioles-Gamboa, 2004). Por tal estrategia se lo denomina “especialista plástico” (Lowry *et al.*, 1991).

En el lobo marino de California la prolongada lactancia de las hembras (un año o más) las obliga a permanecer en las áreas reproductivas, por lo que la alimentación se

ve restringida a las cercanías del sitio de reproducción. Esto implica cierta especialización en el aprovechamiento de los recursos locales (Porrás-Peters, 2004). Por ejemplo en Los Islotes, el área de alimentación de la mayoría de las hembras estuvo dentro de los 30 km de la colonia (Kuhn *et al.*, 2004).

Un estudio previo realizado por García-Rodríguez & Aurióles-Gamboa (2004) en 1997 y 1998 en 7 colonias ubicadas en la zona de las grandes islas, describe la formación de cuatro grupos de colonias: 1) San Pedro Mártir, San Esteban y Rasito, caracterizada por el consumo de pez linterna, 2) Los Machos, cuya principal presa fue la sardina Monterey y la macarela; 3) Isla Granito, con el consumo de pez sable y anchoita y 4) Los Cantiles e Isla Lobos, caracterizado por la ingesta de pez sapo y pez sable. Estas cuatro áreas indicarían diferencias en los hábitos de los lobos marinos o la explotación de diferentes condiciones oceanográficas. La diversidad de dieta varió espacial y temporalmente, de manera que en Isla Lobos y San Pedro Mártir fue más diversa. Por otro lado, los lobos de Granito y Los Machos mostraron dietas menos diversas que variaron temporalmente. Estas colonias dependerían energéticamente de sus principales presas (García-Rodríguez, 1999).

La dieta en San Jorge entre 1998-1999 estuvo basada especialmente en especies bentónicas y algunas pelágicas generalmente solitarias (Romero-Saavedra, 2000). En Los Islotes, la presa más importante en 2000 y 2001 fue *Serranus aequidens*, para ambos sexos y durante todo el año (Cárdenas-Palomo, 2003).

En este trabajo nos enfocamos a la diversidad de la dieta, como parámetro a comparar entre las colonias, ya que la importancia de presas varía mucho entre los años, de acuerdo a las condiciones oceanográficas y climáticas. La diversidad sería un dato más característico y globalizador de cada colonia y el consumo de determinadas especies en sí, no necesariamente representen dietas distintas. Por otra parte, la diversidad brinda información sobre que tan plástica es la dieta en cada colonia, y por ende de la susceptibilidad potencial de las colonias para enfrentar variaciones de sus recursos. El objetivo de ésta sección fue examinar la estructura geográfica que arrojan los datos de dieta de lobos marinos.

Descripción de la base de datos y análisis de datos

Para determinar el patrón de regionalización se utilizó la diversidad de dieta. Las especies presa se determinaron a partir de la identificación de restos duros colectados en copros de lobo marino. Se utilizaron datos colectados en julio de 2002 en once colonias (Porrás-Peters, 2004), complementado con dos colonias (Los Cantiles y Los Machos) muestreadas en septiembre de 1997 (García-Rodríguez, 1999). En 2002 se colectaron entre 13 y 46 copros según la colonia, mientras que en 1997 se colectaron 58 copros en Los Cantiles y 32 en Los Machos.

La diversidad de la dieta se calculó utilizando el índice de Shannon (H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

donde p_i representa la proporción de la presa i en todos los copros y s es el número de especies presa

Para agrupar las colonias se utilizaron análisis de clasificación empleando la distancia de Manhattan y la unión de Ward y análisis de componentes principales.

Resultados

Considerando el índice de importancia de presas, Porrás-Peters (2004) describe dos grupos de colonias: uno al norte de Ángel de la Guarda (Los Cantiles, Isla Lobos y Rocas Consag) y otro al sur (Los Islotes, Farallón de San Ignacio, San Pedro Nolasco, San Pedro Mártir, San Esteban, El Rasito y El Partido). Sin embargo, a un segundo nivel de corte se identificaron tres grupos de colonias más cuatro aisladas: el primero formado por El Rasito y El Partido, el segundo grupo formado por San Pedro Nolasco y San Pedro Mártir y el tercer grupo formado por Los Cantiles e Isla Lobos. Los Islotes, Farallón de San Ignacio, San Esteban y Consag quedarían como grupos independientes

De acuerdo a la diversidad de la dieta se puede observar una tendencia a aumentar la diversidad de dieta desde el norte hacia el sur del Golfo. Intuitivamente se plantean tres grupos de colonias: norte de Ángel de la Guarda (Consag, Isla Lobos, Granito y Los Cantiles) con baja diversidad, oeste y sur de las grandes islas

(Los Machos, Partido, Rasito, San Esteban, S.P. Mártir) con Los Islotes) con diversidad intermedia y Golfo este-sur (Nolasco y Farallón de San Ignacio) con alta diversidad (Fig. 16). El análisis de discriminantes confirmó estos grupos con una discriminación correcta del 100% ($W=0.081$, $F=41.17$, $p=0.000$). En la Figura 17 se muestran estos grupos en el mapa.

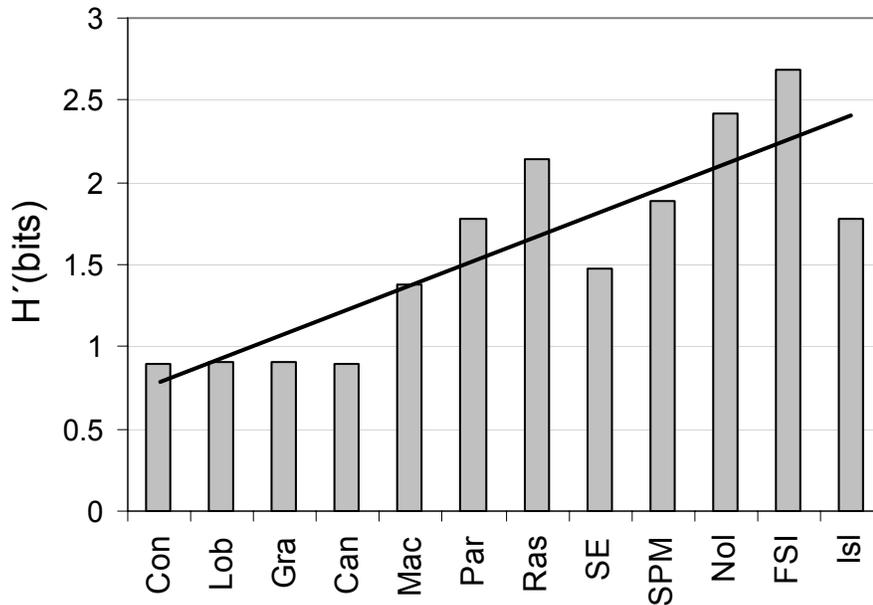


Figura 16. Diversidad de dieta medido con el índice de Shannon en las colonias de lobo marino de California, ordenadas de norte a sur.

Discusión

La dieta de los lobos marinos varió geográficamente. Al norte de la región de las grandes islas (Isla Lobos y Consag), dominaron las especies de presa de hábitos pelágicos y bentónicos. En la región central del Golfo (Los Cantiles, Partido, Rasito, San Esteban, San Pedro Mártir y San Pedro Nolasco), se observó una predominancia por presas de hábitos pelágicos. Finalmente en las colonias del sur del Golfo de California (Los Islotes y Farallón de San Ignacio) las presas más importantes fueron de hábitos demersales y bentónicos (Porrás-Peters, 2004).

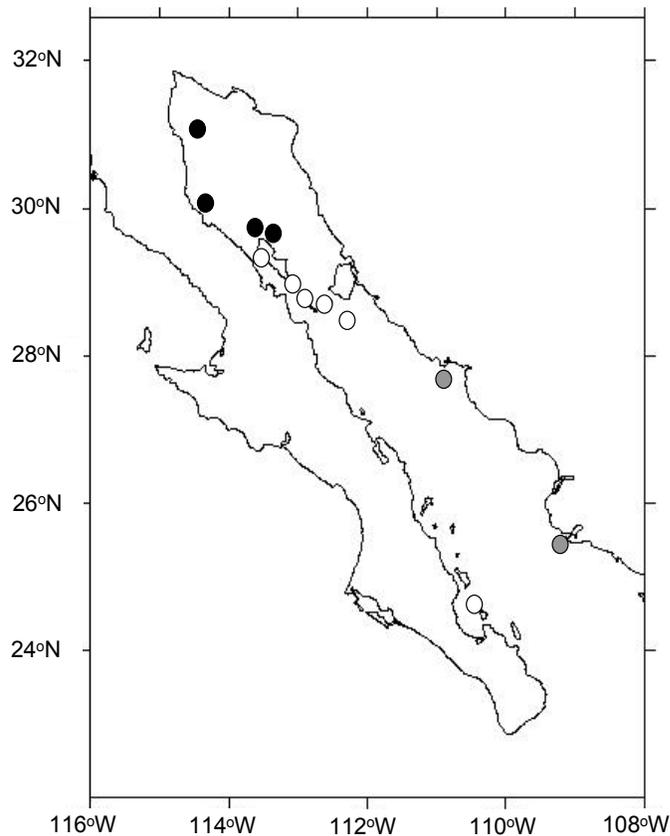


Figura 17. Mapa mostrando las agrupaciones resultantes de colonias reproductivas de lobos marinos en el Golfo de California con base en la diversidad de dieta. De norte a sur, en negro: Consag, Isla Lobos, Granito y Los Cantiles; en blanco: Los Machos, El Partido, El Rasito, San Esteban, San Pedro Mártir y Los Islotes y en gris: Nolasco y Farallón de San Ignacio.

En cuanto a la diversidad, se encontró una tendencia a aumentar de norte a sur. De acuerdo con García-Rodríguez (1999), la menor diversidad estaría asociada a un aprovechamiento espacial con alta abundancia y disponibilidad de alguna presa. Las colonias con alta diversidad y baja dominancia de presas fueron Nolasco y Los Islotes. La mayor diversidad al sur del Golfo es coherente con las características oceanográficas al ser más tropical y recibir la influencia del Océano Pacífico. (García-Rodríguez, 1999; Porrás-Peters, 2004). La colonia Los Machos presenta una diversidad intermedia entre el grupo norte y el centro, aunque parece estar más asociada con las colonias situadas al sur de Ángel de la Guarda en las grandes islas.

El grupo que incluye Los Machos con las colonias situadas al sur de isla Ángel de la Guarda fue definido también con isótopos estables.

2.6 Condición corporal de crías de lobo marino

El registro de la condición corporal de las crías constituye un dato importante para comprender como la calidad y abundancia del alimento afecta a cada población de lobos marinos. El tamaño de las crías al nacer refleja la condición de la madre durante la preñez y su éxito de alimentación durante la gestación. El crecimiento postnatal es indicativo de la disponibilidad de alimento durante la lactancia (Luque & Auriol, 2001) y la habilidad de las hembras de obtenerlo y producir leche (Trites & Donnelly, 2003). Ya que el crecimiento y mantenimiento de las crías dependen casi exclusivamente de la habilidad de sus madres para obtener alimento suficiente, se espera que el tamaño y la condición corporal de los críos varíen espacialmente.

Algunos cambios en el ambiente (cantidad y composición del alimento, clima, características físicas del hábitat) se pueden manifestar como modificaciones fisiológicas, conductuales, o de la dinámica poblacional de una población (Luque 1999). Las condiciones ambientales que alteran el estatus nutricional de las hembras, o el tiempo de los viajes de alimentación necesario para mantener un buen estado nutricional, pueden afectar el desarrollo de las crías (Boness *et al.*, 1991). De esta manera, la condición de los animales refleja el efecto de las interacciones entre una población y el ambiente y representa una medida del bienestar general de la población. De acuerdo a Rosen & Trites (2000), una nutrición inadecuada generalmente afecta el tamaño corporal y/o su composición. La ingesta subóptima de alimento ya sea en calidad o cantidad puede resultar en lo que se denomina estrés nutricional. A consecuencia, puede ocurrir una reducción del tamaño corporal y de la tasa de natalidad, aumento de la mortalidad neonatal y de los juveniles, cambios de conducta (como el aumento de los viajes de alimentación) y cambios en la composición corporal (Trites & Donnelly, 2003). En última instancia puede impactar una población alterando parámetros de su historia de vida, tales como la tasa reproductiva y la supervivencia (Rosen & Trites, 2000).

Con base en la importancia de la condición corporal se pretende comparar esta variable entre colonias, suponiendo que refleja la dieta y condiciones ambientales regionales.

Descripción de la base de datos y análisis

De 1996 a 1998 se llevó a cabo un estudio de la condición corporal de crías en 11 colonias reproductivas del Golfo de California (Luque, 1999). En 1996 se muestrearon 178 crías en 9 colonias (del 15 al 24 de julio), en 1997 se muestrearon 276 crías en 11 colonias (26 junio al 9 de julio) y en 1998 168 crías en 6 colonias del 16 al 25 de julio. Luque (1999) recomienda utilizar el factor de condición de Fulton (FCF) como indicador global del crecimiento en peso de las crías. Este se puede utilizar como aproximación a la condición fisiológica de los animales y a su vigor demográfico. El FCF está dado por la siguiente ecuación:

$$FCF = \frac{peso * 10^5}{Lst^3}$$

donde Lst es el largo estándar del animal (Luque, 1999).

Resultados

Se encontraron diferencias significativas del FCF entre colonias para los tres años: Para 1996, $F_{7,151} = 5.52$, $p=0.00001$; para 1997: $F_{10,266} = 3.56$, $p=0.0002$ y para 1998: $F_{5, 155} = 11.91$, $p= 0.00001$. La prueba *a posteriori* de Tukey indicó que en 1996 Isla Lobos difirió significativamente de Rasito y San Esteban; Machos y Los Islotes difirieron de Rasito, y San Esteban de Los Islotes. En 1997 Mártir y Consag difirieron significativamente de Lobos; y Rasito, Partido y Lobos de Machos. En 1998 Granito, Cantiles y Machos difirieron de Partido y Los Islotes, y Granito además difirió de Rasito.

La estructura geográfica fue diferente en los tres años. En 1996 se formaron dos grupos de colonias: 1) Cantiles, Granito, Rasito y San Esteban y 2) San Pedro Mártir, Machos, Lobos, San Jorge y Los Islotes. En 1997 se formaron tres grupos: 1) Partido, Rasito y Los Islotes; 2) Consag, San Jorge, Granito, Cantiles, Machos, Mártir y San Esteban y 3) Isla Lobos como grupo independiente. En 1998 se separaron dos grupos

1) norte (Granito, Cantiles y Machos) y 2) sur (Partido, Rasito y Los Islotes) (Fig. 18).

La regionalización global no arrojó una estructura geográfica consistente. Se observa sin embargo, que Machos y S.P. Mártir los 3 años presentaron buena condición de crías; Rasito y San Esteban presentaron mala condición, mientras que el resto de las colonias presentaron niveles intermedios.

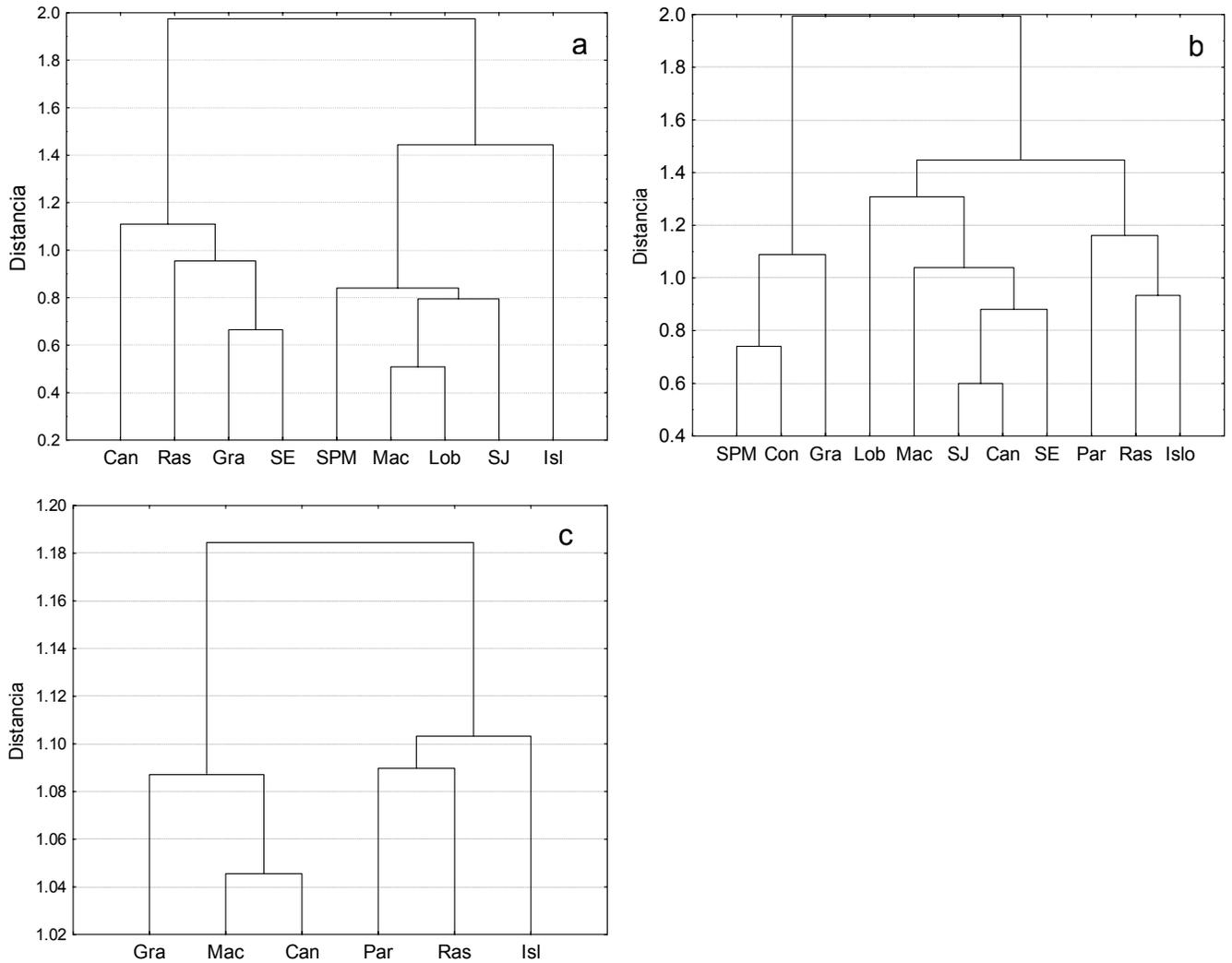


Figura 18. Resultado del análisis estadístico para el tratamiento de los datos del factor de condición de Fulton en crías del lobo marino de California, a) 1996, b) 1997 y c) 1998.

Discusión

El Factor de Condición de Fulton varió significativamente entre sitios pero también entre años. La exploración del patrón espacial no reflejó agrupaciones consistentes durante los 3 años analizados y tampoco fue similar año con año. En dos años El Rasito y El Partido se asociaron con Los Islotes compartiendo mala condición corporal. En 1997 y 1998 Los Machos se asoció con Los Cantiles, pero otras colonias como San Pedro Mártir y San Esteban cambiaron completamente su asociación. Estas variaciones interanuales de la condición corporal posiblemente sean función de la edad de las crías al momento del muestreo. Por ejemplo en 1998 aparentemente hubo un retraso en los nacimientos y en 1997 el muestreo fue previo al de los otros dos años (Luque 1999).

Para interpretar los resultados de la condición corporal se debe tener en cuenta que cada año varían las condiciones ambientales y en consecuencia también la abundancia, disponibilidad, comportamiento y contenido energético de las presas. Le Boeuf & Crocker (2005) reportan que el peso al destete en crías de elefante marino varió año con año en Año Nuevo, California, reflejando la disponibilidad de presas en el área de alimentación. El peso de las crías se relacionó inversamente con el esfuerzo de alimentación y el tiempo de búsqueda de alimento de las madres y se correlacionó positivamente con la edad y peso de las madres. En la condición corporal además pueden influir factores como la fisiografía del hábitat terrestre y la densidad de animales, ya que estos pueden perjudicar la salud de las crías. La densidad de animales en las zonas de alimentación y la cercanía de otras colonias, también pueden afectar la competencia por alimento en el mar (Luque, 1999). Por estas razones, es muy difícil comparar entre años y se decidió no emplear esta base de datos en la regionalización final.

2.7 Patologías en cráneos de lobo marino

Se analizó la incidencia de dos patologías en cráneos de lobo marino: osteoartritis y osteomielitis. El origen de estas patologías estaría relacionado con características ambientales, oceanográficas o fuentes de contaminación

antropogénica, en el caso de la osteomielitis, o con una predisposición genética, en caso de la osteoartritis (Aurioles-Gamboa *et al.*, aceptado).

La osteoartritis es una enfermedad degenerativa de las articulaciones, donde el cartílago se desgasta y erosiona produciendo cambios anormales en los huesos (Díaz-Guzmán, 2003). Su presencia se caracteriza por superficies articulares ásperas, porosas y a veces deformes. La osteomielitis consiste en la inflamación de los huesos a causa generalmente de bacterias (aunque también se han visto involucrados virus, hongos y protozoarios), que entran al hueso por fracturas o infecciones en tejidos circundantes (Díaz-Guzmán, 2003). Se caracteriza por necrosis que producen deformaciones en el hueso, proliferaciones óseas y su destrucción, así como por la presencia de tractos de drenaje que resultan en huecos característicos en el hueso (Aurioles-Gamboa *et al.*, aceptado).

El objetivo de ésta sección es analizar la distribución espacial de estas lesiones craneanas en las diferentes colonias de lobo marino.

Obtención de datos y análisis

Para este análisis se utilizan datos obtenidos en 385 cráneos de lobo marino colectados de 1978 a 2002 en 11 colonias (Aurioles-Gamboa *et al.*, aceptado). Una vez en el laboratorio fueron limpiados, etiquetados y examinados para detectar la presencia de osteoartritis u osteomielitis. La prevalencia de cada afección se calculó como el número de cráneos positivos respecto al total de cráneos examinados en cada colonia.

Para los análisis de regionalización se utilizó un análisis de clasificación empleando la unión de Ward y la distancia Euclideana. Posteriormente se realizó un análisis discriminante para confirmar los grupos sugeridos por los análisis exploratorios.

Resultados

En la Tabla 10 se muestra el número de cráneos con cada afección craneana en cada colonia y la prevalencia. La prevalencia de ambas patologías craneanas mostró una tendencia a decrecer del norte al sur del golfo (Fig. 18). El patrón geográfico

hallado indicó la existencia de 3 grupos de colonias: 1) San Jorge, Los Cantiles y S.P. Mártir (sin casos de osteoartritis), 2) Isla Lobos, Machos, Granito y Rasito en el norte e isla Ángel de la Guarda y 3) San Esteban, Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes en el centro y sur del Golfo (Fig. 19).

Tabla 10. Número de cráneos positivos y prevalencia (entre paréntesis) de la osteoartritis y osteomielitis y número total de cráneos examinados (n) en cada colonia de lobo marino.

Colonia	n	Nro. Osteoartritis	Nro. Osteomielitis
San Jorge	10	0 (0)	1 (0.10)
I. Lobos	70	16 (0.23)	5 (0.07)
Granito	27	7 (0.26)	0 (0)
Cantiles	17	0 (0)	0 (0)
Machos	13	2 (0.15)	1 (0.08)
Rasito	5	1 (0.20)	0 (0)
San Esteban	39	5 (0.13)	1 (0.03)
SP. Mártir	6	0 (0)	0 (0)
Nolasco	14	2 (0.14)	0 (0)
FS. Ignacio	19	2 (0.10)	0 (0)
Islotes	21	2 (0.09)	0 (0)

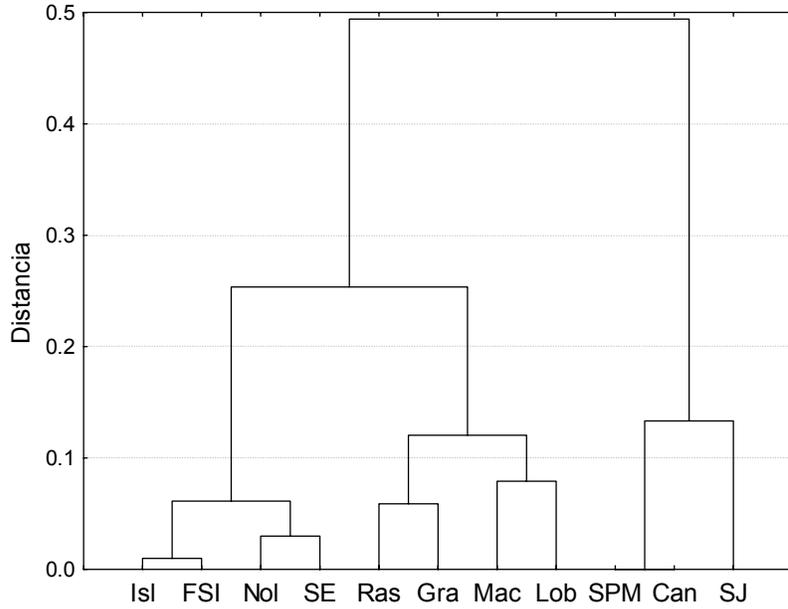


Figura 19. Resultado del análisis de agrupamiento de colonias de lobo marino en el Golfo de California con base en la prevalencia de osteoartritis y osteomielitis.

Estos tres grupos se confirmaron mediante un análisis discriminante, que clasificó el 100% de los casos correctamente, con un Lambda de Wilks de 0.074 ($F_{4,14} = 9.35$, $p < 0.001$). En la Figura 20 se muestra la ubicación geográfica de los grupos resultantes.

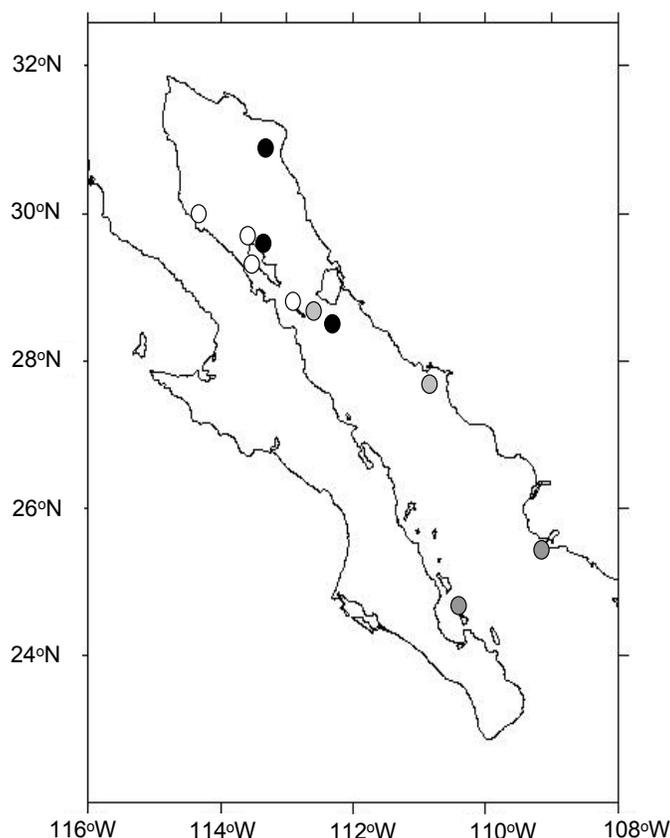


Figura 20. Mapa mostrando las agrupaciones resultantes de colonias reproductivas de lobos marinos con base en las afecciones craneanas.

De norte a sur, en negro: San Jorge, Los Caniles y San Pedro Mártir, en blanco: Isla Lobos, Granito, Los Machos, El Rasito; en gris: San Esteban, Nolasco, Farallón de San Ignacio y Los Islotes.

Discusión

La osteoartritis presentó una distribución geográfica interesante. Se agruparon colonias que se encuentran cercanas entre sí como las dos más sureñas (Farallón de San Ignacio y Los Islotes) con baja prevalencia, Isla Lobos y Granito al norte de Ángel de la Guarda, con alta prevalencia y a una franja de colonias ubicadas desde Los Machos hacia el sureste hasta Nolasco (con prevalencia intermedia).

Coincidentemente se halló una agrupación similar con el ambiente, los isótopos estables y dieta (ver 2.3, 2.4 y 2.5), por lo que podría suponerse que alguna característica ambiental esté determinando estas similitudes. San Jorge, Los Cantiles y San Pedro Mártir no presentaron casos de osteoartritis, por lo que se agruparon de

manera independiente.

Aurioles-Gamboa *et al.* (aceptado) presenta una agrupación de colonias que consistió en tres grupos con base en ambas afecciones craneanas analizadas, junto con pigmentos fotosintéticos (14 regiones, Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994) e isótopos estables (Porras-Peters, 2004). Debido a que la incidencia de la osteoartritis se correlaciona positivamente con el aislamiento geográfico y con el potencial de endogamia, de acuerdo a los resultados de Schramm (2002), se esperaba una clina norte sur tal y como se encontró. Un grupo norte con 20% de prevalencia de osteoartritis, el centro con 14% y un grupo en el sur con 11% de incidencia (Aurioles-Gamboa *et al.*, aceptado).

La incidencia de osteomielitis también decreció de norte a sur, de 7.5% en el norte, 1.9% en el centro y 0% en el sur (Aurioles-Gamboa *et al.*, aceptado). Esto podría estar relacionado con la contaminación de la descarga esporádica del Río Colorado en el Alto Golfo. En éste sentido, se ha mencionado que la alta prevalencia de ambas afecciones en la zona norte del Golfo, se deba al posible desarrollo de infecciones debido a la mayor concentración de bacterias (Aguíñiga-García, 1999).

2.8 Presencia de serovariedades de *Leptospira* en lobo marino

La leptospirosis, producida por el complejo *Leptospira interrogans*, es una de las zoonosis más ampliamente distribuidas en el mundo afectando animales silvestres, domésticos y al hombre (Acevedo-Whitehouse *et al.*, 2003). Es causada por una bacteria espiroqueta que se transmite ya sea por contacto directo o indirecto a través de la orina, leche o fluidos placentarios infectados (Pedernera, 2004). Las bacterias ingresan al organismo a través de mucosas o piel lesionada y van al torrente sanguíneo donde circulan durante 7 días y luego se replican en diferentes tejidos. Los animales pueden estar enfermos o ser reservorios asintomáticos, que dispersan las leptospirosis al ambiente, particularmente a altas temperaturas (Pedernera, 2004). La infección con serovariedades no adaptadas al hospedador resulta en la infección esporádica con signos fuertes de enfermedad y baja prevalencia de huéspedes seropositivos, que liberan leptospirosis en la orina por poco tiempo. También puede

darse el desarrollo de una enfermedad moderada donde los animales sirven de fuente de infección y pueden liberar leptospiras toda su vida (Colagross-Shouten *et al.*, 2002).

Se han registrado epizootias de Leptospirosis en lobos marinos varados en la costa de California en 4 años entre 1984 y 1994. El 33% de los 2338 animales examinados presentaron signos clínicos de enfermedad renal (Gulland *et al.*, 1996). En el Golfo de California se ha reportado la presencia de anticuerpos contra serovariedades de *L. interrogans* en crías de lobo marino y se han observado lesiones que sugieren Leptospirosis, pero no existen reportes de mortalidades (Acevedo-Whitehouse, 1999; Acevedo-Whitehouse *et al.*, 2003).

La importancia de conocer la prevalencia de Leptospirosis reside en el impacto que podrían tener los brotes en la población del lobo marino de California y el riesgo de transmisión de la enfermedad a los residentes locales, o turistas que tengan contacto esporádico con estos animales (Acevedo-Whitehouse, 1999). Se ha mencionado que la congregación de lobos marinos en grandes colonias podría favorecer la transmisión de esta bacteria, ya que los animales estarían continuamente en exposición debido al contacto físico y al contacto con la orina de sus conespecíficos (Pedrera, 2004, Colagross-Shouten *et al.*, 2002).

Cada individuo puede presentar una o más serovariedades de leptospira y la proporción de individuos de una población con anticuerpos (seroprevalencia) es una medida de la exposición de la población a la enfermedad. De ésta manera, la presencia de anticuerpos contra diferentes serovariedades de leptospira da indicios sobre la cercanía geográfica entre las colonias, ya que aquellas que compartan más serovariedades tendrían mayor intercambio de animales. En el Golfo de California, se encontró una relación directa entre la distancia geográfica entre colonias y la distancia Euclidiana entre las colonias, lo que reafirma que la cercanía entre colonias sería un factor importante en la transmisión de la leptospira (Pedrera, 2004).

Obtención y análisis de muestras

Se analizó la presencia de serovariedades de *Leptospira* spp. en muestras de suero de crías de once colonias en la temporada reproductiva del año 2002. En cada colonia se capturaron de 8 a 10 crías, totalizando de 106 crías. La determinación y

cuantificación de la seroprevalencia de anticuerpos contra *Leptospira* spp. fue realizada por Pedernera (2004), mediante pruebas de aglutinación microscópica (MAT). Se utilizaron 27 serovariedades como antígenos considerándose positivos a una dilución de suero de 1:20.

Análisis de datos

Se calculó el promedio de reacciones positivas por colonia (PRP) como el total de individuos positivos a todas las serovariedades dividido el número de animales analizados por colonia, y el porcentaje total de reacciones positivas (TRP).

Antes de proceder a la exploración de la regionalización se realizó un análisis de componentes principales que permitió reducir el número de serovariedades a 11, que explicaron el 70% de la varianza entre individuos (Pedernera, 2004). Estas fueron: Hebdomadis Hebdomadis, pyrogenes Salinem, Grippytyphosa Moskova V, canicola Hond Utrecht IV, tarassovi Perepelicin, panama CZ214, ballum Mus 127, australis Ballico, djasiman Djasiman, lai lai e icterohaemorrhagidae Palo Alto. Luego se utilizó un análisis de clasificación (cluster) mediante unión completa y distancia Euclideana (Pedernera, 2004). Posteriormente se analizó la significancia de los grupos sugeridos por los análisis multivariados exploratorios, utilizando el análisis discriminante.

Resultados

De las 106 crías muestreadas, 105 fueron positivas contra al menos una serovariedad. Se encontró un total de 582 reacciones positivas, de las cuales la más frecuente fue la serovariedad Patoc patoc (53.8%), seguida por Ballum (35.8%) (Pedernera, 2004). El Rasito y Farallón de San Ignacio fueron las colonias donde se encontró el mayor número de serovariedades (Fig. 21), aunque la primera mostró mucho mayor promedio de reacciones positivas (11.3 versus 7.0) (Pedernera, 2004). El menor número de individuos positivos y menor promedio de reacciones positivas se halló en Isla Granito seguida por San Pedro Mártir y San Esteban (Fig. 21 y Tabla 11).

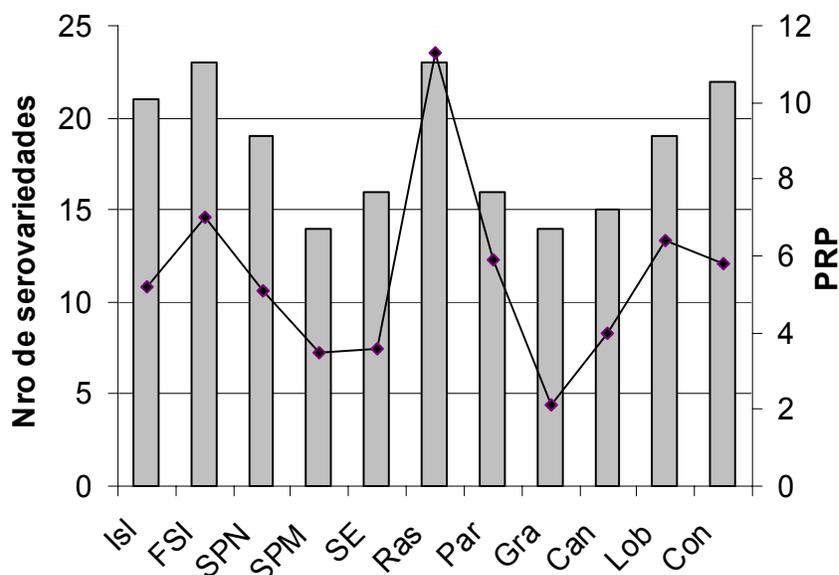


Figura 21. Número de serovariedades y promedio de reacciones positivas (PRP) detectadas en cada colonia de lobo marino en el Golfo de California. Las barras representan el número de serovariedades y los puntos el promedio de reacciones positivas en cada localidad.

Tabla 11. Promedio de reacciones positivas (PRP), porcentaje de reacciones positivas (%TRP) y número total de serovariedades de *Leptospira* spp. halladas en 11 colonias de lobo marino en el Golfo de California. n= número de crías analizadas.

Colonia	n	PRP	% TRP	Número de serovariedades
Consag	9	5.78	19.3	22
I. Lobos	10	6.4	26.3	19
Los Cantiles	9	4.0	13.3	15
Granito	10	2.1	7.8	14
El Partido	10	5.9	21.9	16
El Rasito	10	11.3	41.9	23
San Esteban	8	3.6	133	16
S.Pedro Mártir	10	3.5	13	14
Nolasco	10	5.1	18.9	19
F. San Ignacio	10	7.0	25.9	23
Los Islotes	10	5.2	19.3	21

El análisis de clasificación reflejó tres grupos de colonias: uno en el golfo sur integrado por F. de San Ignacio y Los Islotes, otro formado por El Partido y El Rasito y el resto de las loberías del golfo central y norte formando otro grupo (Pedernera, 2004) (Fig. 22 y 23). Las serovariedades Hebdomadis, Glippotyphosa, Canicola, Australis y Lai están fuertemente asociadas con la región sur, mientras que Pyrogenes, Tarassovi, Panama, Ballum, Djasiman e Icterohaemorrhagiae Palo Alto con Rasito y Partido. Las islas del centro y norte no parecen tener una asociación específica con algunas serovariedades (Pedernera, 2004). De acuerdo al análisis discriminante, estos tres grupos se separaron significativamente ($W=0.0006$, $F_{10,8}=31.89$, $p<0.001$). Las serovariedades lai lai, panama, canicola y tarassovi resultaron significativas describiendo un 100% de clasificación correcta de las colonias en los grupos propuestos.

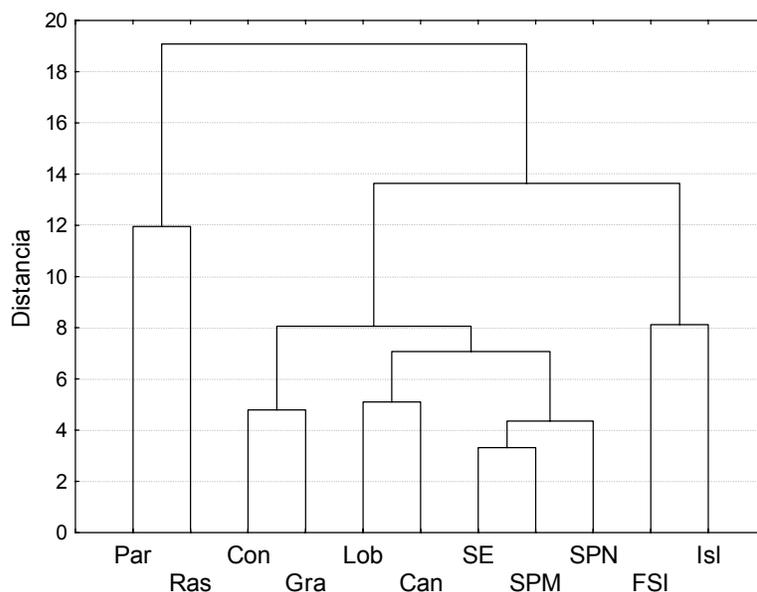


Figura 22. Análisis de agrupamiento de las 13 serovariedades de *Leptospira* spp. (según Pedernera, 2004).

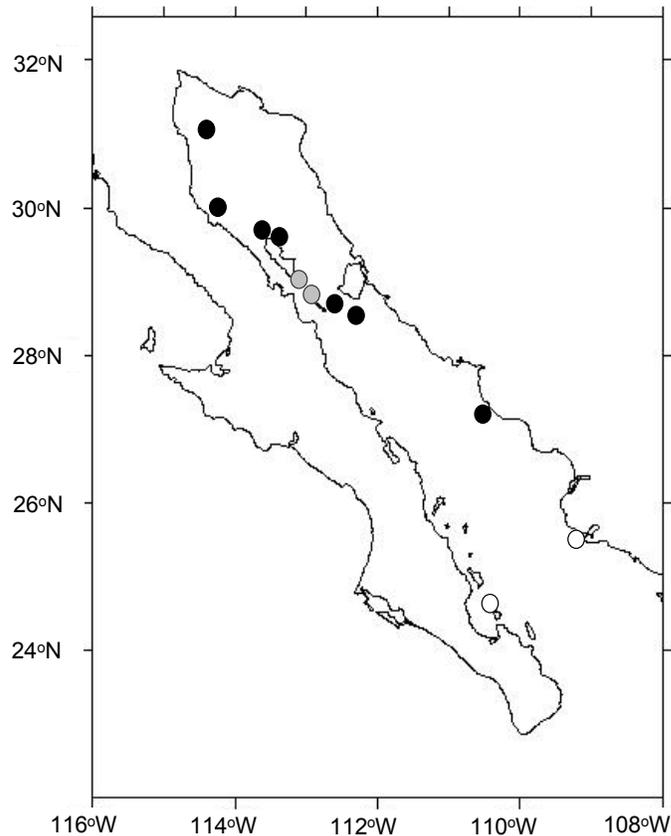


Figura 23. Mapa de las colonias de lobo marino en el Golfo de California mostrando los agrupamientos resultantes del análisis de serovariedades de *Leptospira* spp.

De norte a sur, en negro: Consag, Isla Lobos, Granito, Cantiles, San Esteban, S. Pedro Mártir y Nolasco, en gris: Partido y Rasito y en blanco: Farallón de San Ignacio y Los Islotes.

Discusión

La producción de anticuerpos obedece a la habilidad del hospedero para desarrollar una respuesta inmune y ésta depende del sexo, genética y del estado nutricional de cada individuo (Gulland *et al.*, 1996). Los títulos encontrados en las crías serían reflejo de la transmisión de anticuerpos de sus madres o la exposición previa de la cría a ciertas serovariedades (Pedernera, 2004).

En cuanto al patrón de regionalización encontrado, las dos colonias sureñas se separaron de las ubicadas en el centro y norte del Golfo, a excepción de Partido y Rasito que se agruparon independientemente. Estas dos colonias son muy pequeñas, por lo que los animales estarían más en contacto, facilitando su transmisión (Pedernera, 2004) y se encuentran muy cercanas (a unos 10 km) por lo que el intercambio de individuos entre ellas sería elevado. Se cree que el mantenimiento y

dispersión de la Leptospirosis en lobos marinos estaría potenciado por el comportamiento gregario de la especie, ya que un animal infectado puede eliminar hasta 105 leptospiras/ml de orina durante varias semanas (Vedros, 1971). Además las leptospiras pueden provenir de las pozas de agua estancada, o de reservorios vertebrados que habitan en casi todas las colonias (murciélago pescador, roedores) y es posible que también existan en presas consumidas por los lobos marinos. Estos factores también podrían explicar algunas de las diferencias en la incidencia y seroprevalencia de anticuerpos contra *L. interrogans* (Acevedo-Whitehouse, 2001).

Recientemente se ha encontrado que el número de serovariedades de leptospira estaría relacionado con la cantidad de lesiones cutáneas ventrales en las crías. Esto a su vez está correlacionado con el tipo de sustrato y con la mayor densidad poblacional (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2005). Las islas mas pequeñas representan un hábitat con menor calidad y el tamaño de grano mayor del sustrato, causaría más lesiones cutáneas, facilitando la entrada de la leptospira. Esta parece ser la situación en Partido y Rasito, islas de tamaño pequeño, sustrato rocoso y donde se reporta la mayor proporción de crías con lesiones cutáneas (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2005).

En un estudio previo realizado por Acevedo-Whitehouse (2001) en 7 colonias de lobo marino en el Golfo de California, de las 96 crías analizadas, el 21.87% fueron positivas. Las serovariedades más comunes de las 13 probadas fueron: cynopteri (22.2% de las reacciones), seguido por hardjo, pomona y grippotyphosa con 10% y la menos frecuente fue canicola (1.71%). La seroprevalencia mostró un patrón latitudinal, siendo máxima en Granito (90%) y mínima en Los Islotes (20%) (Acevedo-Whitehouse *et al.*, 2003). Ese patrón no coincide con el aquí analizado y dicho estudio no analizó la similitud de las colonias en cuanto a la presencia de serovariedades.

Es probable que la presencia o importancia de serovariedades cambie con los años y esté relacionada con la presencia de ciertos vectores. Debido a la alta prevalencia de anticuerpos (54.16% en Acevedo-Whitehouse (2001), y 99.1% de los 106 animales en Pedernera (2004) aun en títulos bajos (1:20) y a la ausencia de crías con signos clínicos indicativos de la enfermedad, se ha sugerido que se trata de Leptospirosis enzoótica ocasionada por serovariedades adaptadas a *Z. californianus* (Acevedo-Whitehouse, 2001; Pedernera, 2004).

2.9 Morbillivirus

Diferentes virus han sido implicados en mortalidades masivas de mamíferos marinos desde 1980. Particularmente el *Morbillivirus* o moquillo, es de interés por sus efectos potencialmente letales y su amplia distribución en los mamíferos marinos (Geraci *et al.*, 1999). En los últimos 15 años se presentaron al menos 8 epidemias de *Morbillivirus* sp. (distemper canino, focino y delfínido) provocando mortalidades masivas de diferentes especies de mamíferos marinos en el mundo. Este virus presenta una sola cadena de ARN y provoca infecciones que en algunos casos tuvieron impacto en la dinámica poblacional de una especie (di Guardo *et al.*, 2005). Por lo menos en tres eventos de mortalidad se cree que este virus fue transmitido por perros domésticos u otros carnívoros terrestres (Kennedy *et al.*, 2000).

Se ha mencionado que la vía de transmisión es a través del aire, a consecuencia de estornudos o tos de animales infectados, que aunado a las densas congregaciones de pinnípedos en las colonias, se dispersa rápidamente. En comunidades de tursiones (*Tursiops truncatus*) se ha planteado que la propagación de la epizootia está determinada por el contacto entre comunidades adyacentes y sus migraciones en el Golfo de México y en el Atlántico Mexicano. La transmisión de esta infección se vio facilitada por el tamaño poblacional y su fragmentación en diferentes comunidades (Duihnan *et al.*, 1996). En éste sentido, resulta interesante examinar su incidencia a nivel geográfico, ya que por ser infecciosa, es de esperarse que el virus se transmita fácilmente en colonias con alta densidad de animales y entre colonias cercanas.

Obtención de datos y análisis

Se utilizó información proveniente de muestras sanguíneas de 102 crías pertenecientes a 11 colonias muestreadas en 1997 (Aurioles-Gamboa *et al.*, 2000). Para determinar la presencia de *Morbillivirus* se realizaron pruebas de precipitación en agar, fijación de complemento y sero-neutralización con virus de moquillo canino. Se consideraron positivos los sueros que neutralizaron el virus en una dilución $\geq 1:10$ (Osterhaus *et al.*, 1995). Finalmente se realizaron pruebas para la presencia de

antígeno viral por inmunofluorescencia (Auriolles-Gamboa *et al.*, 2000). No se realizaron análisis genéticos del virus para determinar de qué variedad se trataba.

Se reporta únicamente la presencia o ausencia del virus y con base en esto se describen dos grupos de colonias. Debido a la simplicidad de los datos se describen ambos grupos sin necesidad de emplear ninguna herramienta estadística.

Resultados

Solo 7 crías (6.8%) fueron positivas a la prueba de *Morbillivirus* sp. y se localizaron en 5 de las 11 colonias muestreadas: Consag, Isla Lobos, Granito, Los Machos y El Partido (Fig. 24). Las colonias San Jorge, Los Cantiles, El Rasito, San Esteban, Farallón de San Ignacio y Los Islotes no presentaron casos positivos de *Morbillivirus* sp.

Discusión

A pesar de que los datos son binarios, se observa que los dos grupos de colonias presentan coherencia geográfica. Las colonias que presentaron casos de *Morbillivirus* se distribuyeron en la zona noroeste del Golfo, mientras que hacia la costa este y sur del Golfo no se registraron animales positivos. La asociación de colonias situadas hacia el este y sur de Ángel de la Guarda, se repite en varias bases de datos (diversidad de dieta, isótopos), por lo que se podría suponer que existe movimiento entre lobos marinos de estas colonias, que comparten fuentes comunes de alimento o condiciones ambientales.

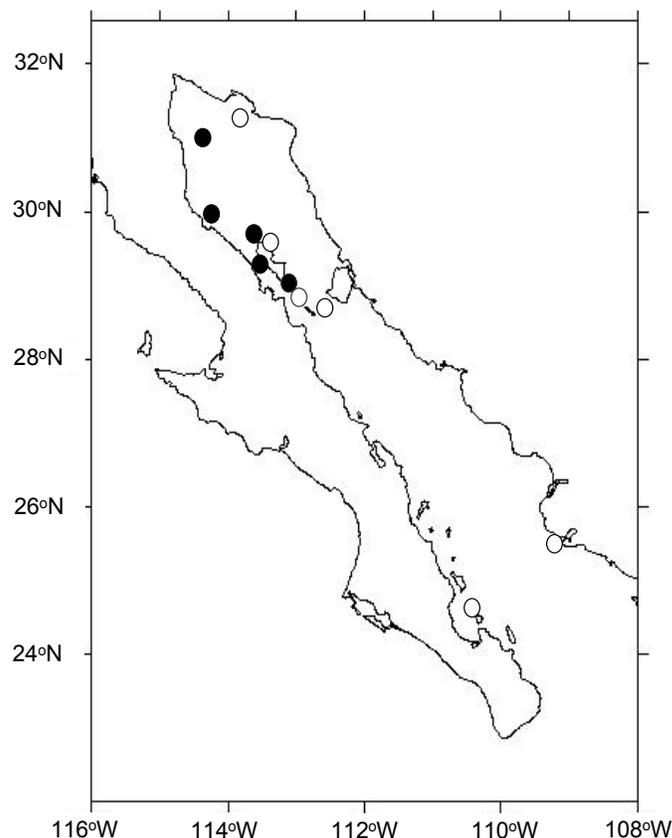


Figura 24. Incidencia de *Morbillivirus* sp. en 11 colonias de lobo marino en el Golfo de California.

De norte a sur, en negro se muestran colonias con casos positivos de *Morbillivirus* (Consag, Isla Lobos, Granito, Los Machos y El Partido) y en blanco aquellas que no presentaron casos de *Morbillivirus* (San Jorge, Los Cantiles, El Rasito, San Esteban, F. de San Ignacio y Los Islotes).

Estudios recientes han mostrado que la endogamia podría estar relacionada con la dispersión del *Morbillivirus* sp. en el delfín listado del Mediterráneo (Valsecchi *et al.*, 2004). Los autores establecen que además de la transmisión vía aerosol, factores ambientales (como niveles de PCB) y la endogamia juegan un papel relevante en la dinámica de la dispersión de la enfermedad. Este hallazgo es interesante, si la susceptibilidad a contraer ésta patología está ligada con aspectos genéticos.

2.10 Relación entre la tendencia y abundancia poblacional del lobo marino y las variables ecológicas

El objetivo de esta sección es explorar si la tendencia poblacional o la abundancia de las colonias, pueden explicarse por alguna(s) de las variables en estudio. Para ello, se llevaron a cabo correlaciones entre la tasa de crecimiento total y la abundancia total y de críos contra todas las variables (As, Co, Hg, Ni, Pb, diversidad de dieta, condición corporal, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, TRP y PRP de *Leptospira* spp., TSM, clorofila y osteoartritis).

Para corroborar los tres grupos de colonias con diferente tendencia poblacional y los grupos con diferente nivel de abundancia se realizaron análisis discriminantes. Las colonias se agruparon según su tendencia asignándoles 2 a las que crecen, 0 a las que decrecen y 1 a las que fluctúan (ver capítulo 1) (Tabla 12). La abundancia total se agrupó de la siguiente manera: 1: colonias con más de 3800 individuos, 2: entre 800 y 2000 y 3: menos de 700 individuos. La abundancia de críos se dividió en dos grupos: 1: más de 968 individuos y 2: menos de 250 (Tabla 12).

Resultados

No se encontró asociación entre la tasa de crecimiento poblacional total, ni la abundancia total o de críos, con ninguna variable (Anexo 2). Se realizaron varios ensayos de análisis discriminantes debido a que no se pudieron utilizar todas las variables juntas por las redundancias entre algunas de éstas. Las variables en estudio tampoco pudieron explicar los grupos de colonias con diferente abundancia poblacional ni de críos. Los grupos de colonias con diferente tendencia pueden explicarse con la combinación de variables dada por Hg, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, clorofila y osteoartritis (Lambda $W=0.003$, $F_{12,4}=6.177$, $p=0.046$, $n=10$). Todas las variables excepto $\delta^{15}\text{N}$ contribuyeron significativamente (Anexo 3) y predijeron el 100% de clasificación correcta de los grupos. Cabe señalar que este análisis considera 10 colonias quedando excluidas Consag, Partido y Rasito por no contar con el dato correspondiente a alguna de las variables del análisis.

Tabla 12. Agrupamiento de las colonias de lobo marino con base en su tendencia poblacional y abundancia total y de crías.

Colonia	Tendencia	Abundancia total	Abundancia crías
Consag	2	3	2
San Jorge	2	1	1
Isla Lobos	1	2	2
I. Granito	0	3	2
Los Cantiles	0	2	2
Los Machos	0	3	2
El Partido	0	3	2
El Rasito	1	3	2
San Esteban	2	1	1
S. Pedro Mártir	1	2	2
Nolasco	2	3	2
F. San Ignacio	0	3	2
Los Islotes	2	3	2

2.11 Regionalización general de las colonias de lobo marino

Para la regionalización global se emplearon todas las variables analizadas individualmente, excepto *Morbillivirus* y la condición corporal de crías. Esto es debido a que estas dos variables no mostraron un patrón geográfico claro, en el caso de *Morbillivirus* además se cuenta con un bajo número de muestras y la información no es cuantitativa. Las regionalizaciones individuales de las restantes variables fueron bastante consistentes en cuanto a la formación de grupos resultantes.

Metodología

Las bases de datos procesadas se incorporaron de la siguiente manera:

- Tendencia: se asignó 1 a las colonias que crecen, 0 a las que decrecen

significativamente y 0.5 a las que fluctúan. Se diferenció con 0.7 a Nolasco porque en los últimos años se estabilizó y con 0.2 a Partido porque a pesar de que decrece en general, el número de crías aumenta.

- Concentración de Metales: se incorporó el puntaje del primer factor del ACP realizado con los metales más explicativos (As, Co, Hg y Ni) en la regionalización individual.
- TSM y Clorofila: puntaje del primer factor del ACP realizado con el promedio de la temperatura y de la clorofila transformados con logaritmo.
- Diversidad de dieta: valores del índice de diversidad de Shannon (H').
- *Leptospira*: puntaje del primer factor del ACP realizado con las 13 serovariedades más explicativas en la regionalización de ésta variable.
- Afecciones craneanas: se escogió utilizar la prevalencia de osteoartritis, debido a que la osteomielitis presentó prevalencia de cero en 7 de las once colonias.
- Isótopos estables: valores promedio de cada isótopo para cada colonia (dividido 100 a fin de llevarlo a una escala comparable con las demás variables).

Para examinar el patrón geográfico de las colonias se utilizaron inicialmente análisis de clasificación. Una vez delineados los grupos, se diseñaron análisis discriminantes para verificar la pertenencia de las colonias a grupos. En los casos en que alguna colonia quedó entre dos grupos, se repitió el análisis discriminante con ambas opciones y se seleccionó la que brindó el mejor ajuste. Como no se cuenta con datos para todas las variables y todas las colonias, se realizaron varios ensayos, combinando variables y colonias:

- 1) Utilizando las variables: tendencia, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ y diversidad de dieta, con todas las colonias.
- 2) Utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, ambientales, isótopos estables, metales y *Leptospira* con 8 colonias.
- 3) Utilizando todas las variables juntas y las 8 colonias completas.
- 4) Utilizando la tendencia, diversidad, isótopos estables, ambientales y Osteoartritis con 11 colonias.
- 5) Utilizando las variables relacionadas con el ambiente (ambientales, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ y diversidad dieta) con todas las colonias.

Resultados

1) Ensayo con las variables: tendencia poblacional, ambos isótopos estables, diversidad de dieta, con todas las colonias. Se empleó un análisis de clasificación con la unión media no ponderada y distancia Euclídeana.

Se distinguen dos grandes grupos de colonias: 1) Islotes, F. San Ignacio, Nolasco, S. Pedro Mártir, San Esteban, Partido y Rasito (Golfo sur) y 2) Machos, Granito, Cantiles, Lobos, San Jorge y Consag (Golfo norte) (Fig. 25). El límite de corte entre los dos grupos estaría situado entre Machos y Rasito, a la altura del suroeste de la Isla Ángel de la Guarda. El grupo norte está dividido en dos subgrupos: el Alto Golfo (Consag, San Jorge e Isla Lobos), y Ángel de la Guarda (Granito, Cantiles y Los Machos) (Fig. 25).

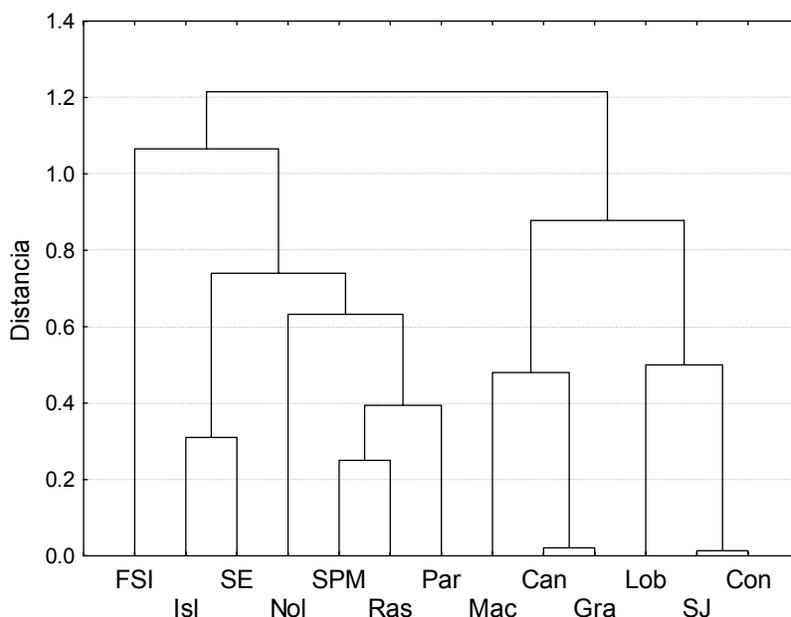


Figura 25. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

2) Utilizando la tendencia poblacional, diversidad de dieta, ambientales, isótopos estables, metales y *Leptospira*, con 8 colonias. Se llevó a cabo un análisis de

clasificación con la unión de Ward y distancia Euclídeana. Estas variables nuevamente separan tres grupos de colonias: 1) Islotes y Farallón San Ignacio (Golfo sur), 2) Nolasco, San Pedro Mártir y San Esteban (Golfo centro) y 3) Granito, Cantiles y Lobos (Golfo norte) (Fig. 26).

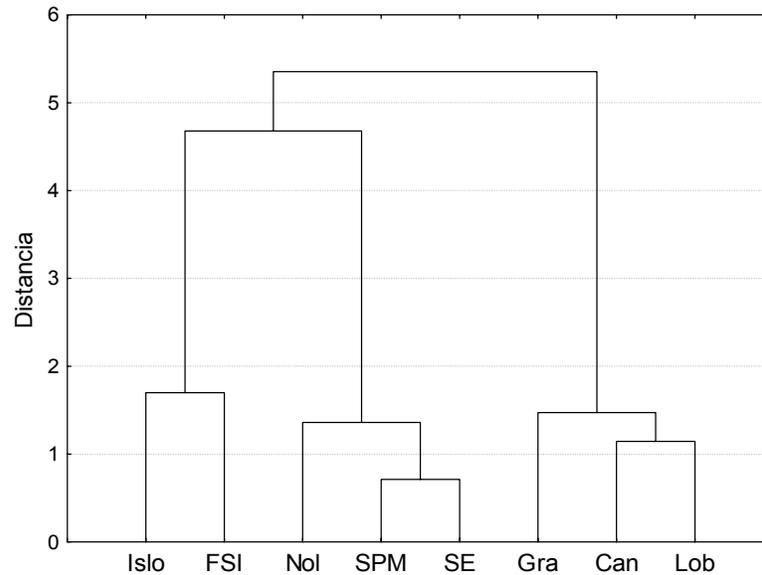


Figura 26. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, ambientales, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, *Leptospira* y metales.

3) Todas las variables juntas con 8 colonias. Se realizó un análisis de clasificación utilizando la unión de Ward y la distancia Euclídeana. Se mantiene la división de los tres grupos: sur, centro y norte (Fig. 27).

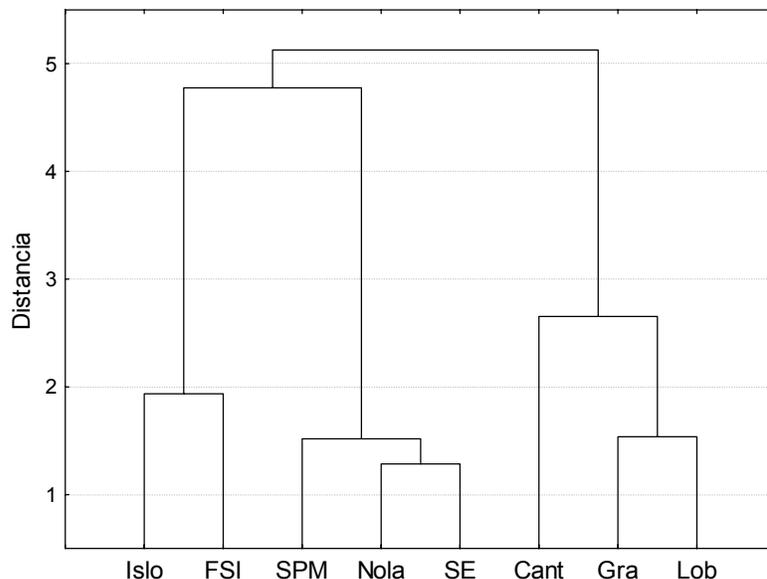


Figura 27. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando todas las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, ambientales, metales, *Leptospira* y osteoartritis.

4) Ensayo para determinar la ubicación de San Jorge, El Rasito y Los Machos. Variables utilizadas: Tendencia, diversidad, isótopos estables, ambientales y Osteoartritis en 11 colonias. Se utilizó un análisis de clasificación empleando la unión de Ward y distancia Euclídeana. La colonia Los Machos se asoció con Cantiles y Granito, Rasito se agrupó con el grupo centro (Nolasco, San Esteban y San Pedro Mártir) y San Jorge con Isla Lobos, al norte del Golfo (Fig. 28).

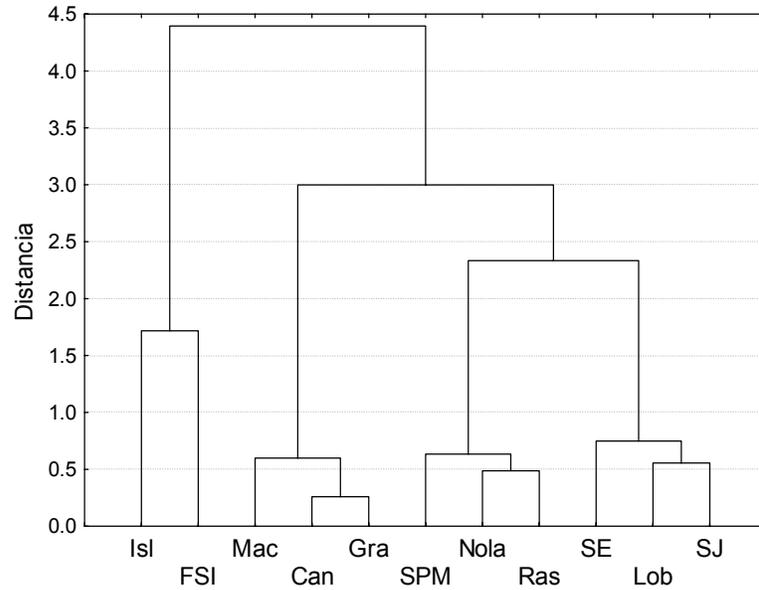


Figura 28. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, ambientales, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ y osteoartritis.

5) Ensayo usando las variables relacionadas con el ambiente: ambientales, isótopos estables y diversidad dieta con todas las colonias. Se realizó un análisis de clasificación empleando la unión de Ward y distancia Euclideana. Se distinguen 4 grupos: 1) Islotes, Farallón San Ignacio (Golfo sur), 2) Nolasco, S.P. Mártir, San Esteban, Partido, Rasito (Golfo centro) 3) Los Machos, Cantiles, Granito (Ángel de la Guarda) y 4) Lobos, San Jorge y Consag (Golfo norte) (Fig. 29).

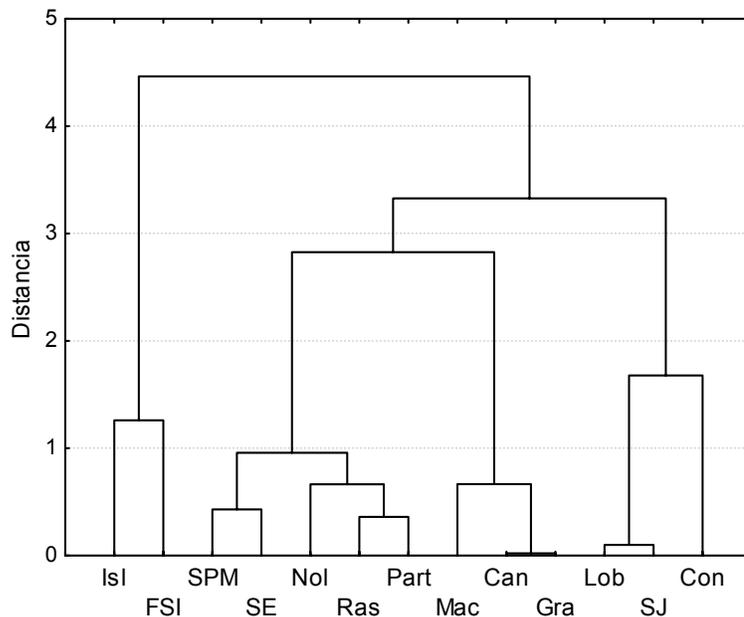


Figura 29. Análisis de clasificación de las colonias de lobo marino utilizando las variables: ambiente, diversidad de dieta, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$.

2.12 Agrupación de las colonias de lobo marino que presentan ausencias de datos

Las colonias que no cuentan con información completa para todas las variables son: Consag, San Jorge, Machos, Partido, Rasito. Utilizando los ensayos 1 y 5, Consag y San Jorge formarían un grupo norte, separándose de las situadas en Ángel de la Guarda. Isla Lobos sin embargo, de acuerdo con algunas variables se asociaría más con colonias del norte y de acuerdo a otras, con colonias de Ángel de la Guarda. Según los metales y ambiente, Isla Lobos se asocia con San Jorge y con Ángel de la Guarda, los isótopos y osteoartritis la agrupan con ésta última zona; y la dieta, *Leptospira* y *Morbillivirus* la asocian con Consag y con Ángel de la Guarda.

El Partido y El Rasito podrían pertenecer al grupo Ángel de la Guarda o al grupo centro, según la variable que se analice. De acuerdo con la tendencia poblacional, Partido se asocia con Granito, Cantiles, Machos y Farallón de San Ignacio (tendencia decreciente) y El Rasito con Isla Lobos y San Pedro Mártir (en fluctuación). En cuanto al $\delta^{15}\text{N}$ ambas colonias se asocian con el grupo Ángel de la Guarda y norte y con

referencia al $\delta^{13}\text{C}$ se agrupan con el grupo Centro. Partido presentó casos de *Morbillivirus*, por lo que se asocia con colonias del norte y Ángel de la Guarda y Rasito no presentó (al igual que colonias del centro y sur). Tanto Partido como Rasito presentaron bajas TSM y niveles de clorofila (agrupándose con colonias de Ángel de la Guarda y también con otras del centro), y compartieron 6 serovariedades de leptospira. Los isótopos estables, diversidad de dieta y osteoartritis las asocian con Los Machos y con colonias del centro.

De manera de esclarecer estas agrupaciones se realizaron ensayos con análisis discriminantes como análisis exploratorio, buscando la mejor configuración de 6 posibilidades (Tabla 13).

Tabla 13. Posibles configuraciones de agrupamiento de las colonias Isla Lobos, El Partido y El Rasito en los grupos Norte, Angel de la Guarda o Centro.

Configuración	Isla Lobos	Partido	Rasito
1	Norte	Ángel de la Guarda	Ángel de la Guarda
2	Norte	Centro	Centro
3	Norte	Ángel de la Guarda	Centro
4	Ángel de la Guarda	Ángel de la Guarda	Ángel de la Guarda
5	Ángel de la Guarda	Centro	Centro
6	Ángel de la Guarda	Ángel de la Guarda	Centro

Con las variables completas (tendencia, diversidad de dieta, isótopos estables y ambiente), la mejor discriminación se logró colocando a Partido en Ángel de la Guarda, a Rasito en el grupo Centro y a Isla Lobos en el grupo Norte ($W=0.005$, $F_{15,14}=5.50$, $p=0.0014$, $n=13$). En éste análisis la diversidad de dieta fue la variable más importante en la separación de los grupos ($W=0.024$, $W_{\text{parcial}}=0.208$, $F_{3,5}=6.34$, $p=0.037$), obteniéndose una clasificación correcta del 100% (Fig. 30a). Empleando las variables: metales, osteoartritis y ambiente se obtuvo una discriminación significativa ($W=0.0063$, $F_{9,9}=7.69$, $p=0.002$, $n=10$) con una agrupación correcta del 100% (Fig. 30b). Las variables que contribuyeron a esta discriminación fueron los metales ($W=0.06$, $W_{\text{parcial}}=0.101$, $F_{3,4}=11.85$, $p=0.019$) y ambiente ($W=0.11$, $W_{\text{parcial}}=0.05$, $F_{3,4}=23.49$, $p=0.005$).

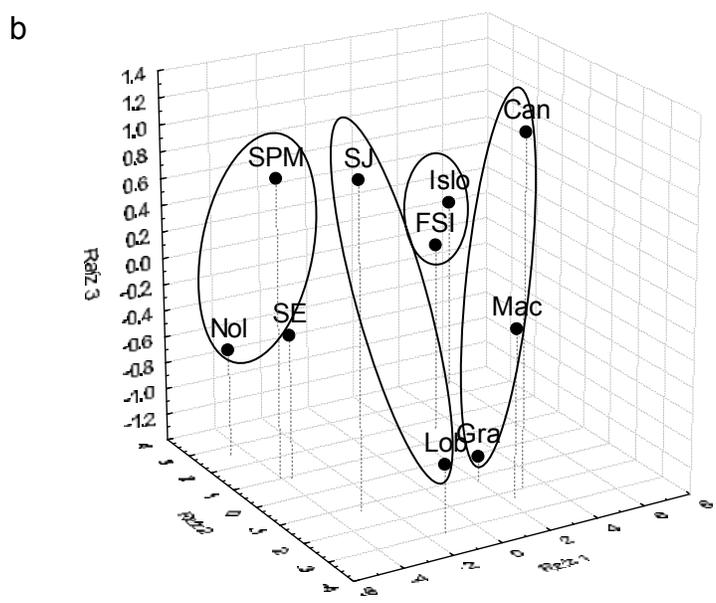
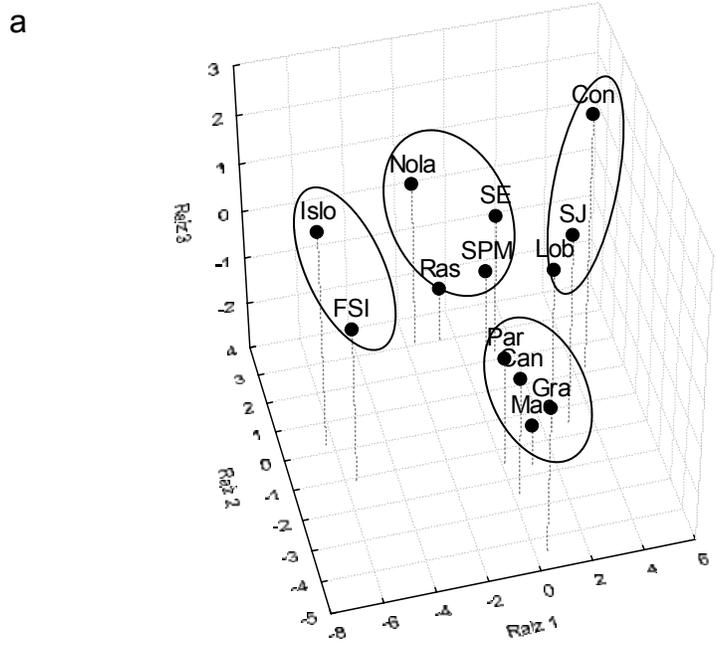


Figura 30. Análisis canónico asociado al análisis discriminante entre los 4 grupos de colonias propuestos, a) con las variables: tendencia, diversidad de dieta, isótopos estables y ambiente; b) con las variables: metales, osteoartritis y ambiente.

Es necesario aclarar que las otras configuraciones también discriminaron significativamente los 4 grupos, con un 100% de predicción correcta en la clasificación (ver Anexo 4). La configuración número 2 (Isla Lobos en el grupo Norte, Partido y Rasito en el grupo centro) fue la resultante del análisis de grupos realizado por González-Suárez *et al.* (2006). En nuestros análisis discriminantes fue una de las más significativas. Sin embargo se optó por la configuración número 3, por presentar el menor valor de Lamda de Wilks (Anexo 4). En resumen, de los ensayos de regionalización y análisis discriminantes, se proponen 4 grupos (Figura 31):

- Golfo Norte: Consag, San Jorge, Isla Lobos
- Grupo Ángel de la Guarda: Granito, Los Cantiles, Los Machos, El Partido
- Grupo Centro: El Rasito, San Esteban, S. Pedro Mártir, Nolasco,
- Grupo Sur: Farallón de San Ignacio y Los Islotes.

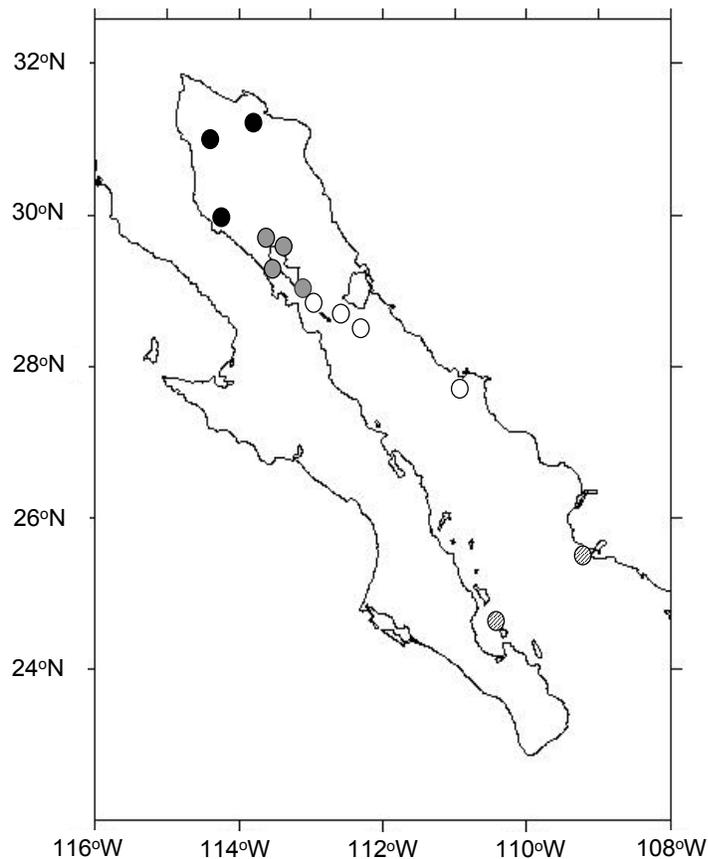


Figura 31. Regionalización general de las colonias reproductivas del lobo marino de California en el Golfo de California.

2.13 Discusión

Cada una de las regionalizaciones de las variables individuales mostró una estructura formada por entre 2 y 3 grupos de colonias de lobo marino de California dentro del Golfo de California. El análisis conjunto de las bases de datos ecológicas y biológicas de las colonias de *Zalophus c. californianus* indicó la existencia de cuatro agrupaciones. De acuerdo a los análisis discriminantes, la diversidad de dieta, la concentración de metales y las variables ambientales (TSM y clorofila 'a') fueron las más importantes en la separación de los 4 grupos. La dieta está muy relacionada con las variables ambientales y es posible que los metales provengan en su mayoría de la dieta. Esta estructura regional presenta coherencia geográfica (grupo norte, Ángel de la Guarda, centro y sur) y se corresponde con las unidades genéticas definidas en Schramm (2002) y con las regionalizaciones oceanográficas del Golfo de California. Coincidentemente, González-Suárez *et al.* (2006) llegaron a una clasificación muy similar en su análisis de clusters, empleando la distancia geográfica y la tendencia poblacional estandarizada.

Comparando con la estructura genética reportada por Schramm (2002) en 6 colonias del Golfo, nuestro grupo Norte (Consag, San Jorge e Isla Lobos) coincide con el grupo Norte de Schramm aunque en su trabajo solo se vio representado por la colonia San Jorge. La colonia Isla Lobos que se sitúa en el norte, comparte características con las colonias del grupo norte y Ángel de la Guarda. De hecho se halla a una distancia similar a la más cercana de cada grupo (102 km de Granito y 120 km de Consag). Lamentablemente el estudio genético no incluyó la colonia Isla Lobos, dato que nos ayudaría a definir si está genéticamente más cercana al grupo norte o al grupo Ángel de la Guarda.

El grupo Centro de Schramm (2002) incluye a Los Cantiles, Granito, Isla Lobos y San Esteban. Tres de estas colonias se agruparon ecológicamente en el grupo Ángel de la Guarda y una del centro (San Esteban), separando claramente a San Esteban de las colonias de Ángel de la Guarda. Este arreglo coincidiría con algunas regionalizaciones oceanográficas del Golfo de California, como la propuesta por Arias-Aréchiga (1998) y la de Lluch (2004) (Fig. 3 c,d).

Una situación similar a la de Isla Lobos, ocurre con Partido y Rasito que se encuentran en el límite entre el grupo Ángel de la Guarda y el grupo Centro. Su ubicación también es incierta y su asociación con un grupo u otro depende de la variable que se considere. Ambientalmente son más similares a las colonias de Ángel de la Guarda, pero los isótopos, dieta y osteoartritis las asocian con el grupo centro, junto con Los Machos. Lamentablemente tampoco se conoce la estructura genética de El Partido y El Rasito ya que el trabajo de Schramm (2002) no las incluyó.

La dificultad de asociar estas colonias con uno de los grupos colindantes podría deberse a la dinámica del ecosistema donde se ubican. En cierto sentido, reciben la influencia dada por el flujo de nutrientes desde el Canal de Ballenas al sur de las grandes islas (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994), pero en ciertas épocas del año o bajo algunas condiciones oceanográficas se comportan de manera diferente. En algunas regionalizaciones se encontró que Los Machos se asociaba con El Partido, posiblemente debido a dicha influencia oceanográfica. De igual manera, utilizando la importancia de especies presa, García-Rodríguez (1999) también separó a Los Machos de las colonias cercanas: Granito, Cantiles-Isla Lobos y El Rasito-San Esteban-San Pedro Mártir. Call *et al.* (2005) mencionan que los límites ecológicos marinos ocurren en la transición entre corrientes, giros o eddies y usualmente concentran nutrientes, presas y predadores. Estos límites comparten algunos aspectos: son zonas de transición tridimensionales entre dos sistemas diferentes y el gradiente del aspecto que las distingue es muy pronunciado.

Queda la incógnita de cómo se habrían colocado genéticamente las loberías San Pedro Mártir y Nolasco si se hubieran muestreado en el estudio genético de Schramm. Finalmente el grupo sur de Schramm fue definido solo con Los Islotes y en el presente estudio, esta colonia se asocia con Farallón de San Ignacio.

Relación entre variables ecológicas y la tendencia poblacional de las colonias de lobo marino

Cuatro factores: la concentración de mercurio, $\delta^{13}\text{C}$, clorofila 'a' y la osteoartritis fueron útiles clasificando las colonias en tres grupos según su tendencia poblacional, aunque con la salvedad de que el resultado en la prueba estadística

ocurre cuando se considera ésta combinación de variables. Al agregar otra variable o separando estas, no se obtiene el mismo resultado, por lo que habría que tomarlo con cautela. Más allá de esta salvedad, llama la atención que dos de estas variables están relacionadas con las características del área de alimentación ($\delta^{13}\text{C}$ y clorofila 'a'). Esto refuerza la idea de que algunas áreas del Golfo presentarían condiciones más favorables y otras menos afortunadas para el crecimiento de las poblaciones. Las otras dos variables están más relacionadas con la salud. La aparición de un metal altamente tóxico como el mercurio, como factor asociado con la tendencia poblacional, podría ser una alerta. Coincidentemente las mayores concentraciones de éste metal se encontraron en Lobos, Granito, Cantiles y Machos todas colonias decrecientes. Sin embargo, puede ser aventurado realizar una asociación causa efecto directa, porque no contamos con información acerca de los niveles de mercurio que se consideran peligrosos y tal vez estos altos valores no impliquen efectos letales en los lobos marinos. Por último, la osteoartritis presentó un claro patrón decreciente de norte-sur entre las colonias, por lo que su relación con las cuatro regiones es más directa.

Aspectos Oceanográficos

Más allá de las diferentes metodologías utilizadas se han diseñado varias regionalizaciones oceanográficas considerando los niveles de productividad primaria. Estas dividen en tres o cuatro zonas al Golfo de California: norte, centro, sur y varían en la ubicación de los límites y en que algunas separan una zona en las Grandes Islas. Posiblemente las diferencias ambientales se están viendo reflejadas en la ecología de los lobos marinos. El Alto golfo de California y la zona de las grandes islas presentan características oceanográficas muy particulares y diferentes a las del centro y sur del Golfo. Por ello, no es raro encontrar diferencias de la TSM, clorofila, en la diversidad de la dieta y en los niveles de isótopos estables, entre lobarías situadas en una u otra región. Incluso las variables más relacionadas con la salud (leptospira y osteoartritis) claramente mostraron patrones geográficos. Nuestras agrupaciones coinciden a grandes rasgos con la división oceanográfica del Golfo de California planteadas por Maluf (1983) y Lluch-Cota (2004).

Como ya se ha mencionado, varias descripciones oceanográficas del Golfo de

California se refieren a la zona de las grandes islas como una unidad definida por ciertas características particulares (e.g. Maluf, 1983; Lluch-Cota & Arias-Aréchiga, 2000; Lluch-Cota, 2004). Nuestra separación de las colonias del grupo Ángel de la Guarda, respecto de las clasificadas en el grupo centro, que también se ubican en las grandes islas (El Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir), podría explicarse por las diferencias oceanográficas entre ambas zonas. En la regionalización detallada de Santamaría-del-Ángel *et al.* (1994) el área donde se sitúan Machos, Partido y Rasito es una zona independiente (Canal de Ballenas, zona V) (Fig. 3b). De acuerdo al contenido de ácidos grasos, Los Machos se aisló como grupo independiente y la colonia más similar fue el Partido (Salazar, 2006). Similarmente, García-Rodríguez y Auriol-Gamboa (2004) también encontró que Los Machos era un grupo independiente según la importancia de presas en la dieta. Al igual que en nuestro grupo centro, Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir, formaron un grupo y compartirían otra zona de importancia alimentaria.

Con base en la distribución de fitoplancton delineada por Round (1967), Machos, Partido, Rasito, San Esteban y San Pedro Mártir se encontrarían en la zona 3, mientras que Cantiles, Granito, y las situadas en el Alto Golfo en la zona 4 (Fig. 3). La regionalización de Lluch-Cota (2004) justifica unir el grupo centro con el grupo sur, y la de Lluch-Cota & Arias-Aréchiga (2000) podría ser la que más coincide con nuestra separación de colonias, excepto por San Esteban que quedaría en el grupo 1 (ver Fig. 3e) junto con el golfo norte.

CAPÍTULO 3

Evaluación del estado de salud de las colonias de lobo marino

3.1 Introducción

Las enfermedades de los mamíferos marinos pueden reflejar cambios ambientales como polución, cambios en la abundancia o disponibilidad de las presas, o calentamiento global (Greig *et al.*, 2005). Particularmente, se ha sugerido la existencia de una interrelación entre los agentes de enfermedad y contaminantes ambientales como causantes de partos prematuros en hembras de la isla San Miguel, California (Gilmartin *et al.* 1976). Entre las causas de varamiento de lobos marinos en California se han encontrado problemas renales, malnutrición, leptospirosis y traumas de origen antropogénico (Dierauf, 1983; Gerber *et al.*, 1993; Goldstein *et al.*, 1999; Greig *et al.*, 2005).

En México, existen dos reportes de mortalidades masivas de mamíferos marinos. Uno ocurrió en el Alto Golfo de California en enero y febrero de 1995, donde murieron 51 lobos marinos de California, aparentemente a causa de una sustancia tóxica en el agua (Vidal & Gallo Reynoso, 1996). Por otro lado en la costa oeste de Baja California (Bahía de Todos Santos), se registraron 117 varamientos de lobo marino entre otros mamíferos marinos, entre 1998 y 2001. Esta especie fue la que más presentó heridas causadas por el hombre (principalmente disparos con armas de fuego) y la mayoría de los varamientos ocurrieron en el año Niño 1998 (Bravo *et al.*, 2005).

Se sabe que las infecciones entran a una población a través de los individuos más débiles. El estrés por falta de alimento es uno de los factores que produce individuos más susceptibles, pero también existen factores genéticos que producen el mismo efecto. Valsecchi *et al.* (2004) argumentan que existen grupos de individuos que presentan mayor susceptibilidad a contraer enfermedades infecciosas. En éste sentido, la distribución de estos individuos influirá en la tasa y dirección de dispersión de una enfermedad, e incluso si esta se dispara o no. Con base en las diferencias genéticas, ambientales y las asociaciones ecológicas entre las colonias de lobo

marino, podemos suponer que existirán diferencias en el estado de salud entre las áreas.

El concepto de salud poblacional que se utilizará en ésta tesis se basa en una idea multifactorial, debido a que generalmente ocurre una red de causas en la que varios factores se interrelacionan para resultar en una enfermedad (Wobeser, 1994). Es decir, que cada factor puede estar influenciado por varios otros por lo que usualmente es muy complicado determinar una relación clara de causa-efecto patológica (Irwin, 2005). Las enfermedades, como factores ecológicos y ambientales ejercen influencias directas e indirectas en la supervivencia de los animales y su dinámica poblacional (Hoff & Davis, 1982). El ambiente natural está compuesto por varios factores, posibles causantes de estrés como la nutrición inadecuada, la sobrepoblación o cambios sociales (Dierauf, 1990).

El objetivo de éste capítulo es desarrollar un análisis del estado de salud de las colonias y definir áreas críticas que requieran mayor atención o investigación. Para ello, se analizarán las variables indicadoras de estrés para calificar el estado de salud de las colonias de lobo marino en el Golfo de California.

Metales

Una de las mayores amenazas para los lobos marinos es el aumento de sustancias antropogénicas tóxicas que son vertidas al medio marino. Esto puede llevar a la muerte o predisponer a los animales a enfermedades, porque en muchos casos los metales afectan el sistema inmune de los animales, debilitándolos y haciéndolos más susceptibles a contraer enfermedades (Geraci *et al.*, 1999). Sin embargo, es complicado evaluar los efectos de contaminantes en mamíferos marinos porque viven en un ambiente muy dinámico y las manifestaciones de intoxicación son aparentes cuando ya ha llegado a un estado muy avanzado (Reijnders, 1988). Se ha reportado que los mamíferos marinos parecen tener mayor tolerancia a los metales pesados que los mamíferos terrestres, principalmente el mercurio (Papa y Backer, 1998).

En cuanto a la toxicidad de los metales, influye la forma química en que se encuentre cada elemento, el órgano examinado, el estado fisiológico, edad, talla, sexo y estado reproductivo de los animales (Reijnders, 1988). Incluso la forma química en

que se encuentre el metal es importante, por ejemplo la exposición ambiental ante el plomo es generalmente en forma inorgánica, mientras que el plomo orgánico es liposoluble y mucho más tóxico (Papa y Backer, 1998). De igual manera, existe evidencia de que los mamíferos marinos tienen la capacidad de desmetilarse, convirtiendo este elemento en Hg inorgánico, el cual puede acumularse de manera inocua y ser excretado (Wren *et al.*, 1999; Papa & Becker, 1998). Sin embargo, no se cuenta con información acerca de los efectos a largo plazo ni de sus implicancias fisiológicas. En algunos casos, los metales tóxicos pueden sustituir a los esenciales, por ejemplo el calcio del hueso puede ser sustituido por el plomo (Farias-González, 1996). En los Pinnípedos tiende a acumularse en mayores concentraciones en diente y hueso respecto a los tejidos blandos (Thompson, 1990).

A consecuencia, la interpretación de los niveles de metales en cuanto a la salud de los animales es muy complicada. Considerando que algunos metales son antagonistas de otros, habría que contar con mucha más información metabólica para establecer si estos niveles detectados son excesivos o al menos están teniendo algún efecto negativo en los organismos. Por ahora con lo que se cuenta, al menos podemos establecer colonias o grupos de colonias que tienden a presentar mayores niveles o serían más susceptibles a tener problemas relacionados con los metales en el futuro.

Con el fin de evaluar la salud de colonias de lobo marino en cuanto a su contenido de metales, se seleccionaron los tres más peligrosos o tóxicos: arsénico, mercurio y plomo. Se compara el contenido promedio de estos tres metales entre las colonias de lobo marino, a fin de evaluar donde se hallaron las mayores concentraciones y cuáles colonias serían más saludables.

El plomo es un tóxico que actúa a nivel molecular e inhibe la actividad de varias enzimas necesarias para el funcionamiento biológico normal. Puede tener múltiples efectos sobre la salud de los animales, los más estudiados son sobre el sistema hematológico, cerebro y sistema nervioso, aprendizaje, comportamiento, reproducción y supervivencia (Pain, 1995). Por su parte el mercurio se absorbe y acumula usualmente en forma de metilmercurio que es liposoluble y el principal órgano blanco es el sistema nervioso. Este metal comúnmente se bioacumula a lo largo de la cadena trófica (Wren *et al.*, 1995).

Un estudio previo realizado en el Golfo de California, también calificó las colonias según su concentración media de varios metales en pelo de crías (Elorriaga, 2002). Este utilizó un sistema de puntuaciones del 1 al 3 (1 si el contenido promedio de una colonia estaba por debajo del límite de confianza inferior de los datos, 2 si estaba entre ambos límites de confianza, o 3 si rebasaba el límite de confianza superior). Dicho estudio no incluyó el arsénico y reporta calificaciones de Hg de 1 en S. Pedro Mártir, San Esteban, Cantiles, Lobos y San Jorge, y calificaciones de 3 para Los Islotes, Granito y Consag. Con respecto al plomo, Los Islotes, San Esteban, Cantiles, Granito, San Jorge y Consag tuvieron calificación 1, mientras que San Pedro Mártir y Lobos de 3. En total para estos dos metales, Islotes, S. Pedro Mártir, Granito, Lobos y Consag tendrían máximas calificaciones.

Morbillivirus

El *Morbillivirus*, o virus de distemper canino, representa una afección a la salud de los animales con implicaciones letales. Como ya se ha mencionado ha provocado varios eventos de mortalidad masiva en distintas especies de mamíferos marinos. El Golfo de California no escapa a ésta problemática. Se conoce que hay animales que presentan *Morbillivirus* aunque no se ha registrado existido ningún evento de mortalidad atribuible a éste factor (Aurióles-Gamboa *et al.*, 2000).

Los signos clínicos que se encontraron en una infección por el virus de distemper canino y focino son similares, e incluyen problemas respiratorios, hipertermia y manifestaciones neurológicas (di Guardo *et al.*, 2005). También suceden cambios patológicos en el sistema nervioso central como encefalitis viral y patologías al sistema inmune (Irwin, 2005). Internamente causa inclusiones citoplasmáticas e intranucleares en tejidos epiteliales y lesiones en tejidos de varios sistemas (Kennedy *et al.*, 2000). Como agente infeccioso, se utilizó el *Morbillivirus* para comparar su incidencia entre colonias de lobo marino en el Golfo de California, como indicativo de estado de salud.

Diversidad de dieta

En este ejercicio se considerará que una alta diversidad de la dieta podría ser

indicativo de un potencial mejor estado de salud y baja diversidad reflejaría una peor situación. Esto es debido a que los animales que presenten alta amplitud de dieta estarían en ambientes que les ofrecen una mayor variedad para la elección de presas, lo que sería favorable para su supervivencia. Además, las regiones con alta diversidad de dieta podrían estar reflejando ambientes con mayor productividad o mayor diversidad de habitats (Sinclair & Zeppelin, 2000). En éste sentido se supone que las colonias que presenten dietas más diversas tendrían la capacidad de encontrar y capturar efectivamente distintos tipos de presas y explotar presas en distintos ambientes (pelágicas, costeras, bentónicas). Merrick *et al.* (1997) propusieron que la reducción de la diversidad de presas en la dieta del lobo marino de Steller como uno de los factores relacionados con la declinación poblacional.

La implicancia adaptativa de adoptar una mayor diversidad en la dieta, reside en que en caso de que algún recurso no estuviera disponible, tendrán más posibilidades de supervivencia, en cambio aquellos que dependen de una o muy pocas especies serían más susceptibles a sufrir problemas, si una de éstas fuese muy escasa.

Condición corporal

La condición corporal de las crías es un reflejo de la de sus madres, en cuanto a su éxito de alimentación y su asistencia en el amamantamiento de sus crías. La condición en última instancia puede estar relacionada con su supervivencia. Esto se encontró por ejemplo en el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*), donde una de las posibles causas del decrecimiento poblacional en el oeste de Alaska y las islas Aleutianas fue el estrés nutricional. Los lobos marinos cambiaron su dieta de una compuesta por peces con alto contenido de grasas (arenque entre otros), a especies de la familia Gadidae, con menor contenido energético (Rosen & Trites, 2000).

La relación entre el estado nutricional y la susceptibilidad para contraer enfermedades infecciosas está bien establecida y puede producirse a través de diferentes mecanismos, como inmunosupresión y debilitamiento (Geraci *et al.*, 1999). Se ha descrito un síndrome que conecta la malnutrición, defensas inadecuadas e infección (Ullrey, 1993). Por ejemplo, se ha reportado que un brote de *Morbillivirus* en delfines del Mar Mediterráneo fue disparado por la reducción de los recursos

alimentarios, debido a que los animales infectados presentaban una condición corporal pobre (Geraci *et al.*, 1999). También se han estudiado los efectos de condiciones ambientales desfavorables sobre la alimentación de las hembras lactantes en lobo marino en California. Durante El Niño, cuando ocurrió una disminución en la abundancia de presas, disminuyó también la tasa de preñez y aumentó la mortalidad de hembras adultas, lo que redundó en la reducción en el peso de crías y en el número de crías nacidas (DeLong *et al.*, 1991). Otros autores reportaron el aumento en la duración de los viajes de alimentación de las hembras lactantes (Heath *et al.*, 1991), que se vio reflejado en el crecimiento postnatal de las crías. Las crías nacidas durante El Niño fueron más pequeñas y presentaron una tasa de crecimiento más lento (Boness *et al.* 1991) y un incremento en la mortalidad de crías (Francis y Heath, 1991). Por otro lado, Iverson *et al.* (1991) encontraron una reducción en el consumo de leche por las crías.

Así, la condición corporal es un indicativo de su salud debido a que representa la cantidad y calidad del alimento ingerido por los animales. Los animales de bajo peso, débiles y con crecimiento lento podrían estar enfermos o sufrir de algún tipo de padecimiento, o estar predispuestos a contraer afecciones. En éste sentido, resulta interesante comparar éste factor entre colonias de lobo marino de California.

Tendencia poblacional

Otra manera de evaluar la salud de las colonias es considerar su situación poblacional. Con esto estaríamos incluyendo problemas demográficos que pudieran estar evitando o retardando el crecimiento poblacional, o enfermedades o impactos antropogénicos.

Al menos algunos eventos de mortalidad masiva tuvieron un impacto sustancial en la dinámica de largo plazo o en los perfiles genéticos de una población de mamíferos marinos (Harwood, 2001). Algunas enfermedades infecciosas tuvieron efectos serios y duraderos (particularmente en especies ya amenazadas), que se reflejaron en la tendencia poblacional de mamíferos marinos (Geraci *et al.*, 1999). También se han reportado eventos de mortalidad que afectaron la demografía de una población por la mortalidad diferencial de cierta clase de edad o sexo.

Se postula que las extinciones antropogénicas de mamíferos marinos se deben principalmente a dos factores: en primer lugar a la cosecha extensiva del pasado, que redujo en gran medida las poblaciones y luego fueron sujetas a fluctuaciones naturales estocásticas y factores antropogénicos. En segundo lugar a una combinación de factores de riesgo relacionados con el hombre: pérdida y disturbios al hábitat, captura incidental y contaminantes, que usualmente interactúan conjuntamente (VanBlaricom *et al.*, 2001).

Quizás la prueba más tangible del estatus de una colonia es el crecimiento poblacional, sobre la base de que si una población se incrementa es saludable. En éste sentido se evalúa la tendencia de las colonias, asignando mayores calificaciones a aquellas que decrecen, y viceversa.

Afecciones craneanas

Las causas de la osteoartritis degenerativa pueden estar relacionadas con la predisposición genética, edad, traumas, anormalidades metabólicas o bioquímicas y factores relacionados con el ejercicio (citas en Auriolles-Gamboa *et al.*, aceptado). Esta parece incrementarse con la edad ya que resulta de un deterioro progresivo con el tiempo. También se encontró más frecuentemente en machos que en hembras, posiblemente debido a los traumas y golpes que sufren durante las peleas territoriales (Díaz-Guzmán, 2003). Esta condición parece ser más frecuente en algunas poblaciones que en otras y podría tener una base genética hereditaria, ya que se ha encontrado en varios miembros de una familia (Díaz-Guzmán, 2003). El impacto de esta afección puede ser significativo para la salud cuando afecta la articulación temporo-mandibular, porque evitaría que los lobos marinos se alimenten exitosamente.

La osteomielitis es causada por la infección del hueso por microorganismos y puede estar relacionada con efectos antropogénicos o a ambientes severos (Auriolles-Gamboa *et al.*, aceptado). A consecuencia el hueso presenta orificios y proliferaciones óseas.

3.2 Metodología

La evaluación del estado de salud de las colonias de lobo marino en el Golfo de California se basó en la asignación de calificaciones a las loberías de acuerdo con su situación comparativa. Bajas calificaciones significan una mejor situación y altas calificaciones representan una peor situación. Para cada variable, las colonias se calificaron del 1 al 4, (1) Si su promedio se encontraba por debajo de los límites de confianza, (2) Si estaba entre el límite de confianza inferior y la media, (3) Si estaba entre la media y el límite de confianza superior y (4) Si superaba el límite de confianza superior.

Para los tres metales analizados (arsénico, mercurio y plomo), las colonias se puntuaron del 1 al 4 y luego se sumaron las calificaciones para los tres metales. En la Tabla 14 se muestran los promedios y las calificaciones resultantes para cada metal. Para las afecciones craneanas (osteoartritis y osteomielitis) se siguió el mismo procedimiento: como son dos afecciones el máximo puntaje posible es de 8 (Tabla 15).

En el caso del *Morbillivirus* sp., las calificaciones asignadas fueron cero (ausencia) y 1 (presencia). La tendencia poblacional de cada colonia se calificó con 0 si aumenta, con 0.5 si está estable, con 1 si decrece. Se asignó 0.2 a Nolasco ya que su tendencia creciente es más reciente y no incluye toda la serie de datos. Se realizaron algunas diferencias entre colonias que decrecen, asignando 0.8 a Partido porque aunque la tendencia poblacional general es significativamente decreciente, la tendencia de los críos fue creciente (Tabla 5, Capítulo 1). La diversidad de dieta se calificó con mayores puntajes a aquellas colonias que presentaron dietas menos diversas (Tabla 16).

Tabla 14. Concentración promedio de los tres metales más tóxicos empleados en el análisis de salud y calificación obtenida para cada colonia de lobo marino, de acuerdo al nivel medio y los límites de confianza.

Colonia	Concentración promedio (mg/kg)			Calificación		
	As	Hg	Pb	As	Hg	Pb
San Jorge	0	0.053	29.92	0	2	3
I. Lobos	0	0.207	27.49	0	4	3
I. Granito	2.27	0.176	29.60	2	4	3
Los Cantiles	0	0.157	25.06	0	4	2
Los Machos	0	0.137	28.04	0	4	3
San Esteban	28.66	0.031	26.47	4	1	2
SP. Mártir	12.71	0	13.33	2	0	1
Nolasco	49.32	0	38.03	4	0	4
F. San Ignacio	11.09	0.047	23.29	2	1	1
Los Islotes	26.19	0.028	29.94	3	1	3
Media:	13.03	0.09	27.39			
Lim inferior:	1.02	0.05	24.36			
Lim superior:	25.03	0.13	30.43			

Tabla 15. Prevalencia de las afecciones craneanas y calificación resultante para cada colonia de lobo marino de California.

Colonia	% Prevalencia		Calificación	
	Osteoartritis	Osteomielitis	Osteoartritis	Osteomielitis
San Jorge	0	10	1	4
I. Lobos	23	7.1	4	4
I. Granito	26	0	4	1
Los Cantiles	0	0	1	1
Los Machos	15.3	7.7	3	4
El Rasito	20	0	4	1
San Esteban	12.8	2.5	3	3
SP. Martir	0	0	1	1
Nolasco	14.2	0	3	1
FS Ignacio	10.5	0	2	1
Los Islotes	9.5	0	2	1
Media:	11.94	2.48		
Lim inferior	5.79	18.09		
Lim superior	0	5.07		

Tabla 16. Diversidad de dieta (índice de Shannon, H') para cada colonia de lobo marino de California y calificación resultante. 1 es máxima diversidad y 4 es mínima diversidad.

Colonia	H'	Calificación
Consag	0.90	4
I. Lobos	0.91	4
I. Granito	0.91	4
Los Cantiles	0.89	4
Los Machos	1.38	3
El Partido	1.78	2
El Rasito	2.14	2
San Esteban	1.47	3
S.P. Mártir	1.89	2
SP. Nolasco	2.42	1
F. San Ignacio	2.69	1
Los Islotes	1.78	2
H' media	lim. inferior	lim. superior
1.687	1.228	2.146

A fin de tratar la condición corporal para evaluar la salud de las colonias, se consideró que la condición corporal promedio de las colonias en los dos o tres años que haya sido muestreada. En la Tabla 17 se muestra la condición corporal promedio de los años muestreados cada colonia y la calificación resultante.

Tabla 17. Factor de condición de Fulton promedio en cada colonia de lobo marino de California para tres años de estudio y calificación del promedio.

Colonia	1996	1997	1998	Promedio	Calificación
San Jorge	2.21	2.25		2.23	3
Isla Lobos	2.32	2.16		2.24	3
Isla Granito	2.16	2.31	2.40	2.29	2
Los Cantiles	2.14	2.27	2.50	2.30	2
Los Machos	2.27	2.41	2.39	2.35	1
El Partido		2.24	2.19	2.22	2
El Rasito	2.02	2.22	2.27	2.17	4
San Esteban	2.04	2.29		2.16	4
SP. Mártir	2.28	2.36		2.32	1
Los Islotes	2.33	2.24	2.23	2.26	2
Calificación media	Lim inferior	Lim superior			
2.26	2.21	2.31			

Como no se cuenta con información completa para todas las variables y todas las colonias, por lo que para manejar este problema, se aplicaron dos estrategias. Un escenario “optimista”, considerando ceros en las ausencias de datos. Por otro lado, se consideró un escenario “pesimista”, asumiendo unos en las ausencias de datos, por lo que sería una peor situación de salud. Las puntuaciones se estandarizaron llevándolas a una escala de 0 al 1 para que fueran comparables entre sí y evitar darle más peso a alguna de ellas.

Estado de salud por zona

Se calculó también la calificación que presenta cada grupo de colonias, de acuerdo a los definidos en el Capítulo 1. Para ello se utilizó un criterio promedio en las ausencias de dato (0.5). La agrupación de colonias se basó en las descritas en el capítulo 2. Asimismo se exploraron las calificaciones resultantes con las configuraciones alternativas de Isla Lobos, El Partido y El Rasito.

Estado de salud y abundancia y tendencia poblacional de las colonias

Por último se exploró si existe alguna relación entre el estado de salud y la abundancia o tendencia poblacional de las colonias. El objetivo fue comparar la puntuación obtenida para cada colonia de acuerdo a todas las variables utilizadas en el análisis de salud (excepto la tendencia poblacional).

Para ello se realizaron regresiones entre el estado de salud promedio *versus* la abundancia total y de críos (transformadas con logaritmo) de cada colonia y la tasa de crecimiento. Por otro lado, se realizó un análisis discriminante entre la calificación promedio discretizada de cada colonia, *versus* el logaritmo de la abundancia total de cada colonia, la abundancia de críos y la tasa de crecimiento. En la Tabla 20 se muestran las calificaciones promedio de cada colonia y su subdivisión en grupos (para su clasificación en los análisis discriminantes). Los datos continuos se discretizaron con el criterio de corte donde los datos presentaban el salto más amplio. Así se separaron en dos grupos: 1: calificaciones menores a 2.62 (buen estado de salud) y 2: mayores de 2.63 (mal estado de salud). La calificación máxima posible es de 5 porque son 5 variables.

3.3 Resultados

Las calificaciones finales obtenidas para cada colonia de lobo marino con cada variable se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Calificaciones finales asignadas para cada colonia de lobo marino de California con base en su nivel de metales pesados, afecciones craneanas, *Morbillivirus*, tendencia poblacional, diversidad, y condición corporal.

Colonia	Metales	Osteo	<i>Morbillivirus</i>	Tendencia	Div_dieta	Condición	Total
Consag			1	0	4		5
San Jorge	6	5	0	0		3	14
I. Lobos	8	8	1	0.5	4	3	24.5
I. Granito	9	5	1	1	4	2	22
Los Cantiles	7	2	0	1	4	2	16
Los Machos	8	7	1	1	3	1	21
El Partido			1	0.8	2	2	5.8
El Rasito		5	0	0.5	2	4	11.5
S.Esteban	7	6	0	0	3	4	20
SP. Mártir	4	2	0	0.5	2	1	9.5
Nolasco	9	4		0.2	1		14.2
F.S.Ignacio	4	3		1	1		9
Los Islotes	7	3	0	0	2	2	14
PEOR	12	8	1	1	4	4	30
MEJOR	3	2	0	0	1	1	7

En la Tabla 19 se muestran las calificaciones obtenidas por cada colonia llevadas a una escala del 0 al 1.

Tabla 19. Calificaciones optimistas y pesimistas para cada colonia de acuerdo a las distintas variables analizadas.

Colonia	Metales	Osteo	<i>Morbillivirus</i>	Tendencia	Div_dieta	Condición	Total min-max
Consag	0/1	0/1	1	0	1	0/1	2.0-5.0
San Jorge	0.30	0.65	0	0	0/1	0.75	1.65-2.67
I. Lobos	0.50	1	1	0.5	1	0.75	4.75
I. Granito	0.70	0.65	1	1	1	0.5	4.85
Los Cantiles	0.40	0	0	1	1	0.5	2.90
Los Machos	0.50	0.85	1	1	0.75	0.25	4.35
El Partido	0/1	0/1	1	0.8	0.50	0.25	2.55-4.55
El Rasito	0/1	0.65	0	0.5	0.50	1	2.63-3.63
San Esteban	0.50	0.70	0	0	0.75	1	3.00
S.P. Mártir	0.10	0.20	0	0.5	0.50	0.5	1.80
Nolasco	0.60	0.50	0/1	0.2	0	0/1	1.30-3.30
F.S Ignacio	0.20	0.35	0/1	1	0	0/1	1.57-3.57
Los Islotes	0.50	0.35	0	0	0.50	0.5	1.85
PEOR	1	1	1	1	1	1	6
MEJOR	0	0	0	0	0	0	0

En la Figura 32 se pueden observar las puntuaciones finales obtenidas para cada colonia, discriminadas en las 6 variables utilizadas en éste análisis, para el escenario optimista y pesimista. Según el escenario optimista las colonias que presentan peor estado de salud son Lobos, Granito y Machos, mientras que con mejor salud estarían Nolasco, Farallón de San Ignacio y San Jorge. De acuerdo al escenario pesimista, Consag, Lobos, Granito, Machos y Partido estarían en una peor situación y Los Islotes y San Pedro Mártir, se encontrarían en mejor situación.

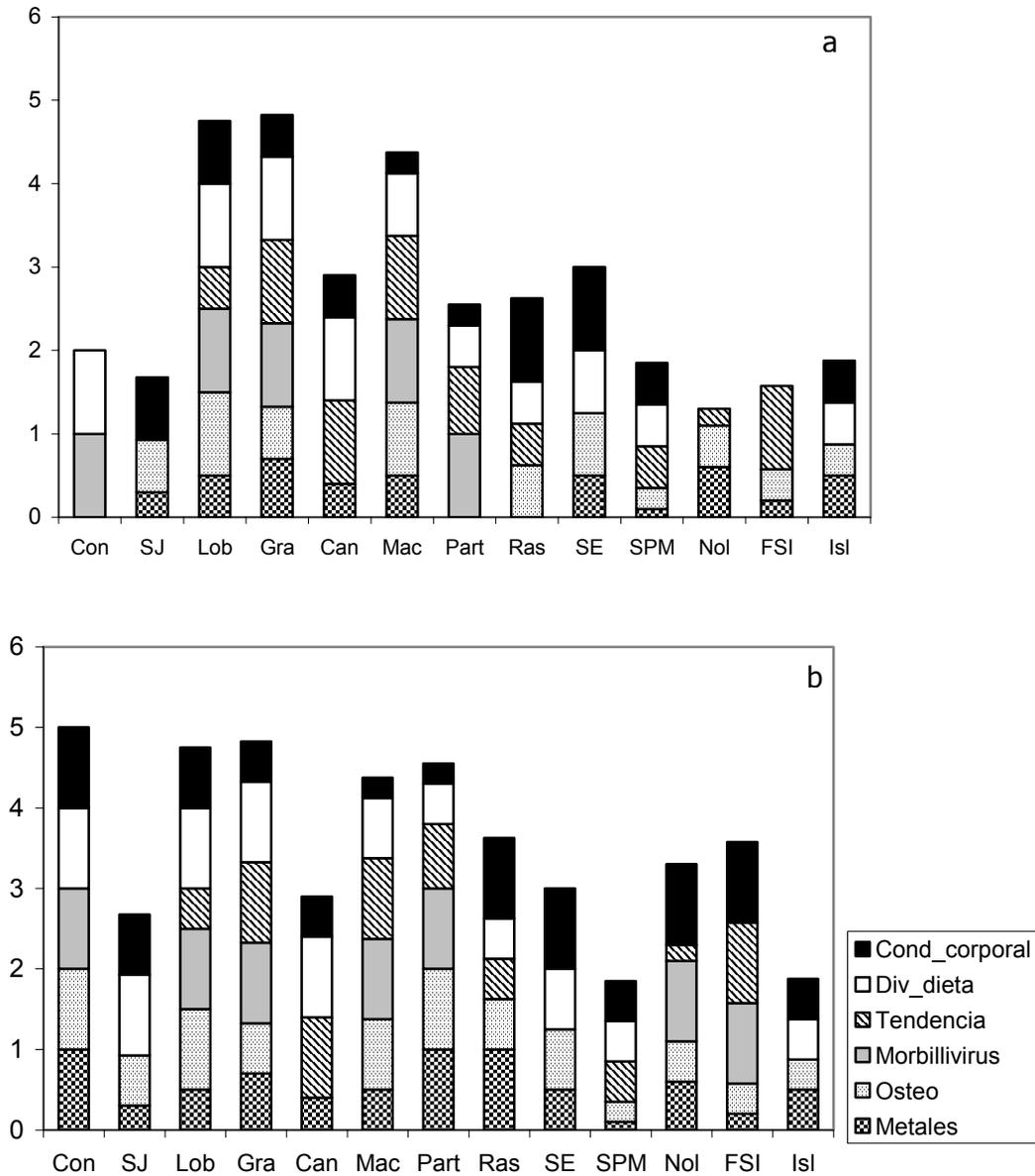


Figura 32. Gráfico de las calificaciones finales para cada colonia de lobo marino de California con base en la concentración de metales, afecciones craneanas, *Morbillivirus*, tendencia poblacional, diversidad de dieta y condición corporal, a) escenario optimista y b) escenario pesimista.

El estado de salud fue peor en la región Ángel de la Guarda, malo en el Norte, decreciendo en el Centro y Sur del Golfo de California (Fig. 33). Los resultados de las configuraciones alternativas se muestran en el Anexo 5. Coincidentemente, con todas

las configuraciones el estado de salud siempre fue peor en Ángel de la Guarda. Sin considerar la tendencia poblacional, la zona norte sería la que presenta el peor estado de salud y decrecería sucesivamente en la zona Ángel de la Guarda, centro y sur.

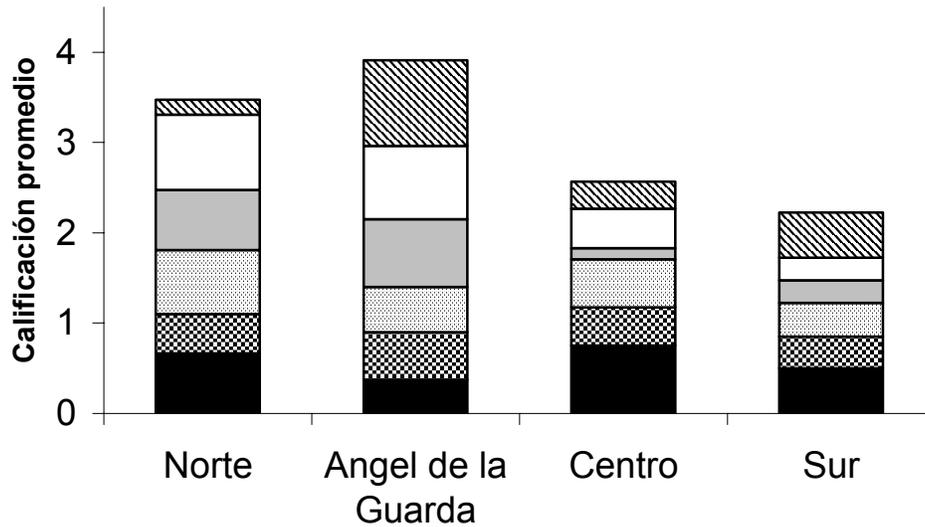


Figura 33. Gráfico mostrando las calificaciones finales para cada región de colonias de lobo marino de California con base en la concentración de metales, afecciones craneanas, *Morbillivirus*, tendencia poblacional, diversidad de dieta y condición corporal.

Condición corporal
 Metales
 Osteoartritis
 Morbillivirus
 Diversidad dieta
 Tendencia poblacional

En todas las situaciones, la región 1 se caracteriza por mala condición corporal, alta prevalencia de osteoartritis, presencia de *Morbillivirus* y baja diversidad de dieta. La región 2 por elevada concentración de metales, presencia de *Morbillivirus*, baja diversidad de dieta y tendencia poblacional decreciente, la región 3 por mala condición corporal y la región 4 presenta bajas puntuaciones para todas las afecciones.

Tabla 20. Calificaciones promedio obtenidas para cada colonia con base en su nivel de metales, condición corporal, diversidad de dieta, *Morbillivirus* y afecciones craneanas.

Colonia	Calificación	Grupo
Consag	3.50	2
San Jorge	2.17	1
Isla Lobos	4.25	2
Isla Granito	3.82	2
Los Cantiles	1.90	1
Los Machos	3.37	2
El Partido	3.00	2
El Rasito	2.63	2
San Esteban	3.00	2
S Pedro Mártir	1.35	1
Nolasco	2.10	1
F. San Ignacio	1.57	1
Los Islotes	1.87	1

Ninguna de las regresiones entre las calificaciones de salud y la abundancia o tendencia poblacional de las colonias resultó significativa (Anexo 6). Tampoco discriminaron entre los grupos sugeridos por la calificación de salud ($W=0.978$, $F_{3,9}=0.065$, $p=0.977$).

3.5 Discusión

El desarrollo de un sistema de calificaciones resultó apropiado para comparar la situación de salud entre las colonias. Esto es debido a que varias afecciones y patologías empleadas no cuentan con información de base para esta especie, que permita establecer cual es el nivel que provoca efectos en la salud. Sin embargo la situación comparativa resulta de gran relevancia para el manejo, ya que es posible

determinar colonias particulares que serían más vulnerables a sufrir problemas de salud, o por lo menos serían más susceptibles.

Comparando las colonias individualmente con el escenario optimista, la mejor situación comparativa se encontró en Lobos, Granito y Machos. Estas tres colonias se sitúan alrededor de la Isla Ángel de la Guarda y se caracterizaron por tendencia poblacional decreciente, presencia de *Morbillivirus*, alta concentración de metales tóxicos y alta prevalencia de osteoartritis. Según el escenario pesimista, se agregan Consag y Partido, reflejándose la influencia de las ausencias de datos. Por otro lado, las dos colonias en mejor estado de salud comparativo difieren entre ambos escenarios: Los Islotes y San Pedro Mártir cuentan con la información completa, por lo que su baja puntuación refleja su situación real. En cambio, Nolasco y Farallón de San Ignacio quedaron con mejor salud en el escenario optimista y tienen dos ausencias de datos, por lo que su baja puntuación final puede deberse a la asignación de valores cero.

El análisis de salud de los grupos de colonias resultante de la regionalización ecológica (capítulo 2), permite detectar y comparar cuales son los problemas de salud que afectan a cada zona. La zona norte se caracteriza por colonias con tendencias poblacionales crecientes o fluctuantes (Isla Lobos), baja diversidad de presas, presencia de *Morbillivirus* (excepto en San Jorge), elevada prevalencia de patologías craneanas, mala condición corporal de crías y concentración de metales relativamente alta.

La zona Ángel de la Guarda presentó tendencias poblacionales decrecientes y máximas probabilidades de extinción. Los metales seleccionados exhibieron máximas concentraciones, presentó casos de *Morbillivirus* (excepto en Los Cantiles) y escasa diversidad de presas. El estado de salud es el peor comparativamente. Sin considerar la tendencia poblacional, la calificación del grupo norte sería mayor a la del grupo Ángel de la Guarda. Esto es debido principalmente a la influencia de Isla Lobos, ya que cuando no se considera la tendencia, las configuraciones que la colocan en Ángel de la Guarda (4 al 6, Anexo 5) muestran que la calificación global del grupo norte no superaría al grupo Ángel de la Guarda.

En la zona Centro la tendencia poblacional fue creciente y en recuperación en

dos colonias (San Esteban y Nolasco) y fluctuante en San Pedro Mártir y Rasito. Dos colonias presentan alta prevalencia de patologías craneanas y mala condición corporal (Rasito y San Esteban), mientras que la concentración de metales tóxicos fue alta en Nolasco y media en San Esteban. En general presentan dietas medianamente diversas. El estado de salud global presenta una calificación intermedia, sin variar sustancialmente entre las diferentes configuraciones (Anexo 5). En la zona Sur, la tendencia poblacional fue creciente en Los Islotes y decreciente en Farallón de San Ignacio, y presenta bajas calificaciones en todas las afecciones. Su esta evaluación de estado de salud fue el más favorable.

La falta de asociación entre las puntuaciones de salud con la tendencia y abundancia poblacional de cada colonia, implica que la tendencia poblacional no estaría relacionada con las calificaciones finales obtenidas por las colonias de lobo marino. En cambio, es posible que varios aspectos ecológicos estén actuando de diferentes maneras en cada colonia resultando en su estado de salud y éste no siempre se vea reflejado en una tendencia poblacional decreciente o la baja abundancia poblacional.

DISCUSIÓN GENERAL

La existencia de cuatro grupos de colonias de lobo marino en el Golfo de California es coherente con el arreglo genético y con las regiones oceanográficas descritas en el Golfo. Todo esto reafirma que las características ecológicas de las colonias se encuentran subdivididas y no se trataría de un grupo homogéneo. El análisis de salud permitió establecer que zona estaría en una peor situación relativa y cuales serían las afecciones que más afectan cada región. La principal ventaja de ésta regionalización es que al definir diferencias entre zonas de colonias, facilitará enfocar futuras normas o regulaciones de manejo, ya sea de las propias colonias, como de áreas prioritarias de conservación en el Golfo, como la diseñada por Arriaga-Cabrera *et al.* (1998), entre otras.

De acuerdo con el análisis de estatus y tendencia poblacional de las colonias de lobo marino, aquellas ubicadas alrededor de la isla Ángel de la Guarda fueron las que se encontraban decreciendo y con mayores probabilidades de extinción local. González-Suárez *et al.* (2006), también reportaron que la tasa de crecimiento poblacional fue menor en el grupo norte de las Grandes Islas (formada por Granito, Cantiles y Machos) y mayor en el grupo sur de las Grandes Islas, que sería similar a nuestro Grupo Centro (aunque incluyendo a Partido y Rasito).

La región Ángel de la Guarda (incluyendo Partido) alcanza entre 3444 y 4495 individuos y las colonias están próximas entre sí, por lo que las interacciones entre las colonias serían mayores y cabe esperar que exista un mayor intercambio de animales. Esta zona presenta características ambientales particulares, que la distinguieron del norte y sur del Golfo, lo que se reflejó claramente en el análisis de regionalización utilizando la TSM y la clorofila. La diversidad de dieta fue baja en todas las colonias y se sabe que una de las principales presas en ésta zona es la sardina Monterey (García-Rodríguez, 1999). Por otro lado, se ha reportado una relación significativa entre la abundancia de sardina y la producción de crías en algunas colonias (Aurioles-Gamboa *et al.*, sometido). Además, esta zona presentó la peor situación de salud, es decir que sería más vulnerable.

Las colonias ubicadas en el norte del Golfo (Consag, San Jorge e Isla Lobos)

serían las más aisladas genéticamente y restringidas en sus migraciones, ya que solo pueden moverse hacia el sur. La población de estas tres colonias se estima entre 8,658 y 11,506 individuos y su estado de salud fue malo. La región central presenta una población entre 11,096 y 14,039 y su estado de salud fue intermedio, mientras que la región sureña presenta entre 864 y 1,120 individuos repartidos en dos colonias (según datos corregidos). Su estado de salud fue comparativamente el más saludable.

En el presente trabajo no se detectó una asociación entre la tendencia poblacional, ni la abundancia total ni la de críos, con el estado de salud. Es posible que cada una de las variables ejerza cierta influencia y existan efectos combinados a manera de red de causas, como fue sugerido por Wobeser (1994) y por eso no se detectó una variable particular que sea responsable del comportamiento poblacional. Esto resulta interesante, ya que se trataría de la influencia o aporte de varios factores los que provocarían una tendencia poblacional decreciente. Asimismo existen muchos otros agentes que escapan a este trabajo, como pueden ser contaminantes organoclorados, enmalle, impacto antropogénico, otras enfermedades infecciosas, etc.

Estructuración de poblaciones y filopatría

Varios aspectos pueden estar relacionados con la diferenciación de poblaciones, como una capacidad limitada de dispersión, la adaptación local, las corrientes oceanográficas, discontinuidades del hábitat, aislamiento por distancia y vicarianza histórica (Riginos y Nachman, 2001). En el caso del lobo marino de California un conjunto de variables de diferentes características coincidieron en mostrar un patrón geográfico estructurado. Entre los factores antes mencionados, la limitada capacidad de dispersión no sería una restricción en los lobos marinos, ya que estos presentan la capacidad fisiológica de moverse grandes distancias. ¿Por qué entonces quedan asociados a las colonias natales o por lo menos a las colonias cercanas?

Un factor importante es la fidelidad al sitio que caracteriza a las hembras adultas de lobo marino, que como se hace mención en la Introducción, permanecen en los

sitios reproductivos para amamantar a sus crías durante a lo largo de un año. Probablemente este tiempo se extiende desde que la hembra comienza a reproducirse hasta su muerte (desde de los 5-7 años a los 18 años de edad, según Hernández-Camacho, 2001). De la misma manera, varias especies de Pinnípedos presentan preferencia por sus colonias natales (ver Baker *et al.*, 1995) y ésta preferencia implica incluso lugares específicos dentro de la colonia. Por ejemplo, en la colonia Los Islotes (Golfo de California), el 60% de los machos y el 75% de las hembras regresan al mismo sitio año con año (Hernández-Camacho, 2001). Parece existir una relación entre la reproducción y la filopatría. En el lobo fino del norte (*Callorhinus ursinus*), se encontró que la fidelidad al sitio fue mayor en hembras que en machos y se incrementó en la edad reproductiva. El regreso a estos sitios natales representaría una ventaja selectiva para los animales y se interpreta como la maximización del potencial reproductivo del animal que regresa al sitio donde fue exitosamente criado (Baker *et al.*, 1995).

En otro orden de ideas, la filopatría también se reflejó en un estudio morfológico en machos adultos en el Golfo de California. Zavaleta (2003) encontró diferencias entre los cráneos de machos de la zona norte-centro y sur del Golfo de California. Esto implica que a pesar de que los machos se dispersan fuera de la época reproductiva, la mayoría se encuentra asociado a las colonias natales. A pesar de que su agrupación de colonias no concuerda exactamente con la reportada aquí y es más gruesa, el resultado es interesante al apoyar la existencia de al menos dos formas morfológicamente diferentes. Es posible que nuestros grupos Norte, Ángel de la Guarda y Centro compartan una morfología y el grupo sur otra.

Fidelidad a áreas de alimentación

Si las hembras alternan entre períodos de amamantamiento y de alimentación en el mar, deben restringir su comportamiento alimentario espacial y temporalmente, y así, el tiempo y el gasto energético son sus principales limitaciones (Bailleul *et al.*, 2005). Es energéticamente económico y más rápido alimentarse cerca de la colonia. Por ello, existiría también una fidelidad a los sitios de alimentación. Esto ha sido

reportado en otras especies de Pinnípedos como el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*) (Merrick & Loughlin, 1997), el lobo fino Antártico (Boyd *et al.* 1998; Bonadonna *et al.* 2001), el lobo fino del norte (Robson *et al.*, 2004) y la foca gris (*Halichoerus grypus*) (Mc Connell *et al.*, 1999; Sjöberg & Ball, 2000). Los grupos podrían indicar que los lobos marinos están explotando zonas con diferentes condiciones oceanográficas y/o dependen de diferentes sitios de alimentación (García-Rodríguez, 1999).

Debido a la cercanía geográfica entre colonias, es esperable que cuanto más cercanas compartirán más aspectos porque habrá mayor flujo de animales, pero también porque las áreas de alimentación serán similares. Debido a que la proporción de hembras adultas en las colonias es importante (entre el 40 y 50%) seguramente la mayor parte de los datos de la dieta (colecta de copros) provenga de hembras y por eso se refleja la alimentación más local. Por ejemplo, en *Arctocephalus gazella*, se encontró que las hembras se alimentan en las cercanías de las colonias, en cambio los machos se dispersan a mayores distancias (Boyd *et al.*, 1998). Si al menos las hembras de *Zalophus californianus* se están alimentando en las cercanías de su colonia en el Golfo de California, al analizar datos de alimentación, isótopos estables y condiciones ambientales, es lógico encontrar un patrón común. Pero además algunos metales pueden provenir del alimento, por lo que podrían reflejar la misma estructura geográfica. Enfermedades infecciosas como la leptospirosis y el *Morbillivirus* se transmiten por contacto, por lo que también es coherente que se asocien colonias cercanas que presentarían un mayor flujo de animales. De la misma manera, la osteoartritis presenta una regionalización ya que estaría determinada por factores genéticos.

Una clasificación ecológica de las colonias de lobo marino de Steller en Alaska, encontró que las regiones parecen estar asociadas con las corrientes oceánicas principales, distinguidas por diferencias de temperatura y profundidad (Call *et al.*, 2005). Dicho estudio realizó una clasificación ecológica con base en la similitud de parámetros ecológicos, tomando en cuenta características del hábitat (batimetría, TSM, tipo de sustrato y su orientación), dieta y tendencia poblacional. Los autores

recalcan la importancia de considerar los ecosistemas de las áreas en las decisiones de manejo, ya que esto determina la localización de los sitios de alimentación y de las colonias.

Existen varios estudios que utilizando telemetría y marcadores satelitales indican que la distribución, abundancia y el comportamiento de los depredadores tope marinos parece estar relacionado con aspectos físicos y biológicos (batimetría, temperatura superficial del mar y productividad primaria) (Boyd *et al.*, 1998; Guinet *et al.*, 2001; Bailleul *et al.*, 2005). Por ejemplo, en Escocia, la selección de sitios de alimentación de la foca de puerto (*Phoca vitulina*) estuvo influenciada por la combinación de condiciones batimétricas locales, la capacidad de maximizar el tiempo invertido en alimentación, la disponibilidad de las presas, y los costos y beneficios de nutrirse de diferentes presas (Tollit *et al.*, 1998). La dinámica de la depredación de la foca de puerto en Washington (EE.UU.) estaría debida a la interacción entre las corrientes de marea y aspectos topográficos. Estos aspectos conformarían un mecanismo para incrementar la disponibilidad de las presas y el flujo de energía hacia niveles tróficos superiores (Zamon, 2001). Mc Connell *et al.* (1999) encontraron que los destinos de la foca gris en el mar del Norte fueron sitios con determinadas características del sedimento, donde se encuentran sus presas preferidas. De la misma manera, la dispersión geográfica y el comportamiento de buceo en elefantes marinos del sur (*Mirounga leonina*) se asoció con aspectos físicos y biológicos del ambiente oceánico (Mc Connell *et al.*, 1992). Se ha reportado una relación positiva entre el tiempo de buceo del lobo fino Antártico (*Arctocephalus gazella*) con el gradiente batimétrico y el gradiente de clorofilas cerca de la colonia (Guinet *et al.*, 2001). De acuerdo con Sjöberg & Ball (2000), la selección de hábitat de la foca gris en el Mar Báltico se basa en aspectos batimétricos (profundidad o pendiente) y el área de acción circular alrededor de la colonia. Esto podría ser debido a la distribución de las presas, o a que las focas las detectarían más fácilmente en ciertas condiciones batimétricas. Incluso la temperatura superficial del mar sería un factor que ajusta el comportamiento alimentario, como se ha encontrado en el lobo fino subantártico (*Arctocephalus tropicalis*) en la Isla Amsterdam (Georges *et al.*, 2000).

Por el contrario, los movimientos invernales de hembras de lobo fino del norte

(*Callorhinus ursinus*) no siguió aspectos costeros ni batimétricos, sino que se correspondió con los giros, eddies y corrientes. Los eddies en particular se caracterizan por alta productividad primaria y por retener y transportar zooplancton, concentrando presas para depredadores (Ream *et al.*, 2005).

En el Golfo de California, Riginos & Nachman (2001) determinaron que la discontinuidad genética del pez *Axoclinus nigricaudus*, coincide con un cambio abrupto en características ecológicas (salinidad y temperatura). La diferencia genética se incrementó con la distancia geográfica entre las poblaciones, a manera de aislamiento por distancia. Sus resultados indican que el nivel de diferenciación genética entre poblaciones es un efecto combinado de la biogeografía, distancia geográfica y disponibilidad de hábitat. Es posible que estos dos primeros aspectos, entre otros, también expliquen la diferenciación de las colonias reproductivas del lobo marino de California en el Golfo de California.

CONCLUSIONES

- La población del lobo marino de California en el año 2004 estuvo entre 24,062 y 31,159 animales, declinando un 20.1% desde la última estimación publicada (Aurioles-Gamboa y Zavala-González 1994)
- De acuerdo a la tendencia poblacional y a los resultados de los PVA, las colonias se clasificaron en tres grupos: en aumento (Consag, San Jorge, San Esteban, Los Islotes y desde 1992, Nolasco), declinando (Granito, Cantiles, Machos, El Partido y Farallón de San Ignacio) y estables o en fluctuación (Isla Lobos, El Rasito y San Pedro Mártir).
- El análisis de regionalización de cada variable ecológica refleja un patrón geográfico, donde las colonias de lobo marino se agrupan en 3 a 4 grupos. A pesar de la variabilidad producto de las diferentes características de las variables, las regiones muestran coherencia geográfica.
- La regionalización general refleja la existencia de 4 grupos de colonias organizadas de norte a sur del Golfo. Esta se comprobó con diferentes análisis estadísticos, fortaleciéndose mediante la acumulación de evidencia de técnicas exploratorias.
- La colonia Isla lobos se encuentra en el límite de la zona Norte y la zona Ángel de la Guarda y su asociación depende de la variable que se utilice para ubicarla espacialmente. El Partido y El Rasito también estarían en el límite de dos zonas (Ángel de la Guarda y Centro) y presentaron la misma dificultad de regionalizarlas. Estas tres colonias comparten aspectos con dos zonas. La mejor discriminación se logró ubicando a Isla Lobos en el grupo Norte, El Partido en Ángel de la Guarda y El Rasito en el grupo centro.
- No se encontró asociación entre la tasa de crecimiento poblacional total, ni la abundancia total o de crías, con las variables en estudio.
- Utilizando la combinación de Hg, diversidad de dieta, clorofila, osteoartritis, $\delta^{13}\text{C}$ y

$\delta^{15}\text{N}$, las cuatro primeras variables clasificaron correctamente los grupos de colonias con diferentes tendencias poblacionales (creciente, decreciente y fluctuante).

- Las colonias menos saludables se encuentran alrededor de la isla Ángel de la Guarda (Lobos, Granito y Machos). Esto coincide con el hecho de que varias colonias en esta zona muestran tendencias poblacionales decrecientes.

- San Jorge, Los Islotes y San Pedro Mártir serían colonias saludables. Las dos primeras presentan tendencias poblacionales crecientes y la última se encuentra fluctuando.

- El grupo Ángel de la Guarda presentó la peor situación relativa de salud, con las 6 posibles configuraciones de agrupamiento de Isla Lobos, Partido y Rasito. El grupo Norte también mostró un estado de salud negativo, el grupo centro estuvo en un nivel intermedio y el grupo Sur mínimo.

- No parece existir relación entre las calificaciones de salud promedio de las colonias y la abundancia total o de crías, ni con la tasa de crecimiento poblacional.

RECOMENDACIONES DE MANEJO

El reconocimiento de unidades de manejo es fundamental para su manejo adecuado a corto plazo, ya que constituyen unidades lógicas para estudios demográficos y monitoreo. Estas unidades de manejo serían poblaciones que presentan una divergencia significativa de frecuencias alélicas sin considerar la diferenciación filogenética de los alelos (Moritz, 1994).

Recomendaciones para cada grupo de colonias

- GRUPO NORTE: Dos de las colonias se encuentran en aumento, pero Isla Lobos estaría decreciendo y además presenta un estado de salud relativamente desfavorable. Sería recomendable obtener más datos de Consag y se sugiere un manejo precautorio hasta tanto se cuente con mayor información que permita realizar una mejor evaluación de su estado de salud.

- GRUPO ÁNGEL DE LA GUARDA: se registraron algunos problemas de salud y todas estas colonias están declinando, por lo que se recomienda enfocar esfuerzos hacia su situación. Además, sería recomendable tener en cuenta la relación entre la tendencia poblacional y la abundancia de sardina, a la hora de plantear posibles normas de manejo que afecten a la pesquería de dicha especie en la zona.

En cuanto a la situación de El Partido, no se cuenta con información acerca del contenido de metales ni patologías craneanas. Debido a que se encuentra decreciendo, se recomienda dirigir acciones hacia su conservación, especialmente por su pequeño tamaño poblacional y por precaución por las incertidumbres acerca de su situación de salud.

- GRUPO CENTRO: En ésta zona también se registran algunos problemas de salud puntuales. San Pedro Mártir no parece tener problemas de salud de importancia, aunque deberían obtenerse otro tipo de datos que permita entender porqué su población es tan fluctuante. Al igual que El Partido, El Rasito presenta baja abundancia poblacional y se recomienda tener en cuenta sus vulnerabilidades y estar alerta sobre

su situación a través de constantes monitoreos, a fin de detectar eventuales problemas de salud o cambios en su tendencia poblacional.

Asimismo, sería muy recomendable actualizar los censos en Nolasco, para saber si la población sigue creciendo, ya que la última estimación poblacional fue realizada en 1997. Sería importante registrar datos de las afecciones que no se han estudiado aún.

- GRUPO SUR: De las variables incluidas en análisis de salud ninguna destaca con altas calificaciones. Sin embargo, no se cuenta con información sobre la presencia de *Morbillivirus* ni condición corporal en Farallón de San Ignacio. Sería apropiado completar los datos de potenciales problemas de salud, a fin de que ayuden a analizar su situación, especialmente porque es una colonia pequeña y se encuentra decreciendo significativamente. Se recomienda enfocar esfuerzos a su conservación precautoria. Los Islotes en cambio, está creciendo significativamente y es monitoreada regularmente. Además está protegida dentro del Plan de Manejo Islas del Golfo de California.

Recomendaciones generales

- Se sugiere enfocar esfuerzos de conservación en el Grupo Ángel de la Guarda y en el Grupo Norte. El primer grupo presentó elevada prevalencia de varias afecciones, lo que será necesario monitorear y merece más investigación. El grupo norte también mostró elevadas calificaciones reflejando un estado de salud negativo y además esta región estaría aislada genéticamente a la del Pacífico. Por tal razón es muy importante conservar esta variabilidad genética y ecológica única.

- Resulta necesario conocer la estructura genética de todas las colonias, para definir la pertenencia de algunas de ellas a la regionalización aquí propuesta. Particularmente aquellas colonias que se encuentran en los límites entre dos grupos, por lo cual su ubicación resultó más insegura.

- Como trabajo de rutina, se recomienda que en las visitas anuales a las colonias se colecte información sobre contaminantes organoclorados antropogénicos (PCB y DDT), y otro tipo de posibles afecciones como parásitos, otros virus y bacterias.

- Sería conveniente actualizar la situación poblacional en Nolasco y Consag que son las colonias que presentan pocos datos o hace varios años que no son censadas.
- Se recomienda realizar esfuerzos de investigación a fin de estimar la tasa de movimiento de animales entre colonias, a través de programas de marcaje y análisis genéticos.
- Estudiar la posible relación entre el mercurio y la osteoartritis con la tendencia poblacional.
- Se sugiere tener en cuenta el manejo de la pesquería de sardina, ya que la sobrepesca tendrá efectos en el ecosistema, particularmente puede provocar el decrecimiento poblacional de algunas colonias de lobos marinos en la zona de las grandes islas y centro del Golfo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Whitehouse, K., H. de la Cueva, F.M.D. Gulland, D. Auriolles-Gamboa, F. Arellano-Carbajal & F. Suárez-Guemez. 2003. Evidence of *Leptospira interrogans* infection in California sea lion pups from the Gulf of California. *Journal of Wildlife Diseases*, 39(1): 145-151
- Acevedo-Whitehouse, K.A. 1999. *El lobo marino de California (Zalophus californianus californianus) en el Golfo de California: hallazgos patológicos*. Tesis de Medicina Veterinaria Zootecnista. Universidad Autónoma de México. 65 p.
- Acevedo-Whitehouse, K.A. 2001. *Incidencia de Leptospirosis en crías de Zalophus californianus californianus en siete colonias reproductivas del Golfo de California durante la temporada reproductiva del 2000*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 57 p.
- Aguíñiga-García, S. 1999. *Geoquímica de la cuenca estuarina del Río Colorado: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C., 155 p.
- Ainley, DG., H.R. Huber & K.M. Bailey. 1982. Population fluctuations of California sea lions and the Pacific whiting fishery off central California. *Fishery Bulletin*, 80(2): 253-258
- Álvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California, 427-449. *En: Ketchum, B.H. (Ed.) Ecosystems of the World; 26. Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, New York.
- Álvarez-Borrego, S., J.A. Rivera, G. Gaxiola-Castro, M.J. Acosta Ruiz & R.A. Schwartzlose. 1978. Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5(2): 53-71
- Antonelis, G. A. & C. H. Fiscus. 1980. The pinnipeds of the California current. *CalCOFI Rep.*, 21: 68-78

Arias-Aréchiga, J.P. 1998. *Regionalización del Golfo de California: propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos (CZCS)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz.

Arriaga-Cabrera, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López & V. Aguiar-Sierra. 1998. *Regiones Prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Aurioles-Gamboa, D. 1988. *Behavioral ecology of California sea lions in the Gulf of California*. Tesis de Doctorado en Biología. University of California, Santa Cruz, 186 p.

Aurioles-Gamboa, D. & A. Zavala-González. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus*, en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 20(4): 535-553

Aurioles-Gamboa, D., F. Sinsel, C. Fox, E. Alvarado & O. Maravilla. 1983. Winter migration of subadult male California sea lions (*Zalophus californianus*) in the southern part of Baja California. *Journal of Mammalogy*, 64(3): 513-518

Aurioles-Gamboa, D., C. Godínez-Reyes, M.E. Durán-Lizarraga, F.J. García-Rodríguez, C.J. Hernández-Camacho, S. Luque, P. Miller & S. Ellis. 1998. Conservación, Análisis y Manejo Planificado (CAMP) sobre los Pinnípedos de México y Análisis de Viabilidad de la Población y del Hábitat (PHVA) para el lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*). Informe de Taller Participativo. La Paz, Baja California Sur. 74 p.

Aurioles-Gamboa, D., I. Castro-González, F. García-Rodríguez, S. Luque-Flores, C. Godínez-Reyes, D.M. Brousset, J. Montañó-Hirose, A. Parás, S. Montañó & F. Pérez-Gil Romo. 2000. Estado de salud de las poblaciones de lobo marinos (*Zalophus californianus*) en el Golfo de California. Primer Congreso de Responsables de Proyectos de Investigación en Ciencias Naturales, CONACYT. Veracruz, México.

Octubre 8-11, 2000. 1-15 p.

Aurioles-Gamboa, D., A.G. Paras, D.M. Brousset, O. Martínez & C. Pedernera. 2005. Cutaneous wounds in pups *Zalophus californianus*: relationship with *Leptospira interrogans* incident, population density, and substrate condition in the Gulf of California. Abstract. 16th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. San Diego, Ca. 12-16 Diciembre 2005. p. 19

Aurioles-Gamboa, D., C. Díaz-Guzman, B.J. Le Boeuf & D. Casper. (accepted). Temporomandibular arthritis and osteomyelitis in California sea lions (*Zalophus californianus*). *Journal of Wildlife Diseases*.

Aurioles-Gamboa, D., S.E. Lluch-Cota & D. Szteren (en evaluación). Co-variation in California sea lions and sardine fishery in the central Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*.

Bailleul, F., S. Luque, L. Dubroca, J.P.Y. Arnould & C. Guinet. 2005. Differences in foraging strategy and maternal behaviour between two sympatric fur seal species at the Crozet Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 293: 273-282

Baker, J.D., G.A. Antonelis, C.W. Fowler & A. York 1995. Natal site fidelity in northern fur seals, *Callorhinus ursinus*. *Animal Behaviour*, 50: 237-247

Becerril, E. 1995. *Estudio histoquímico y espectrométrico para la identificación de metales pesados en tejido óseo de lobo marino común Zalophus californianus californianus en el Golfo de California*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 68 p.

Bernal, G., P. Ripa & J.C. Herguera. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California: influencias del trópico y Pacífico norte. *Ciencias Marinas*, 27(4): 595-617

Bonadonna F., M.A. Lea, O. Dehorter & C. Guinet. 2001. Foraging ground fidelity and route-choice tactics of a marine predator: the Antarctic fur seal (*Arctocephalus gazella*). *Marine Ecology Progress Series*, 223: 287-297

Bonnell, M.L. & R.G. Ford. 1987. California sea lion distribution: a statistical analysis of aerial transect data. *J. Wildl. Manage.* 51(1):13-20.

Boness, D.J., O.T. Oftedal & K.A. Ono 1991. The effect of El Niño on pup development in the California sea lion (*Zalophus californianus*), 173-179. *En: Trillmich, F. y KA. Ono (Eds). Pinnipeds and El Niño.* Springer-Verlag, Berlin. 293 p.

Boyce, M.S. 1992. Population viability analysis. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 23 :481-506

Boyd I.L., D.J. MacCafferty, K. Reis, R. Taylor & T.R. Walker. 1998. Dispersal of male and female Antarctic fur seals (*Arctocephalus gazella*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 55: 845–852

Bravo, E., G. Heckel, Y. Schramm & R. Escobar-Fernández. 2005. Occurrence and distribution of marine mammal strandings in Todos Santos Bay, Baja California, México. *LAJAM*, 4(1): 15-25

Brinton, E., A. Fleminger & D. Siegel-Causey. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of California. *CalCOFI Rep.*, 27: 228-266

Burton, R.K. & P.L. Koch 1999. Isotopic tracking of foraging and long distance migration in northeastern pacific pinnipeds. *Oecologia*, 119: 578-585

Bustamante, P., F. Caurant, S.W. Fowler & P. Miramand. 1998. Cephalopods as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. *The Science of the Total Environment*, 220: 71-80

Call, K.A. & T.R. Loughlin. 2005. An ecological classification of Alaskan Steller sea lion

(*Eumetopias jubatus*) rookeries: a tool for conservation/ management. *Fisheries Oceanography*, 14 (1): 212-222

Cárdenas Palomo, N. 2003. *Hábitos alimenticios y amplitud trófica de machos y hembras adultos del lobo marino de California (Zalophus californianus californianus) en Los Islotes, B.C.S., México*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida. 68 p.

Carretta, J.V., K.A. Forney, M.M. Muto, J. Barlow, J. Baker & M. Lowry. 2003. Draft U.S. Pacific Marine Mammal Stock Assessments: 2003. *NOAA-TM-NMFS-SWSC Technical Memorandum*. 307 p.

Carrillo, L., M.F. Lavín & E. Palacios-Hernández. 2002. Seasonal evolution of the geostrophic circulation in the northern Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54: 157-173

Chester, R. 2003. *Marine Geochemistry*. Blackwell Publishing. Malden, USA. 506 p.

Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez & G. Hammann. 1995. The rise and fall of the Pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, Mexico. *CalCOFI Rep.*, 36: 136-143

Colagross-Schouten, A.M., J.A.K. Mazet, F.M.D. Gulland, M.A. Miller. & S. Hietala. 2002. Diagnosis and seroprevalence in California sea lions from coastal California. *Journal of Wildlife Diseases*, 38(1): 7-17

Cuspinera, M.E., E. Jimenez, E. Becerril & M.G. Gómez. 1993. Identificación de metales pesados en hueso de lobo marino común *Zalophus californianus californianus* en el Golfo de California. Memorias de la XVIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, Baja California Sur, México.

Daesslé, L.W., V.F. Camacho-Ibar, J.D. Carriquiry & M.C. Ortiz-Hernández. 2004. The

geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 24: 2093-2106

Delgadillo-Hinojosa, F., J.V. Macías-Zamora, J.A. Segovia-Zavala & S. Torres-Valdés. 2001. Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Marine Chemistry*, 75: 109-122.

DeLong, R.L., Antonelis, G.A., C.W. Oliver, B.S. Stewart, M.C. Lowry and P.K. Yochem. 1991. Effects of the 1982-83 El Niño on several population parameters and diet of California sea lions on the California Channel islands, 166-172. En: Trillmich, F. y KA. Ono (Eds). *Pinnipeds and El Niño*. Springer-Verlag, Berlin. 293 p.

DeNiro, M.J. & S. Epstein. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42: 495–506

Dennis, B., P.L. Munholland & J.M. Scott. 1991. Estimation of growth and extinction parameters for endangered species. *Ecological Monographs*, 61: 115-143

Di Guardo, G., G. Marruchella, U. Agrimi & S. Kennedy. 2005. Morbillivirus infections in aquatic mammals: a brief overview. *J. Vet. Med.* A52: 88-93

Diaz-Guzmán, C. F. 2003. *Estudio de algunas patologías y traumas craneales del lobo marino de California Zalophus californianus californianus (Lesson 1828)*. Tesis de grado en Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina. Bogotá D.C. 36 pp.

Dierauf, L. A. 1983. A survey of live pinnipeds stranded along the northern California coast. *California Veterinarian*, 6: 22–26

Dierauf, L.A. 1990. Stress in marine mammals, 295-301. En: Dierauf, L.A. (Ed.) *Handbook of Marine Mammal medicine: Health, Disease, and Rehabilitation*. CRC Press. Boca Raton, Florida.

Duignan, P.J., C. House, D.K. Odell, R.S. Wells, L.J. Hansen, M.T. Walsh, D.J. St.Aubin, B.K. Roma & J.R. Geraci. 1996. *Morbillivirus* infection in bottlenose dolphins: evidence for recurrent epizootics in western Atlantic and Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, 12(4): 499-515

Dunn, J.L. 1990. Bacterial and Mycotic diseases of cetaceans and Pinnipeds, 73-87. In: Dierauf, L.A. (Ed). *Handbook of Marine Mammal Medicine: Health, Disease, and Rehabilitation*. CRC Press. Boca Ratón, Florida.

Elorriaga, F. 2002. *Concentración de metales en pelo de crías de lobo marino de California (Zalophus californianus californianus, Lesson 1828) en ocho colonias del Golfo de California*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 68 p.

Farias-González, V. 1996. *Estudio de la concentración de metales en hueso temporal y diente por categoría de edad en el lobo marino Zalophus californianus del Golfo de California*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México.

Fiscus, C. H. & G. A. Baines. 1966. Food and feeding behavior of Steller and California sea lions. *Journal of Mammalogy*, 47(2):195-200

Gallo-Reynoso, J. P. 2003. Mortandad de mamíferos marinos en el área de Guaymas debido a la interacción con las pesquerías. Reporte no publicado. *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo*, A.C. Guaymas. 34 p.

García-Aguilar, M.C. & D. Aurióles-Gamboa. 2003. Breeding season of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Aquatic Mammals*, 29(1): 67-76.

García-Rodríguez, F. J. 1999. *Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California Zalophus californianus, en la región de*

las grandes islas, Golfo de California. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR. La Paz, México. 85 p.

García-Rodríguez, F.J. & D. Aurióles-Gamboa. 2003. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin*, 102: 47-62

Georges J.Y., F. Bonadonna & C. Guinet. 2000. Foraging habitat and diving activity of lactating subantarctic fur seals in relation to sea surface temperatures at Amsterdam Island. *Marine Ecology Progress Series*, 196: 291–304

Geraci, J.R., J. Harwood & V.J. Lounsbury. 1999. Marine mammal die-offs, 367-395. *En: Conservation and management of marine mammals*. Twiss, J.R. & R.R. Reeves (Eds.) Smithsonian Institution Press, Washington & London.

Gerber, J. A., J. Roletto, L.E. Morgan, D.M. Smith & L.J. Gage. 1993. Findings in pinnipeds stranded along the central and northern California coast, 1984-1990. *Journal of Wildlife Diseases*, 29: 423-433

Gerber, L.R. & G. VanBlaricom. 2001. Implications of three viability models for the conservation status of the western population of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Biological Conservation*, 102: 261-269

Gerber, L.R., D.P DeMaster & P.M. Kareiva. 1999. Grey whales and the value of monitoring data in implementing the U.S. Endangered Species Act. *Conservation Biology*, 13(5): 1215-1219

Gilmartin, W. G., R. L. DeLong, A. W. Smith, J. C. Sweeney, B. W. De Lappe, R. W. Risebrough, L. A. Griner, M. D. Dailey & D.B. Peakall. 1976. Premature parturition in the California sea lion. *Journal of Wildlife Diseases*, 12: 104–115

Godínez, C.R., B. Zelaya de Ramillo, D. Aurióles-Gamboa, A. Verdugo-Rodríguez, E.A.

Rodríguez-Reyes & A. De la Peña-Moctezuma. 1999. Antibodies against *Leptospira interrogans* in California sea lion pups from Gulf of California. *Journal of Wildlife Diseases*, 35: 108-111

Goldstein, T., S.P. Johnson, A.V. Phillips, K.D. Hanni, D.A. Fauquier & F.M.D. Gulland. 1999. Human related injuries observed in live stranded pinnipeds along the central California coast 1986-1998. *Aquatic Mammals*, 25: 43-51.

González-Rodríguez, M. 2002. *Historia trófica por edad y sexo del lobo marino de California Zalophus californianus utilizando las razones isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en colágeno de dientes*. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. CICIMAR, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 51p.

González-Suárez, M., K. McCluney, D. Auriolos-Gamboa & L.R. Gerber. 2006. Incorporating uncertainty in spatial structure for viability predictions: a case study of California sea lions (*Zalophus californianus californianus*). *Animal Conservation*, 9: 219-227

Greig, D.J., F.M.D. Gulland & C. Kreuder. 2005. A decade of live California sea lion (*Zalophus californianus*) strandings along the central California coast: causes and trend, 1991-2000. *Aquatic Mammals*, 31(1): 11-22.

Guinet, C., L. Dubroca, M.A. Lea, S. Goldsworthy, Y. Cherel, G. Duhamel, F. Bonadonna & J.P. Donnay. 2001. Spatial distribution of foraging in female Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* in relation to oceanographic variables: a scale-dependent approach using geographic information systems. *Marine Ecology Progress Series*, 219: 251-264

Gulland, F.M.D., M. Koski, L.J. Lowenstine, A. Colagross, L. Morgan & T. Spraker. 1996. Leptospirosis in California sea lions (*Zalophus californianus*) stranded along the central California coast, 1981-1994. *Journal of Wildlife Diseases*, 32(4): 572-580

Gutiérrez Osuna, M.C. 2003. *Censos y hábitos alimenticios del lobo marino de California (Zalophus californianus californianus) en la lobera "El Farallón de San Ignacio", Sinaloa, México*. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Occidente. Los Mochis, Sin. 47p.

Hammann, M.G., T.R. Baumgartner & A. Badan-Dagon. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *CalCOFI Rep.* 29: 102-109

Harwood, J. 2001. Marine mammals and their environment in the twenty-first century. *Journal of Mammalogy*, 82(3): 630-640

Heath, C.B, K.A. Ono, D.J. Boness & J.M. Francis. 1991. The influence of El Niño on female attendance patterns in the California sea Lion, 119-128. *In: Trillmich, F. & KA. Ono (Eds.) Pinnipeds and El Niño*. Springer-Verlag, Berlin. 293 p.

Heath, C.B., D. Aurióles-Gamboa, M.C. García and A. Zavala. 1994. Indications of a decline in prey availability for California sea lions at Ángel de la Guarda, Baja, Mexico. Abstract. *XIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos*. SOMEMMA, La Paz. 7 p.

Heath, C.B. 1989. *The behavioural ecology of the California sea lion, Zalophus californianus*. Tesis de Doctorado. University of Santa Cruz, California, 255p.

Hernández-Camacho, C. J. 2001. *Tabla de vida del lobo marino de California Zalophus californianus californianus en la lobera Los Islotes, B. C. S., México*. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR. La Paz, México. 67 p.

Hobson, K.A., D.M. Schell, D. Renouf & E. Noseworthy. 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Canadian Journal of Fisheries and*

Aquatic Science, 53: 528-533

Hoff, G.L. & J.W. Davis. 1982. *Non-infectious diseases of Wildlife*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa. 174 p.

Ikemoto, T., T. Kunito, I. Watanabe, G. Yasunaga, N. Baba, N. Miyazaki, E.A. Petrov & S. Tanabe. 2004. Comparison of trace element accumulation in Baikal seals (*Pusa sibirica*), Caspian seals (*Pusa caspica*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*). *Environmental Pollution*, 127: 83-97

Irwin, M.J. 2005. Marine toxins: Adverse health effects and biomonitoring with resident coastal dolphins. *Aquatic Mammals* 31(2): 195-225

Kennedy, S., T. Kuiken, P.D. Jepson, R. Deaville, M. Forsyth, T. Barrett, M. W.G. van de Bildt, A. D.M.E. Osterhaus, T. Eybatov, C. Duck, A. Kydyrmanov & S. Wilson. 2000. Mass die-off of Caspian seals caused by canine distemper virus. *Emerging Infectious Diseases*, 6(6): 637-639

Kuhn, C, D. Aurióles-Gamboa & D.P. Costa. 2004. Utilización de hábitat, comportamiento alimenticio y de buceo en hembras adultas de lobo marino de California (*Zalophus californianus*). Resumen. *XXIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos*. SOMEMMA. La Paz, BCS. Nro. 51

Law, R.J., B.R. Jones, J.R. Baker, S. Kennedy, R. Milne & R.J. Morris. 1992. Trace metals in the livers of marine mammals from the Welsh coast and the Irish sea. *Marine Pollution Bulletin*, 24(6): 296-304

Le Boeuf B.J., D. Aurióles-Gamboa, R. Condit, C. Fox, R. Gisiner, R. Romero and F. Sinsel. 1983. Size and distribution of California sea lion population in México. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 43(77): 77-85.

Le Boeuf, B.J. & D.E. Crocker. 2005. Ocean climate and seal condition. *BMC Biology*,

3(9): 1-10

Lluch-Belda, D. D.B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. A Salinas-Zavala & R.A. Schwartzlose. 1991. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. *CalCOFI Rep.*, 32: 105-111

Lluch-Cota, S.E. & J.P. Arias-Aréchiga. 2000. Sobre la importancia de considerar la existencia de centros actividad biológica para la regionalización del océano: el caso del Golfo de California, 255-263 *En*: Lluch-Belda, D., Elorduy-Garay, J., Lluch-Cota, S.E. y G. Ponce-Díaz (Eds). *BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*. CIB, CICIMAR y CONACYT. La Paz, México.

Lluch-Cota, S.E. 2000. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta* 23 (6): 731-740

Lluch-Cota, S.E. 2004. Gulf of California, 1-7 p. In: Marine Ecosystems of the North Pacific. *PICES Spec. Pub. #1*. 1280pp.

Lluch-Cota, S.E. & D. Lluch-Belda. 2000. Caso de estudio sobre el uso de bases de datos ambientales de baja resolución espacial, como una alternativa para inferir hábitat de desove. *Oceánides*, 15(1): 63-65

Lluch-Cota, S.E., Kiefer, D., Parés-Sierra, A., Lluch-Cota, D.B., Berwald, J. & D. Lluch-Belda. 2001. Toward an environmental analysis system to forecast spawning probability in the Gulf of California sardine. *Spatial Processes and Management of Marine Population*. Alaska Sea Grant College Program. AK-SG-01-02: 147-160

Lluch-Cota, S.E., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Belda, D., Nevárez-Martínez, M.O., Parés Sierra, A. & S. Hernández-Vázquez. 1999. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the central Gulf of California. *CalCOFI Rep.*, 40: 184-190

López, M., Candela, J. & M.L. Argote. 2006. Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California? *Geophysical Research Letters*, 33: 1-5

Lowry, M. S., B. S. Stewart, C. B. Heath, P. K. Yochem and J. M. Francis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of California sea lions *Zalophus californianus* at San Nicolas Island, California. 1981-86. *Fishery Bulletin*, 89: 331-336

Lowry, M.S. 1999. Counts of California sea lion (*Zalophus californianus*) pups from aerial color photographs and from the ground: a comparison of two methods. *Marine Mammal Science*, 15(1):143-158

Ludwig, J.A. & J.F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology*. John Wiley & Sons, New York. 337 p.

Luque, S. 1999. *Comparación de la condición corporal de crías de lobo marino, Zalophus californianus, en once colonias reproductivas del Golfo de California*. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional, CICIMAR. La Paz, México. 109 p.

Luque, S.P. & D. Auriol-Gamboa 2001. Sex differences in body size and body condition of California sea lion (*Zalophus californianus*) pups from the Gulf of California. *Marine Mammal Science*, 17(1): 147-160

Maldonado, E.J., Orta-Davila, F., Stewart, B.S., Greffen, E. & R.K. Wayne. 1995. Intraspecific genetic differentiation in California sea lions (*Zalophus californianus*) from Southern California and the Gulf of California. *Marine Mammal Science*, 11(1): 46-58

Maluf, L.Y. 1983. The Physical Oceanography, 26-45. *En*: Case, T. J. & M. L. Cody (Eds.) *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley.

Marinone, S.G. 2003. A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 108: 21-27

Mate, B. 1982. History and present status of the California sea lion, *Zalophus californianus*, 302-309. *En: Mammals in the Seas. Small Cetaceans, Seals, Sirenians and Otters*. FAO Fisheries Series 5(4). Advisory Committee on Marine Resources Research Working Party on Marine Mammals. FAO, Rome.

McConnell, B.J., M.A. Fedak, P. Lovell & P.S. Hammond. 1999. Movements and foraging areas of grey seals in the North Sea. *Journal of Applied Ecology*, 36: 573-590

McConnell, B.J., C. Chambers & M.A. Fedak. 1992. Foraging ecology of southern elephant seals in relation to the bathymetry and productivity of the Southern Ocean. *Antarctic Science*, 4(4): 393-398

Merrick, R. & T. Loughlin. 1997. Foraging behavior of adult female and young-of-the-year Steller sea lions in Alaskan waters. *Canadian Journal of Zoology*, 75: 776-786

Merrick, R.L., Chumbley, M.K. & G.V. Byrd. 1997. Diet diversity of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and their population decline in Alaska: a potential relationship. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 1342-1348.

Millán-Núñez, R., E. Santamaría-del-Angel, R. Cajal-Medrano & O.A. Barocio-León. 1999. El Delta del Río Colorado: un ecosistema con alta productividad primaria. *Ciencias Marinas*, 25(4): 509-524

Morales-Vela, B. & A. Aguayo Lobo. 1991. Nacimiento de y modelos de crecimiento de las crías de lobo marino y su aplicación en el manejo de este recurso. *Ciencias Marinas* 18(1): 109-123

Moritz, C. 1994. Defining 'Evolutionary significant units' for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 9: 373-375

Morris, W., D. Doak, M. Groom, P. Kareiva, J. Fieberg, L. Gerber, P. Murphy & D. Thompson. 1999. *A practical Handbook for Population Viability Analysis*. The Nature Conservancy. 79 p.

Thompson, D.R. 1990. Metal levels in marine vertebrates, 143-182. Furness, R.W. & P.S. Rainbow (Eds.) *Heavy metals in the marine environment*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 256 p.

Navarro-Olache, L.F., M.F. Lavín, L.G. Alvarez-Sánchez & A. Zirino. 2004. Internal structure of SST features in the central Gulf of California. *Deep Sea Research II*, 51: 673-687

Nevárez, M. O. 2000. *Variabilidad de la población de sardina (Sardinops caeruleus) en el Golfo de California, México*. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas. CICIMAR, IPN. La Paz. 103 p.

Newsome, S.D., M.A. Etnier, D. Aurióles-Gamboa & P.L. Koch. (in press). Using carbon and nitrogen isotopes to investigate reproductive strategies in Northeast Pacific Otariids. *Marine Mammal Science*.

Nix, R.K. 1997. Gulf of California - A Physical, Geological & Biological Study. Project presented for a Marine Science course at The University of Texas at Dallas. Disponible en línea: http://www.utdallas.edu/~rnix/MAT-SE_Units/gulf_cal.pdf

Osterhaus, D. M E., R. L de Swart, W. Vos Helma, P.S. Ross, M.J.H. Kenter and T. Barret. 1995. *Morbillivirus* infections of aquatic mammals: newly identified member of the genus. *Veterinary Microbiology*, 44: 219-227

Pain, D.J. 1995. Lead in the environment, 356-391. En: Hoffman, D.J., B.A. Rattnewr, G.A. Burton Jr & J. Cairns Jr (Eds.) *Handbook of Ecotoxicology*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 1290 p.

Papa, R.S. & P.R. Backer. 1998. Alaska harbor seal (*Phoca vitulina*) contaminants. A review with annotated bibliography. *NISTIR 6211*, Gaithersburg, MD 77p.

Pedernera, C. 2004. *Regionalización de la presencia de anticuerpos contra Leptospira spp., niveles de cortisol y valores hemáticos en once colonias de lobos marinos Zalophus californianus californianus en el Golfo de California*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 73 p.

Peterson, R.S. & G.A. Bartholomew. 1967. The natural history and behavior of the California sea lion. Special Publication, *The American Society of Mammalogy* 1, 1-79.

Porras-Peters, H.J. 2004. *Nivel, amplitud y superposición trófica de las colonias de lobo marino Zalophus californianus del Golfo de California*. Tesis de Maestría. CICIMAR, IPN. La Paz, México. 81 pp.

Ream, R.R., J.T. Sterling & T.R. Loughlin. 2005. Oceanographic features related to northern fur seal migratory movements. *Deep-Sea Research II*, 52: 823-843

Reijnders, P., S. Brasseur, J. Van der Toorn, P. van der Wolf, I. Boyd, J. Harwood, D. Lavigne & L. Lowry. 1993. *Seals, Fur Seals, Sea lions, and Walrus. Status survey and Conservation Action Plan*. IUCN/ SSC Seal Specialist Group. Gland, Switzerland. 88p.

Reijnders, P.J.H. 1988. Ecotoxicological perspectives in marine mammalogy: research, principles and goals for a conservation policy. *Marine Mammal Science*, 4(2): 91-102

Reineking, B. 2002. Phocine distemper epidemic amongst seals in 2002. *Wadden Sea Newsletter*, 2: 3-8.

Rice, D.W. 1998. *Marine Mammals of the World. Systematics and Distribution*. The Society for Marine Mammalogy. Special Publication 4. Lawrence, KS. 231 p.

Riginos, C. & M.W. Nachman. 2001. Population subdivision in marine environments: the

contributions of biogeography, geographical distance and discontinuous habitat to genetic differentiation in a blennioid fish, *Axoclinus nigricaudus*. *Molecular Ecology*, 10: 1439-1453

Romero-Saavedra, A.L. 2000. *Dieta del lobo marino (Zalophus californianus californianus) en 1998 y 1999 en la Isla de San Jorge, Sonora*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Baja California, 87 p.

Rosen, D.A.S. & A.W. Trites. 2000. Assessing the role of nutritional stress in the decline of wild populations: A Steller case of scientific sleuthing. *Proceedings of the comparative Nutrition Society*, 182-186

Round, F.E. 1967. The phytoplankton of the Gulf of California. Part I. Its composition, distribution and contribution to the sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1: 76-97

Salazar-Valenzuela, X. 2006. *Variabilidad espacial de perfiles de ácidos grasos en el lobo marino (Zalophus californianus) y su utilidad para diferenciar hábitos alimentarios entre colonias reproductivas del Golfo de California*. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos. CICIMAR, IPN, La Paz, BCS. 105 p.

Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego & F.E. Muller-Karger. 1994a. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 90 (4): 7411-7421

Santamaría-del-Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. & F.E. Muller-Karger. 1994b. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99 C4: 7423-7431

Schramm, Y. 2002. *Estructura genética y filogeografía de Zalophus californianus californianus en aguas adyacentes a la península de Baja California, México*. Tesis Doctoral en Oceanografía Costera. Universidad Autónoma de Baja California.

Ensenada, Baja California. 146 p.

Semarnap 2000. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California*. Comisión Nacional de Áreas Marinas Protegidas. México, DF. 262p.

Semarnat 2004. http://cecaadesu.semarnat.gob.mx/biblioteca_digital/estrategia_nacional/estrategia_nacional_02.shtml

Shumilin, E., F. Páez-Osuna, C. Green-Ruiz, D. Sapozhnikov, G. Rodríguez-Mesa & L. Godínez-Orta. 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz Lagoon, Peninsula of Baja California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 42(3): 174-178

Shumilin, E.N., J.D. Carriquiry, V.F. Camacho-Ibar, D. Sapozhnikov, S. Kalmykov, A. Sánchez, S. Aguíñiga García and Y.A. Sapozhnikov. 2002. Spatial and temporal distributions of elements in sediments of the Colorado River delta and Upper Gulf of California. *Marine Chemistry*, 79: 113-131

Shumilin, E.N., G. Rodríguez-Figueroa, E. Morton-Bermea, E. Lounejeva-Baturina, E. Hernández & G. Durga Rodríguez Meza. 2000. Anomalous Trace element composition of coastal sediments near the Cooper mining district of Santa Rosalía, peninsula of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65: 261- 268

Sinclair E.H. & T.K Zeppelin. 2000. Seasonal and spatial differences in diet in the western stock of Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Journal of Mammalogy*, 83(4): 973-990

Sjöberg, M. & J.P. Ball 2000. Grey seal, *Halichoerus grypus*, habitat selection around sites in the Baltic sea: bathymetry or central-place foraging? *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1661-1667

Skoch, E.J. 1990. Heavy Metals in Marine Mammals. Presence and Analytical Methods,

127-137. En: Dierauf, L.A. (Ed.) *Handbook of Marine Mammal Medicine: Health, Disease, and Rehabilitation*. CRC Press. Boca Ratón, Florida.

Soto-Mardones, L., S.G. Marinone & A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30

Statistica 2006. Electronic Manual. <http://startsoft.com/textbook/> Versión 6.1

Szteren, D., Auriolles-Gamboa, D. & L.R. Gerber. (en prensa). Population status and trends of the California Sea lion in the Gulf of California, Mexico. En: Trites, A., S. Atkinson, D. DeMaster, L. Fritz, T. Gelatt, L. Rea & K. Wynne (Eds.). *Sea Lions of the World*. Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska Fairbanks.

Tollit, D.J., A.D. Black, P.M. Thompson, A. Mackay, H.M. Corpe, B. Wilson, S.M. Van Parijs, K. Grellier & S. Parlane. 1998. Variations in harbour seal *Phoca vitulina* diet and dive-depths in relation to foraging habitat. *Journal of Zoology London*, 244: 209-222

Trillmich, F. & K.A. Ono. 1991. *Pinnipeds and El Niño: responses to environmental stress*. Springer-Verlag, Berlin. 293 p.

Trites, AW. & C.P. Donnelly. 2003. The decline of Steller sea lions *Eumetopias jubatus* in Alaska: a review of the nutritional stress hypothesis. *Mammal Review*, 33: 3-28

Ullrey, D.E. 1993. Nutrition and predisposition to infectious disease. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 24(3): 304-312

Valsecchi, E., W. Amos, J.A. Raga, M. Podestá & W. Sherwin. 2004. The effects of inbreeding on mortality during a morbillivirus outbreak in the Mediterranean striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*). *Animal Conservation*, 7: 139-146.

VanBlaricom, G.R., L.R. Gerber & R. Brownell Jr. 2001. Extinctions of marine mammals.

Encyclopedia of Biodiversity, 4: 37-69

Vedros, N.A., AW. Smith, J. Schonewald, G. Migaki and R. Hubbard. 1971. Leptospirosis epizootic among California sea lions. *Science*, 172:1250-1251.

Velarde, E., E. Ezcurra, M.A. Cisneros-Mata and M.F. Lavín. 2004. Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*, 14(2):607-615.

Vidal, O. & J.P. Gallo-Reynoso. 1996. Die-offs of marine mammals and sea birds in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 12(4): 627-635

Walker, B.W. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. *Systematic Zoology*, 9(3):120-133

Wobeser, G.A. 1994. *Investigation and Management of Disease in Wild Animals*. Plenum Press, New York & London. 265 p.

Wren, C. D., Harris, S & N.A. Harttrup. 1995. Ecotoxicology of mercury and cadmium, 392-423. En: Hoffman, D.J., Rattner, B.A., Burton, G.A. Jr & J. Cairns Jr. (Eds.) *Handbook of Ecotoxicology*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 1290 p.

Zamon, J.E. 2001. Seal predation on salmon and forage fish schools as a function of tidal currents in the San Juan Islands, Washington, USA. *Fisheries Oceanography*, 10(4): 353-366

Zavala-González, A. 1993. *Biología poblacional del lobo marino de California, *Zalophus californianus californianus* (Lesson 1828) en la región de las grandes islas del Golfo de California, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 79 p.

Zavala-González, A. & E. Mellink. 1997. Entanglement of California sea lions, *Zalophus*

californianus californianus, in fishing gear in the central-northern part of the Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin*, 95: 180-184

Zavaleta Lizárraga, L. 2003. Variaciones geográficas en morfometría craneal en machos adultos de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) en México. Tesis de Maestría. CICIMAR, IPN. La Paz, México. 69 p.

Zeitzchel, B. 1969. Primary Productivity in the Gulf of California. *Marine Biology*, 3(3): 201-207

Zuria-Jordan, I.L., S. Álvarez-Borrego, E. Santamaría-del-Ángel & F. Muller-Karger. 1995. Estimación de biomasa fitoplanctónica, derivada de datos de satélite, frente a Baja California Sur. *Ciencias Marinas*, 21(3): 265-280.

ANEXOS

Anexo 1

Correlaciones múltiples de Pearson entre los promedios de las concentraciones de metales en bula timpánica de lobo marino por localidad.

* indica que la correlación es significativa a $p < 0.05$

	Al	As	Cd	Co	Cu	Hg	Fe	Ni	Pb	Se	Zn
Al	1.00										
As	0.06	1.00									
Cd	0.29	0.89*	1.00								
Co	0.01	0.90*	0.95*	1.00							
Cu	0.34	0.66*	0.76*	0.71	1.00						
Hg	0.50	-0.71*	-0.42	-0.61	-0.35	1.00					
Fe	0.63*	-0.06	0.06	-0.18	0.20	0.45	1.00				
Ni	0.42	0.57	0.67*	0.60	0.91*	-0.21	0.29	1.00			
Pb	0.62	0.40	0.62	0.46	0.83*	0.08	0.40	0.86*	1.00		
Se	-0.03	0.48	0.43	0.41	0.50	-0.44	0.39	0.25	0.25	1.00	
Zn	-0.18	0.51	0.54	0.58	0.06	-0.20	-0.45	0.02	0.09	-0.15	1.00

Anexo 2

Correlaciones de Pearson entre la tasa de crecimiento poblacional, la abundancia total y de crías versus las variables ecológicas y de salud: diversidad de dieta, isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$), los metales seleccionados y los tóxicos (As, Co, Hg, Ni, Pb), la condición corporal (Cond), el total de reacciones positivas (TRP) y el promedio de reacciones positivas (PRP) a *Leptospira* spp. y la osteoartritis (Osto). Ninguna resultó significativa al 95%

Para las variables: diversidad de dieta, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, TSM y clorofila 'a', se utilizaron las 13 colonias, con el TRP (total de reacciones positivas) y PRP (promedio de reacciones positivas) de *Leptospira* spp. se usaron 11 colonias y con los metales y condición corporal se usaron 10 colonias.

	Dieta	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	TSM	Clorof	As	Co	Hg	Ni	Pb
R total	-0.20	-0.01	0.35	0.12	0.40	-0.21	0.17	-0.55	0.03	0.10
Abund total	-0.31	-0.10	-0.11	-0.32	0.10	-0.06	-0.01	-0.17	-0.26	-0.01
Abund cria	-0.21	-0.13	-0.17	-0.28	0.04	-0.05	0.03	-0.29	-0.21	0.02

	Cond	TRP	PRP	Osteo
R total	-0.40	0.03	0.04	-0.34
Abund total	-0.49	-0.21	-0.24	-0.19
Abund cria	-0.46	-0.20	-0.23	-0.18

Anexo 3

1. Resultados del análisis discriminante entre los grupos de colonias con diferente tendencia poblacional y las variables: mercurio, diversidad de dieta, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, clorofila 'a' y osteoartritis.

Variable	W	W _{parcial}	F _{2,2}	p
Hg	0.307	0.008	116.05	0.009
diversidad	0.095	0.028	35.16	0.028
$\delta^{13}\text{C}$	0.118	0.022	44.13	0.022
$\delta^{15}\text{N}$	0.015	0.179	4.56	0.180
Clorofila a	0.191	0.014	71.75	0.014
Osteoartritis	0.095	0.025	35.25	0.028

2. Resultados del análisis discriminante entre los grupos de colonias con diferente abundancia de crías y las variables: condición corporal, PRP de leptospira, TSM y clorofila 'a'.

Variable	W	W _{parcial}	F _{2,2}	p
Condición	0.486	0.180	13.653	0.034
PRP lepto	0.283	0.309	6.678	0.081
TSM	0.136	0.645	1.655	0.289
Clorofila a	0.529	0.165	15.132	0.030

Anexo 4

Resultados de los análisis discriminantes de la regionalización de las colonias de lobo marino en 4 grupos, utilizando las variables: tendencia poblacional, diversidad de dieta, isótopos estables y ambiente.

Configuración 1: Lobos en grupo Norte, Partido y Rasito en grupo Ángel de la Guarda.

Configuración 2: Lobos en grupo Norte, Partido y Rasito en grupo Centro.

Configuración 3: Lobos en grupo Norte, Partido en Ángel de la Guarda y Rasito en grupo Centro (seleccionada en éste estudio, por resultar con un menor Lambda de Wilks, y menor probabilidad).

Configuración 4: Lobos, Partido y Rasito en grupo Ángel de la Guarda.

Configuración 5: Lobos en grupo Ángel de la Guarda, Partido y Rasito en grupo Centro.

Configuración 6: Lobos y Partido en Ángel de la Guarda y Rasito en grupo Centro.

Configuración	W	F _{15,14}	p
1	0.015	3.43	0.013
2	0.007	4.63	0.003
3*	0.005	5.50	0.001
4	0.014	3.47	0.013
5	0.006	4.99	0.002
6	0.005	5.28	0.002

Anexo 5

Calificaciones de salud obtenidas con las diferentes configuraciones de Lobos, Partido y Rasito a los diferentes grupos, respecto a las variables: condición corporal, contenido de metales pesados, afecciones craneanas, *Morbillivirus*, diversidad de dieta y tendencia poblacional.

	Condición	Metales	Afecc. craneos	<i>Morbillivirus</i>	Diversidad	Tendencia	Total
1. Partido y Rasito en grupo Ángel de la Guarda y Lobos en grupo Norte							
Norte	0.67	0.43	0.71	0.67	0.83	0.17	3.48
A. de la Guarda	0.50	0.53	0.53	0.60	0.75	0.86	3.76
Centro	0.67	0.40	0.50	0.17	0.42	0.23	2.38
Sur	0.50	0.35	0.38	0.25	0.25	0.50	2.23
2. Partido y Rasito en grupo centro y Lobos en grupo Norte							
Norte	0.67	0.43	0.71	0.67	0.83	0.17	2.81
A. de la Guarda	0.42	0.53	0.50	0.67	0.92	1.00	3.62
Centro	0.65	0.44	0.53	0.30	0.45	0.40	2.12
Sur	0.50	0.35	0.37	0.25	0.25	0.50	1.81
3. Partido en grupo Ángel de la Guarda, Rasito en Centro y Lobos en Norte *							
Norte	0.67	0.43	0.71	0.67	0.83	0.17	3.47
A. de la Guarda	0.37	0.53	0.50	0.75	0.81	0.95	3.91
Centro	0.75	0.43	0.53	0.13	0.44	0.30	2.57
Sur	0.50	0.35	0.38	0.25	0.25	0.50	2.23
4. Partido, Rasito y Lobos en Ángel de la Guarda							
Norte	0.63	0.40	0.56	0.50	0.75	0.00	2.84
A. de la Guarda	0.54	0.52	0.60	0.67	0.79	0.69	3.81
Centro	0.67	0.40	0.38	0.17	0.42	0.23	2.26
Sur	0.50	0.35	0.38	0.43	0.25	0.50	2.23
5. Partido y Rasito en grupo Centro y Lobos en grupo Ángel de la Guarda							
Norte	0.63	0.40	0.56	0.50	0.75	0.00	2.84
A. de la Guarda	0.50	0.53	0.60	0.75	0.94	0.88	4.21
Centro	0.65	0.44	0.53	0.30	0.45	0.40	2.77
Sur	0.50	0.35	0.38	0.25	0.25	0.50	2.23

6. Rasito en grupo Centro, Partido y Lobos en Ángel de la Guarda							
Norte	0.63	0.40	0.56	0.50	0.75	0.00	2.84
A. de la Guarda	0.45	0.52	0.60	0.80	0.85	0.86	4.08
Centro	0.75	0.43	0.53	0.13	0.44	0.30	2.57
Sur	0.50	0.35	0.38	0.25	0.25	0.50	2.23

Anexo 6

Regresiones lineales entre la abundancia total y de críos y la tasa de crecimiento poblacional con el estado de salud promedio de las colonias de lobo marino.

Regresión (n=13)	
Log Abundancia total VS. Salud promedio	r= 0.160, p=0.60
Log Abundancia de críos Vs. Salud promedio	r= 0.090, p=0.09
Tasa de crecimiento poblacional Vs. Salud promedio	r= -0.114, p=0.71