



Instituto Politécnico Nacional
Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas



“Diversificación de dietas en tres colonias de lobo marino de Galápagos, *Zalophus wollebaeki*, evaluada con análisis de excretas e isótopos estables de C y N”.

TESIS

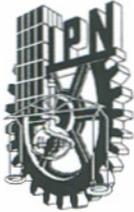
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
CON LA ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Presenta:

Biól. DIEGO PÁEZ ROSAS

La Paz, B.C.S., México

JUNIO 2008



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

SECRETARÍA 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 12 del mes de Mayo del 2008 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:

"DIVERSIFICACIÓN DE DIETAS EN TRES COLONIAS DE LOBO MARINO DE GALÁPAGOS, *Zalophus wollebaeki*, EVALUADA CON ANÁLISIS DE EXCRETAS E ISÓTOPOS ESTABLES DE C y N"

Presentada por el alumno:

PÁEZ
Apellido paterno

ROSAS
materno

DIEGO RODOLFO
nombre(s)

Con registro:

B	0	6	1	1	3	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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 AURIÓLES GAMBOA

PRESIDENTE

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

SECRETARIO

DR. JOSÉ DE LA CRUZ AGÜERO

SEGUNDO VOCAL

DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA

TERCER VOCAL

DR. SERGIO FRANCISCO MARTÍNEZ DÍAZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 14 del mes Mayo del año 2008, el (la) que suscribe DIEGO RODOLFO PÁEZ ROSAS alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B061137 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. DAVID AUIROLES GAMBOA y cede los derechos del trabajo titulado: "DIVERSIFICACIÓN DE DIETAS EN TRES COLONIAS DE LOBO MARINO DE GALÁPAGOS *Zalophus wollebaeki*, EVALUADA CON ANÁLISIS DE EXCRETAS E ISÓTOPOS ESTABLES DE C Y N" 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: dpaezr@ipn.mx dgamboa@ipn.mx

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

DIEGO RODOLFO PÁEZ ROSAS

nombre y firma

A Camila, quien a pesar de haber sido la más sacrificada por la dinámica que requirió este trabajo, es mi principal fuente de inspiración. GRACIAS hija por estar con nosotros.

A Mayu, por compartir este viaje conmigo, por ser siempre amiga y compañera, y sobre todo por tu gran amor y confianza; TE AMO mucho negrita.

A mi Madre, quien es la forjadora de mi superación y el soporte en los momentos difíciles, siempre estas con nosotros a pesar de la distancia.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) por ser un pilar en mi formación académica.

Al Servicio Parque Nacional Galápagos (SPNG) por la autorización de permisos y facilidades de logística, los cuales fueron pieza clave en el inicio de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores del IPN (PIFI) por el apoyo económico otorgado para el desarrollo de esta investigación.

Al Servicio de Relaciones Exteriores de México (SRE), por haberme brindado la oportunidad de llegar a este gran país a iniciar mis estudios de posgrado.

Al Dr. David Auriolles Gamboa, por creer en mí y darme la oportunidad de ser parte de su laboratorio, por todas sus enseñanzas las cuales me han hecho crecer como profesional y sobre todo por haberme brindado su amistad y confianza a lo largo de estos años.

A los miembros de la comisión revisora: Dr. Sergio Aguñiga, Dr. José de la Cruz, Dr. Sergio Martínez y Dr. Felipe Galván, por sus valiosos comentarios y observaciones, los cuales contribuyeron al mejoramiento de este trabajo.

A mi camarada Adrián Hurtado, ¡te pasaste hermano!! Tienes gran parte del crédito de este proyecto; gracias por tu ayuda en el campo que es donde nacen las investigaciones, fueron meses duros pero siempre estuviste ayudándome, sabemos que todas las aventuras que pasamos en la gran San Cristóbal nos servirán de anécdotas para toda la vida.

A mi compadre Rodrigo Páez y su familia, por haber recibido a ese par de forasteros disfrazados de biólogos y apasionados por los lobos marinos; muchas gracias ñaño tú sabes que no hay palabras, fuiste pieza clave en la planificación de esta aventura, la cual ahora se ve cristalizada con la entrega de este trabajo.

A los Guardaparques del Área de Recursos Marinos de la Oficina Técnica San Cristóbal por su colaboración en los viajes a Isla Lobos y a los panas que se ofrecieron como voluntarios para ayudar en varias salidas de campo: Diego Barrera, Carlos y Pablo Escarabay, en verdad fue un gusto trabajar con ustedes.

A los departamentos de Biología Marina y Ecología de Vertebrados de la Fundación Charles Darwin (FCD), por prestarnos sus instalaciones durante parte del procesamientos de las muestras.

A los integrantes del Laboratorio de Química Marina del CICIMAR y en especial al técnico Juan Fuentes por toda su ayuda en el procesamiento de las muestras.

A Humberto Ceseña, por soportar tantas molestias de mi parte (creo que le pedí más de 1000 oficios durante mi maestría), su predisposición ayudarnos siempre fue de la mejor desde que inicie los tramites para ingresar al posgrado.

Al doctorrrrr Fernando Elorriaga, por el intercambio de información y sus buenos comentarios, los cuales contribuyeron en la formación de este trabajo; por ser un gran compañero y por tantas experiencias compartidas en viajes, platicas, etc, etc..

A todos mis compañeros de laboratorio a lo largo de la maestría: Vanesa, Diana, Larissa, Milena, Fernando, Alma, Judith, Nereyda, Trini y Marjorie; por compartir horas de trabajo, salidas de campo, largas charlas y varias fiestas.

A Raúl, Ricardo, Alvin, Myrna, Sarahí, Hugo, Bere y Natalia, compañeros con los que empecé la maestría y se convirtieron en grandes amigos; muchas gracias en verdad por brindarme su ayuda incondicional.

A mi madre, sin ti no sería lo que soy, eres la principal responsable de este gran paso que he dado en mi vida profesional. GRACIAS Mami Yoli por nunca dejar de alentarme a seguir adelante y enseñarme cada día a ser un mejor ser humano.

A mi esposa e hija, quienes son los grandes amores de mi vida, siempre estuvieron apoyándome y supieron comprender todas las decisiones que se tomaron para emprender esta aventura. GRACIAS Mayu por embarcarte a compartir esta vida conmigo, por tu paciencia y amor constante y sobre todo por haberme dado el mejor regalo de mi vida, mi hija Camila, quien a pesar de ser tan pequeña es capaz de generar tantas emociones, eres el motorcito que me da la energía para salir adelante, TE AMO mi chiquita....

CONTENIDO

Lista de tablas y figuras	iii
Glosario	vii
Resumen	xi
Abstract	xii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	6
3. Justificación	9
4. Objetivos	9
4.1 Objetivo general	9
4.2 Objetivos específicos	9
5. Área de estudio	10
6. Métodos	13
6.1 Estructura y tamaño de población	13
6.2 Análisis de excretas	14
6.2.1 Composición de la dieta	15
6.2.2 Diversidad del espectro trófico	15
6.2.3 Amplitud trófica	16
6.2.4 Nivel trófico	16
6.2.5 Omnivoría	17
6.2.6 Sobreposición trófica	17
6.2.7 Análisis multivariados	18
6.3 Análisis isotópico	19
6.3.1 Colecta de muestras	19
6.3.2 Procesamiento de muestras	20
6.3.3 Análisis de muestras	21
6.3.4 Análisis de datos	22
6.3.5 Estimación del nivel trófico.....	22
6.3.6 Estimación de amplitud trófica.....	23

7.	Resultados	24
7.1	Estructura y tamaño de la población	24
7.2	Análisis de excretas	25
7.2.1	Tamizado de excretas	25
7.2.2	Tamaño de muestra	26
7.2.3	Estructura de la dieta	28
7.2.4	Análisis multivariados de los hábitos alimentarios	31
7.2.5	Amplitud trófica	34
7.2.6	Nivel trófico	35
7.2.7	Omnivoría	35
7.2.8	Sobreposición trófica	36
7.3	Análisis de isótopos estables	37
7.3.1	Variación isotópica dentro de las colonias	37
7.3.2	Variación isotópica entre las colonias	42
7.3.3	Diferencias isotópicas entre tejidos	43
7.3.4	Nivel y Amplitud trófica	44
8.	Discusión	45
8.1	Composición de la dieta	45
8.2	Variación isotópica entre sitios	51
8.3	Variación isotópica entre edades	53
8.4	Diversidad y Amplitud trófica	55
8.4.1	Análisis de excretas	55
8.4.2	Isótopos estables	57
8.5	Omnivoría	58
8.6	Plasticidad o flexibilidad en la dieta	59
8.7	Nivel trófico	60
8.8	Sobreposición trófica y diversificación de la dieta	61
9.	Conclusiones	65
10.	Recomendaciones	66
11.	Literatura citada	68
12.	Anexos	81

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla I	Categorías por sexo y edad en el lobo marino de Galápagos.	13
Tabla II	Número de copros con estructuras identificables de lobo marino, colectados en 3 colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.	25
Tabla III	Amplitud trófica de las colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.	34
Tabla IV	Nivel trófico asignado al lobo marino de Galápagos durante la temporada reproductiva 2006.	35
Tabla V	Valor de omnivoría asignado al lobo marino de Galápagos durante la temporada reproductiva 2006.	35
Tabla VI	Grado de superposición trófica entre las colonias de lobo marino de Galápagos de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.	36
Tabla VII	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) de muestras de pelo de crías de <i>Zalophus wollebaeki</i> , de tres colonias de la Isla San Cristóbal.	37
Tabla VIII	Diferencias en $\delta^{13}\text{C}$ entre las crías de diferentes edades de la colonia Isla Lobos durante la temporada reproductiva del 2006 (prueba de Fisher LSD). Las colonias con diferencias significativas ($p < 0.05$) están marcadas con rojo.	41
Tabla IX	Nivel trófico asignado al lobo marino de Galápagos por medio de la señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ durante la temporada reproductiva 2006.	44
Tabla X	Riqueza específica (S), diversidad (H') y amplitud trófica (Bi) presente en las colonias de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva del 2006.	56
Tabla XI	Amplitud trófica con base en isótopos estables y análisis de excretas, encontrado en las colonias de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva del 2006.	57

Tabla XII	Valores estandarizados (0 a 1) de diversidad, riqueza específica, Amplitud trófica y omnivoría, encontrado en las colonias de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva del 2006.	59
Tabla XIII	Nivel trófico con base en isótopos estables y análisis de excretas, encontrado en las colonias de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva del 2006.	61

Figuras

Figura 1	Ubicación satelital de los viajes de alimentación, de 9 hembras de <i>Z. wolfebaeki</i> , clasificados por el tipo de forrajeo (verde: epipelágico, amarillo: mesopelágico, rojo: bentónico). Tomado de Villegas, <i>et al.</i> , (en prensa).	7
Figura 2	Número de buceos, profundidad y tiempo, registrados de 9 hembras de <i>Z. wolfebaeki</i> , y perfil de sus buceos, los cuales indican las tres estrategias de forrajeo reportadas para esta especie. Tomado de Villegas, <i>et al.</i> , (en prensa).	8
Figura 3	Mapa de las Islas Galápagos, con sus principales corrientes oceánicas. Isla San Cristóbal (recuadro rojo).	11
Figura 4	Colonias de estudio: Puerto Baquerizo Moreno, La lobería e Isla lobos ubicadas al suroeste de la isla San Cristóbal.	12
Figura 5	Estructura poblacional por edad y sexo del lobo marino de Galápagos en tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.	24
Figura 6	Porcentaje de abundancia de cada una de las categorías de edad y sexo de <i>Zalophus wolfebaeki</i> en las tres colonias de estudio.	25
Figura 7	Porcentaje de aparición de peces y moluscos, presentes en la dieta del lobo marino de Galápagos en la Isla San Cristóbal.	26
Figura 8	Curvas de diversidad de las colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.	27
Figura 9	Importancia (en porcentaje) de las principales presas de la colonia reproductora Puerto Baquerizo, durante temporada reproductiva 2006.	30

Figura 10	Análisis de grupos con base en el índice de importancia (IIMPi) de las presas encontradas en las colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.	32
Figura 11	ACP con base en el índice de importancia (IIMPi) de las presas encontradas en las colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.	33
Figura 12	ACP con base en el índice de importancia (IIMPi) encontrado en las presas presentes en las tres colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.	34
Figura 13	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en pelo de crías de diferentes edades de las colonias de la isla San Cristóbal.	38
Figura 14	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en pelo de crías de diferentes edades en la colonia de Puerto Baquerizo.	39
Figura 15	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en pelo de crías de diferentes edades en la colonia de La Lobería.	40
Figura 16	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en pelo de crías de diferentes edades en la colonia Isla Lobos.	41
Figura 17	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en pelo de crías de diferentes colonias de la Isla San Cristóbal (1. Pto. Baquerizo, 2. La Lobería y 3. Isla Lobos).	42
Figura 18	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm SD en ‰) en piel y pelo de crías de diferentes colonias de la Isla San Cristóbal (1. Piel y 2. Pelo).	43
Figura 19	Porcentaje total de las presas presentes en la dieta en las tres colonias reproductivas de la isla San Cristóbal durante el 2006.	48
Figura 20	Estrategias de forrajeo presentes en la dieta de las colonias reproductivas de la isla San Cristóbal durante el 2006.	50
Figura 21	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) de crías de las colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.	52

Figura 22	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en piel y pelo de crías de diferentes colonias de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006. Cristóbal.	54
Figura 23	Relación entre nivel trófico, índice de omnivoría y el valor de $\delta^{15}\text{N}$ presentes en las tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal.	58
Figura 24	Niveles de plasticidad o flexibilidad en la dieta presentes en las tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal.	60

GLOSARIO

Amplitud Trófica.- Selección de la dieta con respecto a un número potencial de tipos alimenticios (Gerking, 1994).

Bentónico.- Ambiente formado por el fondo marino y la capa de agua que está en íntimo contacto con él.

(δ) Delta.- Es la diferencia en partes por mil (‰) entre la razón absoluta (R) de la muestra de interés y un estándar internacional.

$\delta^{13}\text{C}.$ Relación isotópica de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ expresada en partes por mil sobre un estándar (Pee Dee Belemnite) (Rau, *et al.*, 1990).

$\delta^{15}\text{N}.$ Relación isotópica de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ expresada en partes por mil sobre un estándar (Nitrógeno atmosférico) (Rau, *et al.*, 1990).

Dieta.- Conjunto de componentes alimentarios que se ingieren formando hábitos o comportamientos nutricionales en los animales, los cuales forman parte de su estilo de vida.

Diversidad trófica.- Medida de número de ítems alimenticios y su abundancia relativa en una muestra.

Enriquecimiento isotópico.- Diferencia entre la razón isotópica de un animal y su dieta.

Epipelágico.- Estrato vertical entre 0 y 200 metros de profundidad en el área oceánica en donde los niveles de luz aun permiten una tasa neta positiva de fotosíntesis.

Especialista plástico.- Especie que consume pocos recursos en gran cantidad y un número considerable de especies en bajas frecuencias (Lowry, *et al.*, 1991).

Espectro trófico.- Lista de especies presa que conforma la dieta de una especie consumidora a lo largo de un periodo de tiempo (Day, *et al.*, 1989).

Estrategias de alimentación.- Conjunto de tácticas con la que un depredador selecciona distintos tipos de presas en el medio ambiente.

Excreta.- Desecho fecal de un animal.

Filopatría.- Tendencia de un individuo a regresar o permanecer en su localidad natal u otra localidad adoptada para reproducirse o mudar a lo largo de su vida.

Generalista.- Especies que no presentan selectividad en el alimento o por una presa en particular.

Forrajeo.- Comportamiento asociado con la búsqueda, captura y consumo de presas (Roger, 1998).

Fraccionación isotópica.- El enriquecimiento o reducción de un isótopo estable causado por procesos naturales o artificiales.

Índice de importancia.- probabilidad de extraer de un conjunto de copros un ítem determinado (medida de importancia) (García-Rodríguez, 1999).

Interespecífico.- Entre especies, interacción entre o condiciones descritas para dos o más especies.

Intraespecífico.- Dentro de una especie, interacción entre individuos conspecificos o condiciones descritas para una sola especie.

Isótopo: Átomos de un mismo elemento con igual número de protones pero diferente número de neutrones.

Isótopo estable: Isótopo que no demuestra ninguna tendencia a experimentar la descomposición radiactiva o espontánea. Cualquier isótopo natural no radiogénico de un elemento químico.

Mesopelágico.- El estrato vertical oceánico entre 200 y 1000 metros. Corresponde a la zona en donde la penetración de la luz es insuficiente para sostener una productividad neta positiva.

Nicho ecológico.- Posición estructural de un organismo dentro de un ecosistema, incluyendo su posición trófica, hábitat y su relación con el medio ambiente físico y biótico circundante.

Nivel trófico.- Posición o categoría en la que se clasifica un determinado organismo dentro de la cadena trófica; dicha posición está dada de acuerdo a la manera en la cual obtiene su materia y energía (Gerking, 1994).

Omnivoría.- Describe el comportamiento alimentario del depredador, estableciendo si se alimenta de uno o diferentes niveles tróficos.

Otolito: Estructura compuesta de cristales de carbonato de calcio en forma de aragonita y de una matriz orgánica constituida por una proteína llamada otolina que forma parte del oído interno de los peces.

Pinnípedo.- Término que deriva del latín *pinna* (aleta) y *pedis* (pie), refiriéndose al grupo de mamíferos carnívoros acuáticos (focas, lobos marinos, lobos de pelo fino y morsas) los cuales presentan extremidades en forma de aleta.

Plasticidad.- Adaptabilidad que poseen ciertas especies a cambiar su tipo de alimentación como mecanismo de respuesta a posibles cambios en el medio.

Población.- Conjunto de individuos de una misma especie, que coexisten entre ellos e interaccionan con el medio ambiente en un mismo territorio.

Sobreposición trófica.- Uso compartido de los recursos alimenticios por dos o más especies, en tiempo y espacio (Horn, 1966).

Tasa de recambio isotópico: Periodo en el que las razones isotópicas de un tejido reflejan la señal o firma isotópica de una dieta en particular. Los tejidos con una tasa de recambio isotópica rápida reflejarán una dieta reciente mientras que aquellos tejidos con una tasa de recambio lenta reflejarán la dieta promedio representativa de un periodo mucho más extenso. (Rau et al., 1990).

RESUMEN

Los lobos marinos en general se consideran de alimentación oportunista, pero estudios en distintas localidades, indican que se alimenta regularmente de 4-5 presas preferenciales, teniendo flexibilidad de adaptarse a otras especies disponibles. En el caso de *Zalophus wollebaeki* se sabe que reside a lo largo del año en el Archipiélago de Galápagos, por lo que su alimentación esta caracterizada por recursos locales. Se han detectado al menos 3 estrategias de alimentación para *Zalophus wollebaeki* (pelágica, epipelágica y bentónica), lo que sugiere una posible diversificación de sus hábitos alimentarios. La diversificación de dietas es favorecida cuando los organismos están sujetos a una fuerte competencia intra-específica, baja competencia inter-específica y poseen una posición trófica elevada. Estas características se cumplen con *Z. wollebaeki* como único pinnípedo de la isla San Cristóbal donde 3 colonias reproductoras se encuentran en un radio de 6 millas; distancia menor al ámbito de alimentación de la especie (23 millas). Para estudiar los hábitos alimentarios y medir su grado de diversificación, se aplicaron el análisis de excretas y análisis isotópico. Durante el periodo reproductivo de 2005-2006, se colectaron 270 excretas (90 por colonia) y 284 muestras de pelo y piel de crías para obtener valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$. El análisis de excretas detectó dietas diversificadas entre colonias (Kruskal-Wallis, $p = 0.025$), con bajo traslape trófico (Morisita-Horn = 0.36), nivel trófico entre 4.3 y 4.5 (carnívoro secundario-terciario) y una amplitud trófica de depredador especialista (Levin = 0.37). Los valores isotópicos promedio para las 3 loberías fueron para $\delta^{15}\text{N} = 13.07 \pm 0.52$; y para $\delta^{13}\text{C} = -16.34 \pm 0.37$, no encontrándose diferencias significativas; sin embargo existieron diferencias en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de crías con distinta edad (ANOVA $p = 0.019$). La evidencia de este estudio sugiere un proceso de diversificación de dietas que tiene implicaciones ecológicas para la conservación de la especie.

ABSTRACT

The feeding habits of sea lions in general are considered to be opportunistic, but studies in different localities suggest their diet consists regularly of 4-5 preferential preys with flexibility to adapt to other available preys. In the case of *Zalophus worlambaeki* it is known that it resides throughout the year in the Galapagos Archipelago, feeding on local resources. At least 3 feeding strategies have been detected for the Galapagos Sea Lion (GSL), suggesting a potential diversification of diets. The diversification of diet is favored when the organisms are subject to an intra-specific strong competition, low inter-specific competition and a high trophic position. These characteristics are fulfilled by GSL as the only pinniped of San Cristobal Island and where 3 sea lion rookeries are located in a radius of 6 miles: a distance shorter than its foraging range (23 miles). To study the GSL feeding habits and to measure its grade of diversification, the scat and stable analysis were applied during the breeding period of 2005-2006. A total of 270 scats were collected (90 for colony), and 284 samples of hair and skin pup's samples to obtain $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ values. The scat analysis detected distinct diets between colonies (Kruskal-Wallis, $p = 0.025$), with a low trophic overlap (Morisita-Horn = 0.36), a trophic level between 4.3 and 4.5 (secondary-tertiary carnivore) and a trophic breadth of a specialist (Levin = 0.37). The $\delta^{15}\text{N}$ values did not have the resolution to determine significant differences between sea lion rookeries whose mean values were; $\delta^{15}\text{N} = 13.07 \pm 0.52$; y $\delta^{13}\text{C} = -16.34 \pm 0.37$. However, significant differences were found in $\delta^{13}\text{C}$ values between pups of several age groups (ANOVA $p = 0.019$). The evidence of this study suggests a process of diet diversification with ecological and conservation implications for the species.

1. INTRODUCCIÓN

El lobo marino de Galápagos, *Zalophus wolfebaeki* (Sivertsen, 1953), pertenece a la familia Otariidae, es una de las tres especies del género *Zalophus*, que recibió su nombre en honor al naturalista noruego Alf Wollebaek director del museo de Zoología de Oslo, quien contribuyó al descubrimiento de esta nueva especie, con su colección de cráneos, mismos que fueron recolectados durante su expedición a las Islas Galápagos en 1925. Años más tarde, este material fue analizado por Erling Sivertsen, quien concluyó que se trataba de una especie distinta a la de Norteamérica y endémica de las Islas Galápagos (Sivertsen, 1953).

Esta especie se distribuye en todo el Archipiélago, sus poblaciones más numerosas se ubican en la zona central y sur, siendo la Isla San Cristóbal una de las principales. El tamaño de su población ha disminuido a lo largo de las últimas décadas, llegándose a calcular actualmente una población de alrededor de 18000 individuos, (Salazar, 2005).

Las tres especies de *Zalophus* (*Z. wolfebaeki*, *Z. californianus* y *Z. japonicus*) presentan un marcado dimorfismo sexual en su fase adulta, donde los machos se identifican por su mayor tamaño, color más oscuro, cuello grueso y frente prominente (cresta sagital). En el caso de, *Zalophus wolfebaeki*, los machos llegan a pesar 200 kg y medir 2 m de longitud (Jackson, 1997), mientras que las hembras adultas son más pequeñas, menos robustas y no poseen cresta sagital, las cuales llegan a pesar entre 80 a 100 Kg y miden entre 1.40 y 1.60 m (observación personal); los cachorros al nacer miden alrededor de 75 cm y pesan en promedio 6 kg; poseen un pelaje casi negro y lanoso, que lo mudan a las cinco semanas de nacidos (Trillmich, 1979).

Su período reproductivo se presenta durante la estación más fresca del año (mayo a enero); su gestación dura 9 meses, sin embargo por un fenómeno natural llamado implantación tardía, los nacimientos se sincronizan alrededor de los 12 meses. Las hembras crían a su cachorro, al que alimentan intensamente hasta el

nacimiento de su siguiente cría, existiendo casos en que la madre alimenta al mismo tiempo al recién nacido y al juvenil de un año (observación personal). Normalmente nace un cachorro por año, sin embargo el éxito reproductivo para esta especie está estimado a asegurarse cada dos años, ya que el juvenil de un año de edad, tiende a ser una competencia muy fuerte para el recién nacido (Trillmich, 1987).

Presentan un período perinatal de 4 a 7 días posterior al nacimiento, después del cual, la madre sale regularmente a alimentarse durante el día, volviendo casi todas las noches para amamantar a su cría. Los cachorros empiezan a nadar 1 ó 2 semanas después de nacidos, juegan y duermen en grupos, a los 5 meses empiezan a tratar de alimentarse progresivamente de manera independiente de la leche materna (Trillmich, 1979).

Zalophus wollebaeki, como la mayoría de los otáridos presenta una filopatria positiva, lo que los convierte en residentes permanentes de sus respectivas colonias, siendo los machos adultos los que tienden alejarse por varios meses de la colonia para alimentarse y prepararse para el período reproductivo.

Su comportamiento de alimentación normalmente es diurno, utilizando la visión como sentido principal para encontrar a sus presas. Sin embargo investigaciones recientes mencionan que también posee hábitos nocturnos (Villegas, *et al.*, en prensa). Algunos juveniles se alimentan cerca de la costa, durante períodos cortos, a diferencia de los adultos que se alejan varias millas, pudiendo llegar a tardar varios días en regresar a la colonia. Existen evidencias con base en telemetría satelital y sensores de profundidad que las hembras adultas tienen un radio promedio en sus viajes de alimentación de 23 millas y bucean entre 90 y 230 metros (Villegas, *et al.*, en prensa).

Los lobos marinos generalmente depredan sobre una amplia variedad de presas, tanto bentónicas como pelágicas, las que pueden variar temporal y geográficamente. Estos cambios de alimentación son marcados en latitudes altas, (Gentry & Kooyman, 1986; Riedman, 1990); mientras que en latitudes medias la variación estacional parece ser mayor a la variación interanual (Lowry, *et al.*, 1991; Garcia-Rodriguez & Auriolles, 2004). Dadas estas variaciones, muchas especies de otáridos son consideradas oportunistas, debido a que aparentemente explotan los recursos mientras están disponible en el medio; sin embargo existen estudios que demuestran que el lobo marino de California, *Zalophus californianus*, tienden a seleccionar sus presas, prefiriendo peces que formen cardúmenes grandes (Lowry, *et al.* 1991; Garcia-Rodriguez & Auriolles, 2004; Gentry & Kooyman, 1986), por lo cual se ha definido como especialista plástico (Lowry, *et al.*, 1991).

Existen evidencias respecto a que la dieta de *Zalophus wolfebaeki* cambia de acuerdo a la disponibilidad o abundancia de las presas en el medio, motivo por el cual se lo ha considerado como una especie oportunista- generalista (Dellinger, 1987; Reid & Portero-Tomas, 1997; Salazar, 1999, Dellinger & Trillmich, 1999; Salazar & Bustamante, 2003; Salazar, 2005). Sin embargo se ha reportado la presencia de tres estrategias de forrajeo completamente diferentes en una misma población de *Zalophus wolfebaeki* (Islote Caamaño); una epipelágica (0 a 200 m), una mesopelágica (200 a 1000 m) y una bentónica, lo que aparentemente estaría reflejando la presencia de hábitos alimentarios diferenciados dentro de una misma población (Villegas, *et al.*, en prensa).

Existen varios factores que influyen en la diversificación de la dieta de ciertas especies: A) Generalmente se presenta en especies consideradas depredadores tope, debido que estos tienen a su disposición una mayor gama de opciones para seleccionar su alimentación (Bolnick, *et al.*, 2003). B) En poblaciones que estén sujetas a una baja competencia interespecífica y una alta competencia intraespecífica, lo que genera una respuesta de tipo conductual, la cual se enfoca en la repartición de los recursos alimentarios con la finalidad de

disminuir esa alta competencia (Estes, *et al.*, 2003). C) En organismos que habitan en áreas donde existe una alta diversidad de especies presa, lo que aumenta las opciones de escoger sus presas, evitando la necesidad de competir por el alimento (Estes, *et al.*, 2003). D) En poblaciones donde las diferencias fenotípicas entre sus individuos es notoria de modo que existen distintas capacidades fisiológicas y hasta de organización social, lo cual contribuye a una explotación diferencial de los recursos alimentarios (Estes *et al.*, 2003).

Entender como varía la dieta y su diversidad en términos espaciales y temporales, es un problema que requiere de mayor investigación en pinnípedos, ya que es posible detectar signos de estrés nutricional para una población (Merrick, *et al.*, 1997). El estudio de la dieta, especialmente en otáridos, se ha basado en el análisis de contenidos estomacales y fecales. Ambas técnicas basadas en la recuperación e identificación de estructuras duras como otolitos y picos de cefalópodos, los cuales sufren un deterioro moderado durante el proceso digestivo del lobo marino (Antonelis & Fiscus, 1980, Auriolles, *et al.*, 1984; García-Rodríguez, 1999).

El análisis de excretas es una técnica de gran utilidad para el estudio de los hábitos alimentarios, debido a que se pueden coleccionar una gran cantidad de muestras de manera rápida y sin dañar a los organismos, además de que la morfología distintiva de dichas estructuras permite identificar las diferentes presas consumidas (Antonelis & Fiscus, 1980, Auriolles, *et al.*, 1984; Reid, 1996; Antonelis, *et al.*, 1997). Si bien esta técnica es útil para describir la identidad de presas, no siempre es adecuada cuando se intenta dar importancia relativa a cada presa dentro de la dieta. La razón es que las estructuras a identificar presentan un grado de digestión diferencial en función de su tamaño (García-Rodríguez & Auriolles, 2004; Salazar, 2005), por ello las presas con estructuras frágiles (como sardinas o anchovetas) tienden a ser digeridas más fácilmente y por tanto a ser cuantificadas en menor proporción (Maldonado, 1997).

Una técnica alternativa o complementaria se basa en la razón de isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$), cuyas señales isotópicas pueden ser registradas en diferentes tipos de tejidos como pelo, grasa, vibrisas y músculo; las que si bien no proporcionan información sobre la identidad de las presas de manera directa, si permiten una evaluación mas precisa del nivel trófico y su amplitud ($\delta^{15}\text{N}$) (Vander-Zanden, 1997; Post, 2002; Bearhop, *et al.*, 2004), así como del origen de la materia orgánica o el hábitat de las presas: marino/dulceacuícola, costero/oceánico, pelágico/bentónico ($\delta^{13}\text{C}$) (Hobson, *et al.*, 1992; Hobson *et al.*, 2004). Esto se debe por un lado a que en el caso del carbono, la fraccionación isotópica está influenciada por la pérdida preferencial de CO_2 en la respiración, ya que este se encuentra enriquecido en ^{12}C , provocando así un decreto en los valores de ^{13}C (Hobson, 1990; Hobson *et al.*, 1994), mientras que en el caso específico del $\delta^{15}\text{N}$, existe una bioacumulación en el contenido de ^{15}N entre el consumidor y su dieta (Owens, 1987; Vander-Zanden, 1997; Post, 2002; Bearhop, *et al.*, 2004).

Estas relaciones establecen un enriquecimiento isotópico promedio entre depredador y su presas de 0.5 -1.0 ‰ y 3 -5 ‰ para ^{13}C y ^{15}N respectivamente (DeNiro & Epstein, 1978; Fry, *et al.*, 1984; Hobson & Welch, 1992; Minagawa & Wada, 1984). Quizás la mayor ventaja de esta técnica radica en que la información que provee está asociada al alimento asimilado y no solo del ingerido. Los valores isotópicos en los tejidos de plantas y animales varían su tiempo de registro de acuerdo a la tasa de renovación de los mismos y su tasa metabólica, permitiéndonos obtener información desde días hasta años (Tieszen, *et al.*, 1983; Hobson & Clark, 1992; Hobson, *et al.*, 1996).

El análisis isotópico con base al pelo de crías, nos permite realizar un monitoreo indirecto de la dieta de sus madres, ya que las crías dependen directamente y exclusivamente de sus estas durante la lactancia. En este sentido, se ha demostrado que existe un fraccionamiento isotópico de alrededor de 2.1 ‰ para nitrógeno y de 0.9 ‰ con relación al carbono, entre la señal de la cría y su

madre, lo cual se debe a que están consumiendo un de tejido de sus madres (leche materna); por lo que es posible esperar un enriquecimiento equivalente al de un nivel trófico entre la cría y su madre (Porrás-Peters, *et al.*, en prensa).

En este estudio se utilizará el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno y el análisis de excretas para determinar los hábitos alimentarios de *Zalophus wollebaeki*. El uso combinado de ambas técnicas permitirá detectar con más precisión posibles diferencias entre pequeñas poblaciones de lobo marino de Galápagos que potencialmente traslapan sus áreas de alimentación. Se espera que los valores isotópicos de carbono y nitrógeno tengan diferencias equivalentes a la composición de la dieta observada con base al análisis de excretas, de modo que se espera una correspondencia entre la amplitud y nivel tróficos estimados con las dos técnicas empleadas.

2. ANTECEDENTES

El estudio de *Zalophus wollebaeki*, es relativamente escaso y los temas cubren el comportamiento, la fisiología y su alimentación. Sin embargo no existe información acerca del estado actual de su población, dieta, amplitud trófica, dinámica poblacional, entre otros. Entre las observaciones que se han hecho de manera anecdótica sobre esta especie endémica, esta la de ser considerado como competidor de la pesca artesanal, situación no evaluada hasta la fecha de manera científica, por lo que cualquier información sobre las presas que consume, son relevantes para plantear posibles mecanismos de mitigación.

En las Islas Galápagos existen pocos estudios acerca de la dieta de *Zalophus wollebaeki* (Dellinger, 1987; Reid & Portero-Tomas, 1997; Salazar, 1999; Dellinger & Trillmich, 1999; Salazar & Bustamante, 2003; Salazar, 2005), todos basados en el análisis de excretas y que señalan al lobo marino como una especie oportunista generalista con hábitos alimentarios estacionales.

Un estudio reciente sobre el comportamiento de forrajeo y de buceo (Villegas, *et al.*, en prensa), el cual se realizó mediante la instrumentación de nueve hembras con equipos de telemetría satelital (marcas satelitales y TDR4) en la colonia reproductora del islote de Caamaño (Isla Santa Cruz), muestra la presencia de al menos 3 estrategias de alimentación: una epipelágica, una mesopelágica y una bentónica. Cuatro de las nueve hembras se alimentaron a unos 16 km de la isla, viajando distancias desde 14 a 43 km, de la colonia; mientras que las demás se alimentaron a distancias entre 18 y 50 km y viajaron distancias entre 35 y 77 km desde la colonia (Fig. 1).

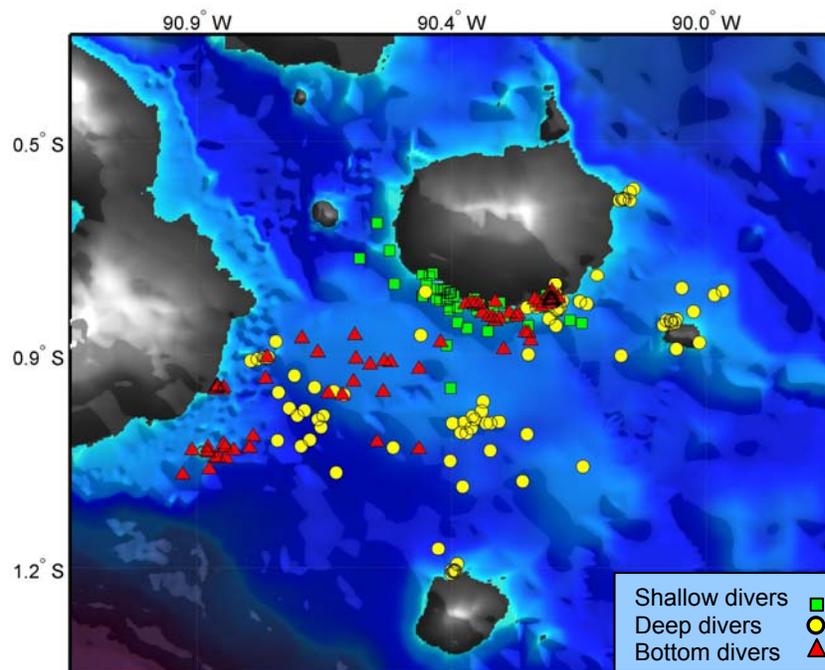


Figura 1. Ubicación satelital de los viajes de alimentación, de 9 hembras de *Z. wollebaeki*, clasificados por el tipo de forrajeo (verde: epipelágico, amarillo: mesopelágico, rojo: bentónico). Tomado de Villegas, *et al.*, (en prensa).

En general, las hembras que se alimentaron cerca de la isla presentaron inmersiones someras, sugiriendo una alimentación bentónica. Mientras que las que se alejaban de la colonia realizaron tanto inmersiones superficiales como de gran profundidad, típicas de forrajeo epipelágico y mesopelágico. Esta variabilidad del comportamiento de buceo en distintas áreas de alimentación, sugiere que usan diferentes estrategias de alimentación, de modo que optimizan su esfuerzo de

alimentación en un hábitat relativamente reducido (Villegas, *et al.*, en prensa) (Fig. 2).

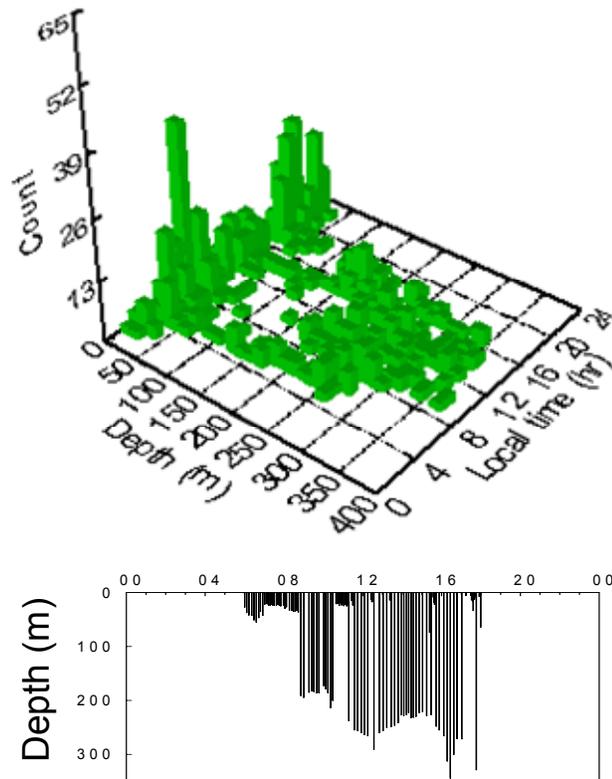


Figura 2. Número de buceos, profundidad y tiempo, registrados de 9 hembras de *Z. wollebaeki*, y perfil de sus buceos, los cuales indican las tres estrategias de forrajeo reportadas para esta especie. Tomado de Villegas, *et al.*, (en prensa).

En otro estudio, con base en isótopos estables en el lobo marino de Galápagos, dio como resultado al menos 2 grupos diferentes lo cual fue interpretado como dietas distintas (Wolf, *et al.*, en revisión). El primer grupo se ubica en el centro de las islas, el cual es de hábitos pelágicos, mientras que el segundo ubicado al oeste presento hábitos bentónicos. También observaron que no existe una sobreposición trófica entre las colonias de lobo marino de Galápagos, *Zalophus wollebaeki* y las colonias lobo fino de Galápagos, *Arctocephalus galapagoensis*, que se ubica en el oeste del archipiélago (Wolf, *et al.*, en revisión).

3. JUSTIFICACIÓN

Los estudios de alimentación ayudan a comprender las relaciones tróficas entre las poblaciones, ya que es posible determinar la procedencia de la energía necesaria para el crecimiento, la reproducción y el mantenimiento de los organismos. Hasta ahora el estudio de los hábitos alimentarios en el lobo marino de Galápagos, se ha basado en el análisis de muestras fecales, mientras que el único estudio publicado usando isótopos estables es preliminar ya que se hicieron inferencias sobre la dieta sin realmente determinarla. En este estudio se pretende no solo describir la dieta, su amplitud y nivel trófico con base en dos técnicas complementarias, sino que además se intenta usar esta aproximación para medir la plasticidad de la alimentación de *Z. wollebaeki*; una especie expuesta a marcadas variaciones de productividad ocasionadas por los eventos El Niño (Trillmich & Ono, 1991) y a una mayor actividad pesquera (Murillo, *et al.*, 2003)

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Conocer la alimentación y el grado de sobreposición trófica de tres colonias del lobo marino de Galápagos, *Zalophus wollebaeki*.

4.2 Objetivos particulares

- Conocer la estructura, nivel y amplitud tróficos, en tres colonias que sobreponen sus áreas de alimentación, con base en el análisis de excretas.
- Determinar la presencia de una posible diversificación de dietas entre los sitios, con base en el análisis de excretas.
- Estimar el grado de sobreposición trófica entre las tres colonias, con base en el análisis de excretas.

- Determinar posibles diferencias alimentarias entre los sitios, con base en el análisis de isótopos estables de C y N.
- Conocer el nivel y amplitud tróficos, de cada colonia, con base en el análisis de isótopos estables de C y N.
- Establecer diferencias o similitudes de nivel y amplitud tróficos entre las dos aproximaciones.

5. ÁREA DE ESTUDIO

Las Islas Galápagos están ubicadas en el Océano Pacífico a 960 Km (600 millas náuticas) del Ecuador continental (1°40' N, 1°25' S y 89°15' E, 91°40' O), formando parte de su soberanía. Este complejo insular está conformado por 13 islas grandes, 6 pequeñas y más de 40 islotes con un área terrestre aproximada a los 8009 Km², de los cuales cerca del 97% fue declarado por el estado ecuatoriano como área protegida, encontrándose bajo la supervisión del Servicio Parque Nacional Galápagos. Consta de una Reserva Marina limitada por una franja de 40 millas náuticas, medidas a partir de una "línea base" que rodea el Archipiélago y sus aguas interiores, lo que genera una superficie protegida de aproximadamente 138000 Km².

Posee un clima seco con características subtropicales influenciado por las diferentes corrientes marinas que circundan la zona durante el año: corriente fría del Perú o de Humboldt, corriente cálida de Panamá y corriente Sub- ecuatorial o de Cromwell (Banks, 2002) (Fig. 3). Existe dos estaciones marcadas en el archipiélago, una fría-seca (junio - octubre) en la que la temperatura ambiental disminuye entre los 18 y 24 °C, lo cual esta influenciado en gran parte por la presencia de la corriente de Humboldt, y una cálida-húmeda (diciembre-abril) caracterizada por temperaturas ambientales elevadas que generalmente sobrepasan los 25 °C, la cual esta influenciada principalmente por la convergencia intertropical de los vientos alisios del sureste y noreste (Banks, 2002).

La corriente que más nutrientes trae al archipiélago es la submarina del oeste ecuatorial (Corriente de Cromwell), misma que produce zonas de afloramiento continuo en las costas occidentales de la mayoría de islas durante todo el año (Feldman, 1985; Palacios, 2002; Palacios *et al.*, 2006). Los puntos de mayor productividad en las Islas Galápagos están localizados principalmente en el lado oeste del archipiélago, en donde ocurre una producción elevada, esporádica e intensa (10–30 mg Chl-a m⁻³), seguida por una productividad nominal baja (1–5 mg Chl-a m⁻³) que permanece por más tiempo. La productividad anual promedio refleja valores altos en las islas del oeste (Isabela y Fernandina) y una productividad promedio en el resto del archipiélago. Sin embargo se debe destacar que existen zonas cercanas a las islas del sureste del archipiélago (San Cristóbal, Santa Fe y Santa Cruz) que presentan una producción más alta de la esperada (Banks 2002; Palacios, 2002; Palacios *et al.*, 2006).



Figura 3. Mapa de las Islas Galápagos, con sus principales corrientes oceánicas. Isla San Cristóbal (recuadro rojo).

La Isla San Cristóbal o Chatham es la más oriental del Archipiélago con un área aproximada de 558 km². Aquí se encuentran tres colonias importantes de lobos marinos, distribuidas a lo largo de la costa sureste de la isla: Playas de Puerto Baquerizo Moreno capital de la provincia de Galápagos y principal puerto pesquero de las Islas. La lobería a 3 millas náuticas de la costa suroeste de Puerto Baquerizo Moreno, sitio turístico que consta de un sendero de visita. Isla Lobos, islote bajo con bordes rocosos e inclinados con una superficie de 90 km², ubicado a 4 millas náuticas al noroeste de Puerto Baquerizo Moreno (Fig. 4).



Figura 4. Colonias de estudio: Puerto Baquerizo Moreno, La lobería e Isla lobos ubicadas al suroeste de la isla San Cristóbal.

Dado que las tres colonias están muy cerca entre si, hace suponer la existencia de una alta sobreposición trófica, lo que convierte a esta isla en escenario apropiado para poner a prueba la hipótesis de la especialización trófica. Esto se debe a que las poblaciones de *Zalophus wollebaeki* reúnen las

condiciones necesarias para que ocurra este tipo de adaptación: a) *Zalophus wolfebaeki*, es un depredador de alto nivel trófico, b) es el único pinnípedo en la zona, ya que su vecino más cercano, *Arctocephalus galapagoensis* (lobo fino de Galápagos) se ubica al otro extremo del archipiélago, c) Las islas presentan una alta diversidad de presas, pero con baja abundancia relativa de las mismas, lo que se refleja en el tamaño promedio de las poblaciones de lobo marino (+/- 300 individuos) y define al archipiélago como un hábitat marginal para estas especies.

6. MÉTODOS

6.1 Estructura y tamaño de población

Se realizaron censos diarios de población por categorías de sexo y edad durante la temporada de reproducción 2005-2006, con el fin de determinar la estructura y tamaño poblacional de esta especie en las tres colonias de estudio. Con la finalidad de asignar los hábitos alimentarios a una composición de población definida. Para realizar los censos, se clasificó a *Zalophus wolfebaeki* en categorías, dependiendo de características morfológicas relacionadas con la edad y sexo como se explica en la Tabla I. La diferenciación y descripción morfológica se basó en trabajos anteriores (Orr, *et al.*, 1970; Aurióles & Zavala, 1994).

Tabla I. Categorías por sexo y edad en el lobo marino de Galápagos.

Clases de Edad	Características	Longitud cm	Peso Kg
Machos Adultos	Cresta sagital desarrollada y cuello robusto	170 a 200	200
Machos Sub-adultos	Color café oscuro y cresta sagital en desarrollo, presencia de testículos	150 a 170	150
Hembras	Sin cresta sagital, sin testículos, amamantando	140 a 160	100
Juveniles	Individuos de hasta 3 años, color café, con aspecto joven	100 a 130	40
Indeterminados	Individuos que no pueden ser distinguidos como machos o hembras	100 a 140	40 - 50
Crías	Pelo oscuro y menos de 1 año de edad	70 a 75	5 - 6

6.2 Análisis de excretas

Existen varias metodologías para determinar el tipo de dieta en Pinnípedos, una de las cuales es el análisis de contenido fecal (Antonelis & Fiscus, 1980; Aurióles, *et al.*, 1984; Reid, 1996; Antonelis, *et al.*, 1997), la cual se basa en la identificación de remanentes de presas contenidos en las excretas de estos organismos.

Para este estudio se colectaron 30 muestras por muestreo de un total de 3 muestreos en cada uno de los tres sitios de estudio (Puerto Baquerizo Moreno, La lobería e Isla Lobos), con lo que se obtuvo un total de 270 muestras. Siempre es recomendable tener tamaños de muestra grandes, ya que no todas las excretas arrojan fragmentos identificables.

Las muestras de excretas fueron guardadas en fundas plásticas con cierre hermético etiquetadas con fecha y zona de colecta; luego se colocaron en frascos de plástico cerrados con agua y detergente por un periodo de 12-36 horas (dependiendo de la dureza de la muestra) con el fin de eliminar el mal olor, evitar la proliferación de microorganismos infecciosos y facilitar el proceso de tamizado. Una vez completa esta fase se pasaron las muestras a través de un juego de tamices para sedimentología de diferente luz de malla (2.0, 1.19 y 0.71mm) para separar las partes duras identificables (otolitos y picos de cefalópodos) de peces y moluscos ingeridos por el lobo marino.

El tamizado se llevó a cabo bajo un chorro de agua constante, tratando de disolver la muestra fecal con un pincel grueso. Una vez encontrados los otolitos y picos de cefalópodos se separaron con pinzas en pequeños frascos con clave de identificación y se tomaron fotografías digitales de los mismos. La identificación de los otolitos se realizó en el Laboratorio de Ecología de Pinnípedos "Burney J. Le Boeuf" del CICIMAR con la ayuda de un estereoscopio, basándonos en literatura especializada (García-Godos, 1996; García-Godos, 2001; Díaz-Murillo, 2007).

6.2.1 Composición de la dieta

La importancia de las especies presa en cada colonia se calculó mediante el índice de importancia de presa (IIMP) propuesto por García-Rodríguez (1999):

$$IIMP_i = \frac{1}{U} \sum_{j=1}^U \frac{x_{ij}}{X_j}$$

Donde:

x_{ij} es el número de observaciones del taxón (i) en el excreta (j)

X_j es el número de estructuras totales identificables en el excreta (j)

u es el número de apariciones o excretas en donde el taxón (i) se encontró

U es el número de unidades de muestreo o excretas sobre los cuales se contabilizaron las apariciones.

Este índice representa la importancia de un taxón presa (i) en la probabilidad de hallarlo en un conjunto de excretas, ya que considera cada excreta como independiente y se basa en la sumatoria de la importancia que cada presa presenta en el total de excretas.

6.2.2 Diversidad del espectro trófico

Los análisis de diversidad se realizaron a través del número y variedad de ítems incluidos en la dieta, utilizando el índice de Shannon-Wiener (H'). Cabe anotar que el término diversidad en este estudio estará definido por la variedad de ítems identificados en cada excreta.

$$H' = -\sum_{i=1}^K p_i \log p_i$$

Donde:

k es el número de categorías

p_i es la proporción de la observación encontrada en la categoría i

6.2.3 Amplitud trófica

Esta propiedad ecológica nos permite determinar si los organismos presentan una especialización sobre los recursos alimenticios existentes, y con ello conocer su condición de especialista o generalista, este valor se lo obtuvo por medio del Índice de Levin (Krebs, 1999).

$$B_j = \frac{1}{n-1} \left\{ \left(\frac{1}{\sum P_{ij}^2} \right) - 1 \right\}$$

Donde:

B_i es la amplitud del nicho

P_{ij} es la proporción de la presa (j) en la dieta del depredador (i)

n es el número de presas en la dieta

Los valores de B_i varían de cero a uno; cuando los valores son menores de 0.6, el depredador se considera especialista mientras que valores cercanos a uno (>0.6) indican una dieta generalista (Krebs, 1999).

6.2.4 Nivel trófico

Nos brinda información respecto a la posición de los organismos en la cadena alimenticia, es decir, su nivel de alimentación. Para determinar el nivel trófico a partir de tipo de presas encontradas en las muestras fecales se utilizó la ecuación propuesta por Christensen y Pauly (1992).

$$TL = 1 + \left(\sum_{j=1}^n DC_{ij} \right) (TL_j)$$

Donde:

DC_{ij} referida como la composición de la dieta, es la proporción de presas (j) en la dieta del depredador (i)

TL_j es el nivel trófico de las presas (j)

n es el número de grupos en el sistema

De acuerdo con estos autores, el detritus y los productores primarios presentan un nivel trófico igual a la unidad mientras que para el resto de los grupos, el nivel trófico (TL) del depredador o grupo (i) se define como uno, más la suma de los niveles tróficos de las presas, multiplicado por la proporción de la presa en la dieta del depredador. El valor del nivel trófico (TL) de los peces se consulto en la pagina electrónica Fishbase (Froese & Pauly, 2003).

6.2.5 Omnivoría

Este índice nos describe el comportamiento alimentario del consumidor, estableciendo si el depredador se alimenta de uno o diferentes niveles tróficos. Este índice está dado por la varianza de los niveles tróficos de las presas consumidas (Christensen & Pauly, 1992).

$$OI = \sum_{j=1}^n (TL_j - TL)^2 D_{cij}$$

Donde:

TL_j es el nivel trófico de la presa (j)

TL es el nivel trófico promedio de las presas (uno menos que el nivel trófico del depredador (i))

D_{cij} es la fracción de presas (j) en la dieta promedio del depredador (i).

n es el número de grupos en el sistema

En el caso de que las presas del depredador se encuentren en un solo nivel trófico, el valor del índice será igual a cero, mientras que un valor elevado indicará que las posiciones tróficas de las presas del depredador son variables (Christensen & Pauly, 1992).

6.2.6 Sobreposición trófica

La sobreposición trófica se define como el uso compartido de recursos alimentarios por dos o más especies (Horn, 1966); en este caso por los individuos

de las diferentes colonias. Para establecer la existencia de sobreposición trófica entre loberías se utilizó el índice de Morisita-Horn (Krebs, 1999).

$$C\lambda = 2 \sum_{i=1}^n P_{ij} P_{ik} / \sum_{i=1}^n P_{ij}^2 + \sum_{i=1}^n P_{ik}^2$$

Donde:

$C\lambda$ es el índice de superposición entre el depredador (j) y el depredador (k)

P_{ij} es la proporción de la presa i que es utilizado por el depredador (j)

P_{ik} es la proporción de la presa i que es utilizado por el depredador (k)

n es el número total de presas.

Los valores de $C\lambda$ pueden variar de cero cuando las dietas son completamente distintas a uno cuando las dietas son idénticas (Horn, 1966; Smith & Zaret, 1982). De acuerdo a la escala propuesta por Langton (1982), se considera que no hay superposición, cuando los valores van de 0 a 0.29; de 0.30 a 0.65 hay una superposición baja y si el valor excede a 0.66 una superposición biológicamente significativa o alta.

6.2.7 Análisis multivariados (multifactoriales)

Se realizaron ensayos de clasificación o agrupación (cluster) y ordenación (análisis de componentes principales, ACP) para observar similitudes o diferencias en las dietas dentro de cada colonia y entre las colonias. En el caso del cluster, se utilizó el índice de similitud “city block” o de Manhattan para medir la similitud o distancia entre grupos. Dicha distancia representa la diferencia promedio a través de dimensiones (distancia (x, y) = $\sum_i |x_i - y_i|$) (Larson y Sadiq, 1983). Se considero esta distancia debido a que los valores no son elevados al cuadrado reduciendo el efecto de valores extremos. Como regla de ligamiento se utilizó el método de Ward (Ward, 1963). Este método es considerado muy eficiente debido a que utiliza una aproximación del análisis

de variancia para evaluar las distancias entre grupos minimizando la suma de cuadrados de cualquier par de grupos.

Estos análisis se realizaron con base en la composición de la dieta, a través del índice de importancia (IIMPi) calculado para cada una de las presas presentes en cada sitio. El uso de estos análisis, permite una aplicación directa sobre un conjunto de variables a las que se considera en bloque, sin la necesidad de comprobar si estas presentan una distribución normal. Para los análisis de clasificación y ordenación de datos se utilizaron los siguientes paquetes de software: Excel, Statistica 7, CAP (Community Analysis Package).

6.3 Análisis isotópico

6.3.1 Colecta de muestras

Se colectaron 60 muestras de pelo y piel de crías en la colonia Puerto Baquerizo, 22 en La lobería y 60 en Isla lobos, con lo que el total de muestras para todo el estudio fue de 284. Se trató que las crías fueran de edades similares, por lo que se capturaron individuos con una longitud estándar entre 80 y 100 cm (medida que va de la punta de la cabeza a la punta de la cola), la cual se midió con ayuda de una cinta métrica. Cada muestra se tomó a partir de un área aproximada de 5 x 5 cm de la región dorsal de las crías utilizando tijeras esterilizadas. Las muestras se colocaron en bolsas de papel debidamente etiquetadas con la fecha, nombre de la colonia, sexo y la categoría del animal.

Se utilizó el pelo de las crías por diferentes motivos: se ha demostrado que la señal isotópica que refleja este tejido tiene un poder de resolución suficiente para determinar diferencias entre colonias (Porrás-Peters, *et al.*, en prensa); además se encuentra bien establecido que el pelo de los otáridos se forma en el último mes de la gestación y no muda hasta tres o cuatro meses después de su

nacimiento, por lo que el pelo de las crías es capaz de reflejar los últimos meses de la alimentación de la madre (Bauer, *et al.*, 1964).

Se analizó la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las crías, ya que reflejan la señal isotópica de sus madres con un ligero enriquecimiento de 2.1‰ en el caso de $\delta^{15}\text{N}$ y de 0.9‰ en el caso del $\delta^{13}\text{C}$ (Porrás-Peters, *et al.*, en prensa). Esto se debe a que las crías se alimentan únicamente de un tejido de sus madres (leche), por lo que su enriquecimiento sería análogo al de un depredador y su presa (Fogel, *et al.*, 1989; Porrás-Peters, *et al.*, en prensa). Esto permite registrar de manera indirecta, los hábitos alimentarios de las hembras en cada colonia a partir del muestreo de sus crías. Finalmente, este tipo de muestreos ofrecen la ventaja de obtener mayores tamaños de muestra y causar menos disturbios dentro de las colonias.

6.3.2 Procesamiento de muestras

Las muestras de pelo se prepararon en el Laboratorio de Química del CICIMAR. Cada muestra se enjuagó con agua des-ionizada para eliminar residuos que causen interferencia en la señal isotópica; luego las muestras se colocaron en viales de vidrio (previamente tratados con extrán-jabón libre de fosfatos y agua destilada así como con mezcla crómica de ácido sulfúrico y dicromato de potasio por un periodo de 24 horas), para posteriormente tenerlas en un desecador a una temperatura de 80°C durante 12 horas para eliminar toda la humedad.

Secuencialmente Se aplicó el protocolo de Extracción Asistida por Microondas (MAE) mediante el cual se extrajeron los lípidos en 25 ml de una solución cloroformo/metanol (1:1) en vasos de extracción (previamente tratados con Extrán y agua destilada y des-ionizada antes de cada corrida) y un microondas MARS-5 x CEM. El tiempo de la extracción fue de 20 minutos y consistió de: 10 minutos para elevar la temperatura a 100°C y 10 minutos más para mantener la temperatura constante; la presión utilizada durante la extracción

fue de 75-90 psig. Al finalizar la extracción, las muestras se colocaron en un desecador a temperatura ambiente por 12 horas para permitir la volatilización de residuos del solvente. Este proceso se aplica debido a que los lípidos tienen carbonos enriquecidos en ^{12}C , por lo que grandes cantidades de lípidos sesgan negativamente la señal isotópica del ^{13}C (Tieszen, *et al.*, 1983).

Posteriormente, las muestras de pelo se cortaron finamente con ayuda de pinzas y tijeras esterilizadas, para ser molidas en mortero de ágata y homogenizadas hasta obtener un polvo muy fino. Este procedimiento se realizó bajo una campana de extracción para evitar contaminación. En una micro-cápsula de estaño de 8 x 5 mm se pesó ~ 0.5 mg de muestra con ayuda de una micro-balanza analítica con una precisión de 0.001 mg. Las micro-cápsulas se sellaron y se enviaron al Laboratorio de Isótopos Estables en la Universidad de California en Davis EUA.

6.3.3 Análisis de muestras

Las razones de isótopos estables de nitrógeno y carbono se midieron por flujo continuo en el espectrómetro de masas de razones isotópicas (20-20 PDZ Europa) después de la combustión de las muestras a CO_2 y a N_2 a 1000 °C en el analizador elemental (PDZ Europa ANCA-GSL). Los gases se separaron en una columna cromatográfica antes de su introducción en el espectrómetro de masas. La proporción de isótopos estables de un elemento se representa a través de la notación delta (δ), con relación a un estándar, según la ecuación propuesta por DeNiro & Epstein (1981):

$$\delta^{15}\text{N} \text{ o } \delta^{13}\text{C} = 1000((\text{R muestra} / \text{R estándar}) - 1)$$

Donde R muestra y el R estándar son los cocientes molares de los isótopos pesados sobre los livianos presentes en la muestra y el estándar respectivamente. Las unidades de medida se expresan en partes por el mil (‰) y los estándares

internacionalmente reconocidos para estos elementos son la Pee Dee Belenmita PDB para carbono cuyo valor es de 0.011 ‰ y el nitrógeno atmosférico N₂ para nitrógeno con valor de 0.004 ‰.

6.3.4 Análisis de datos

Para encontrar la significancia de las diferencias encontradas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en pelo de crías de lobo marino entre colonias, se utilizó análisis de variancia (ANOVA) de una vía ya que los datos presentaron una distribución normal. El análisis de los datos se reportó en términos de p indicando el nivel de significancia observado. Se realizó la prueba a posteriori de Fisher en la colonia de Isla Lobos que fue la única que presentó diferencias significativas en $\delta^{13}\text{C}$, con el fin de determinar cuales eran las variables con mayores diferencias entre si. Todos los análisis estadísticos se efectuaron utilizando el programa Statistica versión 7.

6.3.5 Estimación del nivel trófico

Con el fin de determinar posibles diferencias en la posición trófica relativa de cada colonia, utilizamos los algoritmos propuestos en la bibliografía:

Vander-Zander (1997),

$$PT = \frac{(\delta^{15}N_{consumer} - \delta^{15}N_{baseline})}{3.4} + 2$$

Donde:

$\delta^{15}N_{consumer}$ Promedio de la señal de $\delta^{15}\text{N}$ de *Zalophus wollebaeki*

$\delta^{15}N_{baseline}$ Valor de $\delta^{15}\text{N}$ de la base de la cadena trófica ($\delta^{15}\text{N}$ en Sedimento = 6‰, Farrel, et al., 1995).

Y Post (2002),

$$PT = \lambda + \frac{(\delta^{15}N_{depredador} - \delta^{15}N_{base})}{\Delta_n}$$

Donde:

λ Posición trófica del “ojón” *Selar crumenophthalmus* según el Fishbase

Δ_n Enriquecimiento promedio de $\delta^{15}N$ a lo largo de la trama trófica (3.4‰, Minagawa & Wada, 1984).

$\delta^{15}N_{depredador}$ Promedio de la señal de $\delta^{15}N$ de *Zalophus wolfebaeki*

$\delta^{15}N_{base}$ Valor de $\delta^{15}N$ del “ojón” *Selar crumenophthalmus*, que cumple con los criterios propuestos por Post (2002).

6.3.6 Estimación de amplitud trófica

Por medio de los isótopos estables es posible determinar la amplitud trófica de una población con respecto a otra, para lo cual se utiliza la varianza presente en los valores de $\delta^{15}N$ de los distintos grupos. En caso de que los resultados fueran similares durante un periodo tiempo, la población podría ser considerada generalista, caso contrario se considera especialista (Bearhop, *et al.*, 2004).

7. RESULTADOS

7.1 Estructura y tamaño de la población

Durante el periodo de muestreo (enero-marzo 2006) se realizaron censos en las tres colonias de estudio, contabilizando un total 410 animales. El tamaño poblacional varió entre colonias, observando en la colonia de Puerto Baquerizo Moreno un promedio de 152 animales, en La Lobería de 60, y en Isla lobos 1999. Se observó un patrón similar en cuanto a la estructura poblacional por categorías de sexo y edad donde las hembras son las más abundantes, seguida por los juveniles y por último los machos adultos (Fig. 5).

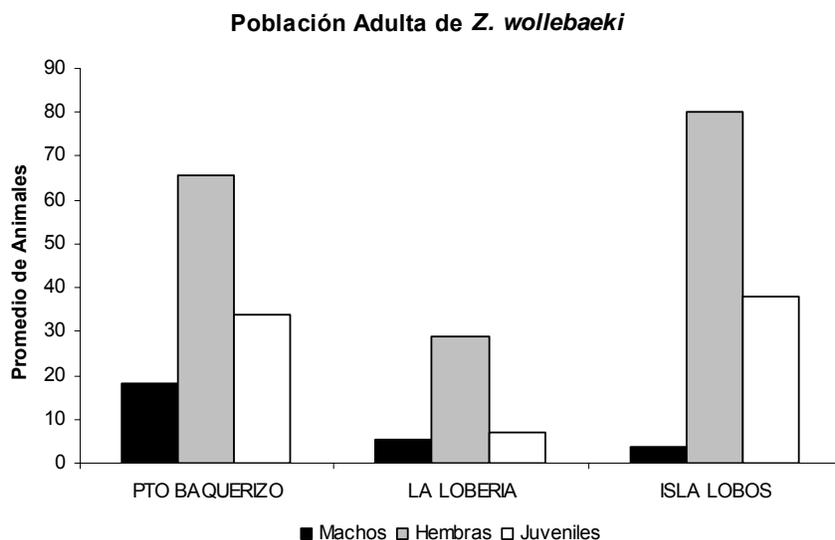


Figura 5. Estructura poblacional por edad y sexo del lobo marino de Galápagos en tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.

Del total de animales censados en las tres colonias para la temporada reproductiva del 2006, el 13.8% correspondió a los machos adultos, el 55.5% a las hembras, y el 30.9% a los juveniles (Fig. 6). Debido a que las hembras representaron la categoría más abundante de la población, los hábitos alimentarios aquí definidos serán por tanto un reflejo mayor de la alimentación de estas, este criterio a su vez es respaldado con los hábitos de los machos durante

la temporada reproductiva, los cuales no se alimentan con la misma frecuencia debido a su comportamiento territorial.

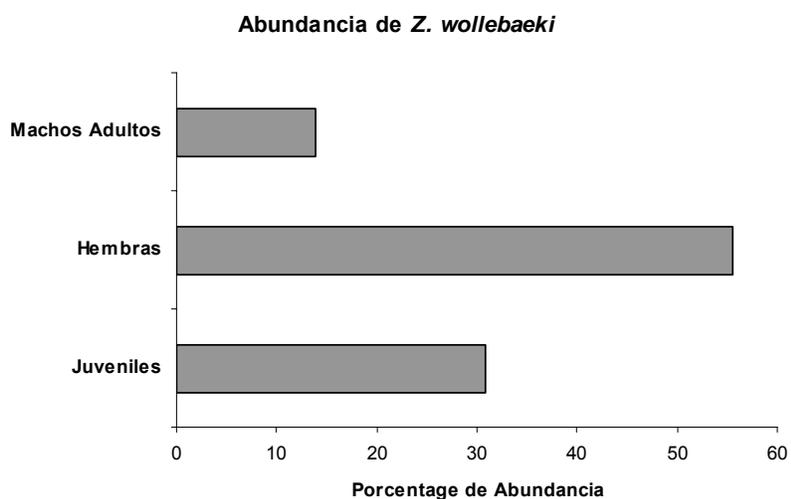


Figura 6. Porcentaje de abundancia de cada una de las categorías de edad y sexo de *Zalophus wollebaeki* en las tres colonias de estudio.

7.2 Análisis de excretas

7.2.1 Tamizado de excretas

Se revisó un total de 270 copros de lobo marino colectado en 3 colonias reproductoras durante el periodo de muestreo. Del total de copros 256 (94.81%) presentaron estructuras identificables (otolitos y picos de cefalópodos) (Tabla II).

Tabla II. Número de copros con estructuras identificables de lobo marino, colectados en 3 colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.

Colonias reproductoras	Fecha de colecta	Copros	Copros Estruct. Iden.	# Otolitos	# Picos
Isla Lobos	19 Ene/8 Mar 2006	90	87	784	2
La Lobería	27 Ene/3 Mar 2006	90	86	1007	0
Puerto Baquerizo	30 Ene/6 Mar 2006	90	85	599	0
TOTAL		270	258	2390	2

La dieta de las tres colonias estuvo compuesta principalmente de peces, solo se encontraron 2 picos de cefalópodos en uno de los sitios, por lo que aparentemente la alimentación de *Z. wolfebaeki* en Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva es de tipo ictiófaga. En Puerto Baquerizo hubo un porcentaje de aparición para los peces de 96.7 % y para moluscos de 2.2 %, en La Lobería de 95.6 % para peces y en Isla Lobos de 94.5 % para peces, cabe mencionar que estas colonias no se encontraron restos de moluscos (Fig.7).

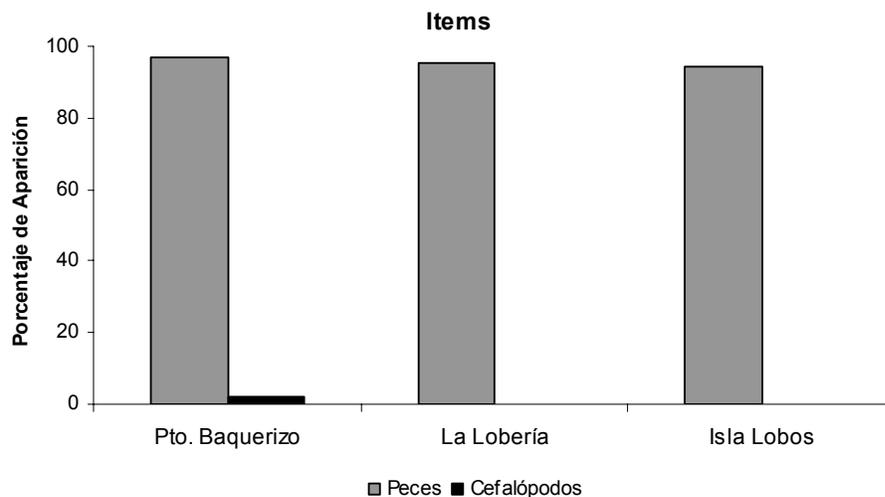


Figura 7. Porcentaje de aparición de peces y moluscos, presentes en la dieta del lobo marino de Galápagos en la Isla San Cristóbal.

7.2.2 Tamaño de muestra

Para determinar el número óptimo de muestras se utilizó la rutina PERMUT, la cual se la realiza en el programa MATLAB, donde se obtiene un grupo de curvas de diversidad (Shannon Wiener) derivadas de 500 permutaciones realizadas con base en la abundancia total de las especies encontradas en todas las excretas de cada colonia (Turren, C & Escalona, V. en preparación). Este procedimiento se realiza con la finalidad de estimar el tamaño de muestra adecuado con base en la diversidad de presas en la dieta y se ajusta a un margen de error del 0.05, que se obtiene del coeficiente de variación de los datos. Esta rutina se aplicó a los datos de cada colonia, resultando que el número mínimo de muestras necesario para Puerto Baquerizo fue de 46 excretas, para La Lobería 64

y para Isla Lobos 69 excretas, con lo que se corrobora que el número de muestra establecido *a priori* para el estudio fue adecuado (Fig. 8).

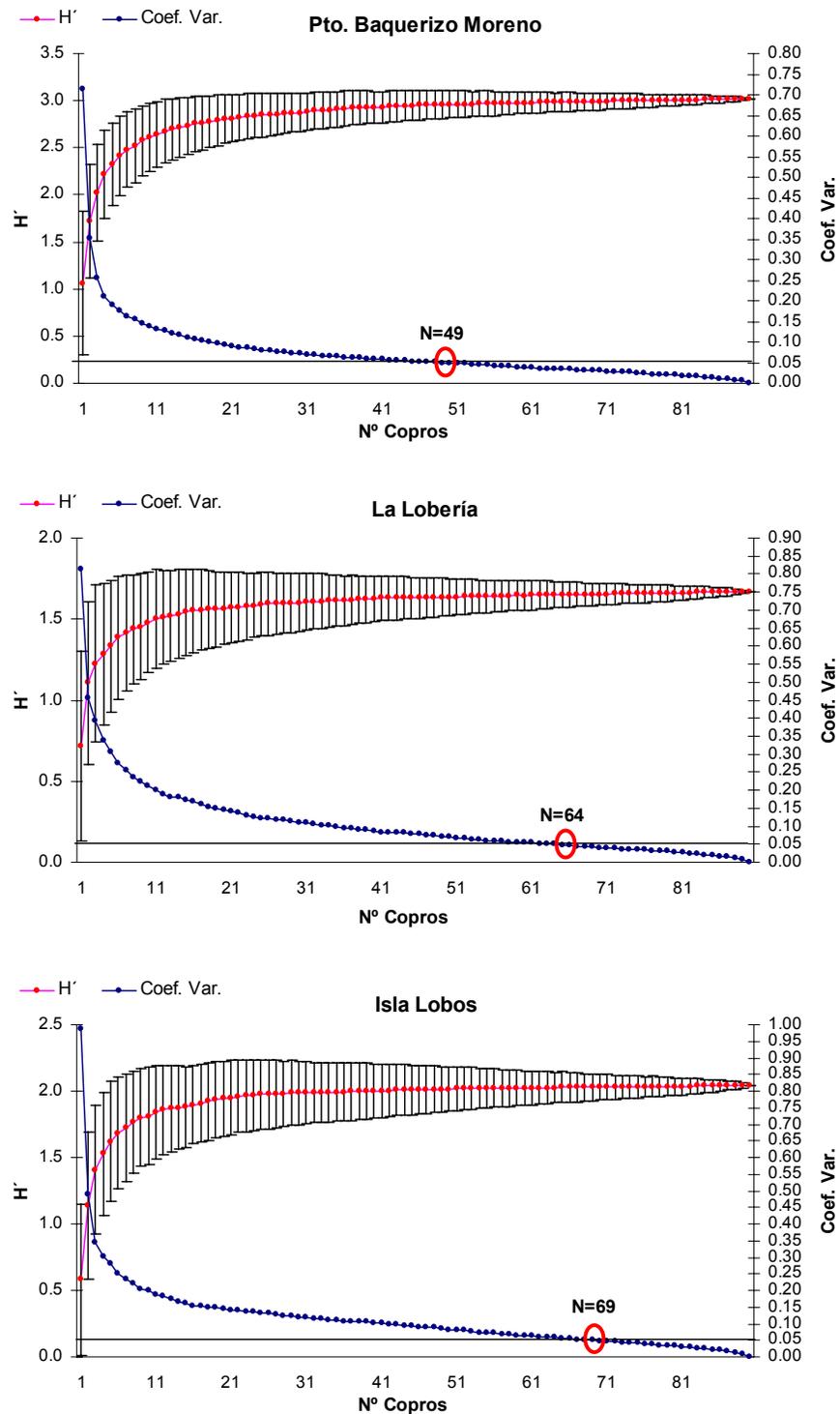


Figura 8. Curvas de diversidad de las colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.

7.2.3 Estructura de la dieta

El espectro trófico encontrado en Puerto Baquerizo Moreno fue el más amplio y estuvo conformado por al menos 34 presas (33 peces y 1 cefalópodo), de los cuales se lograron identificar a nivel especie un total de 20 ítems (58.9%) pertenecientes a 12 familias, 13 ítems (38.2%) a nivel género de 11 familias, y 1 presa (2.9%) a nivel de familia. Las familias de peces mejor representadas fueron: Serranidae con 7 especies (20.6%), Carangidae con 3 (8.8%), Ophidiidae con 3 (8.8%), Engraulidae con 2 (5.8%), Sciaenidae con 2 (5.8%) y Lutjanidae con 2 (5.8%); mientras que las familias: Belonidae, Clupeidae, Cottidae, Haemulidae, Holocentridae, Moridae, Malacanthidae, Mugilidae, Myctophidae, Ophisthognathidae, Phosichthyidae, Scorpaenidae y Synodontidae estuvieron representadas con una especie. Los picos de cefalópodos encontrados pertenecieron a la familia Octopodidae (Anexo 1).

En La Lobería, se encontró el espectro trófico más pequeño, el cual estuvo compuesto por 16 tipos de presas (únicamente peces). Se identificaron 8 ítems (50%) a nivel de especie correspondientes a 5 familias, 7 (43.8%) a nivel de género de 6 familias y 1 presa (6.2%) a nivel de familia. Las familias de peces mejor representadas fueron: Serranidae con 5 especies (31.3%), Carangidae con 3 (18.8%), Ophidiidae con 2 (12.5%); mientras que las familias: Engraulidae, Myctophidae, Phosichthyidae, Sciaenidae, Scorpaenidae y Synodontidae estuvieron representadas con una especie (Anexo 2).

En Isla Lobos se identificaron un total de 20 presas, 11 ítems (55%) a nivel de especie correspondientes a 8 familias, 8 (40%) a nivel de género de 7 familias y 1 presa (5%) a nivel de familia. Las familias de peces mejor representadas fueron: Serranidae con 6 especies (30%) y Carangidae con 2 (10%); mientras que las familias: Batrachoididae, Clupeidae, Engraulidae, Ehippidae, Haemulidae, Moridae, Myctophidae, Ophidiidae, Ophisthognathidae, Scorpaenidae y Synodontidae estuvieron representadas con una sola especie (Anexo 3).

Para determinar la dieta del lobo marino de Galápagos presente en las tres colonias de estudio, se consideraron únicamente aquellas presas que rebasaron el 2 % del índice de importancia de presa (IIMPi). Basándonos en este criterio, se detectaron seis presas principales en la colonia de Puerto Baquerizo: *Selar crumenophthalmus*, conocido como “ojón” (61.89%) la cual es una especie pelágico-costera que se presenta en pequeños a grandes cardúmenes, especialmente en aguas muy cercanas a la costa o muy someras. *Selar crumenophthalmus* se puede encontrar también sobre arrecifes someros así como en aguas turbias y suele descender a aguas profundas hasta 180 m. Otra presa relevante fue *Anchoa* spp conocido como “anchoa” (21.94%), especie pelágico costera asociada a aguas cercanas a playas y bahías. Seguido de la familia Myctophidae que son peces de hábitos mesopelágicos (4.1%), la “anchoveta”, *Cetengraulis mysticetus* (2.85%), especie pelágica, costera, que forma grandes cardúmenes, el “serrano”, *Serranus aequidens* (2.32%) pez demersal de fondos arenosos asociado a arrecifes y el “camotillo” *Paralabrax sp* (2.21%) que habita arrecifes y salientes rocosas con áreas adyacentes de arena (Fig. 9).

En la colonia La Lobería se encontraron cuatro presas principales: *Selar crumenophthalmus* (87.75%), *Serranus aequidens* (5.3%), *Anchoa ssp.* (3.98%) y *Pontinus clemensi* (2%) conocido como “brujo” especie de hábitos demersales, asociada a fondos rocosos y arenosos (Fig. 9).

En Isla Lobos se encontraron 5 presas principales: *Selar crumenophthalmus* (84.63%), la familia Myctophidae (4.91%), *Serranus aequidens* (2.76%), *Paralabrax sp* (2.70%) y *Paranthias colonus*, conocido como “gringo”, el cual habita en arrecifes y paredes rocosas (Fig. 9).

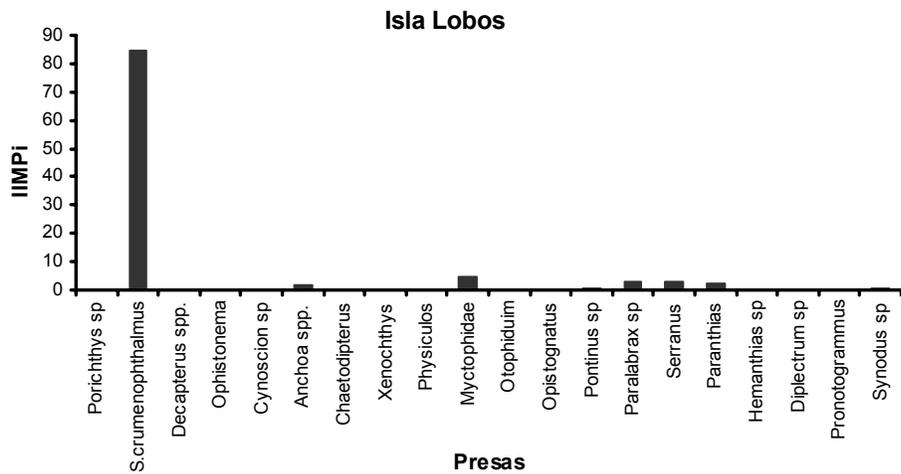
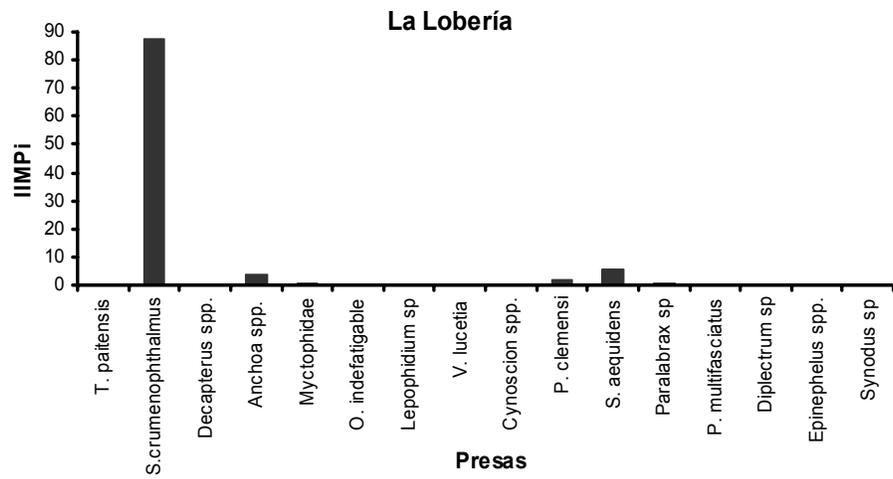
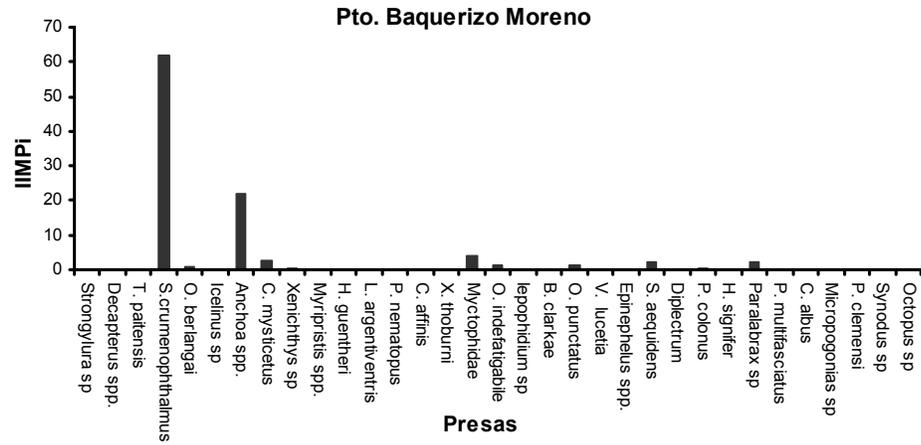


Figura 9. Importancia (en porcentaje) de las principales presas encontradas en las colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal, durante temporada reproductiva 2006.

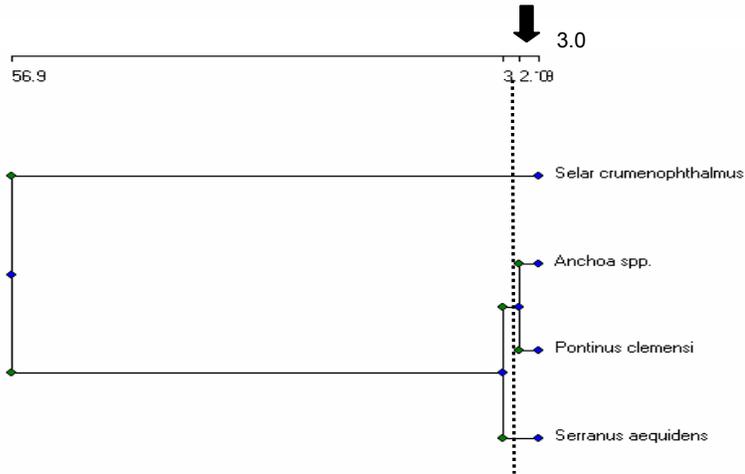
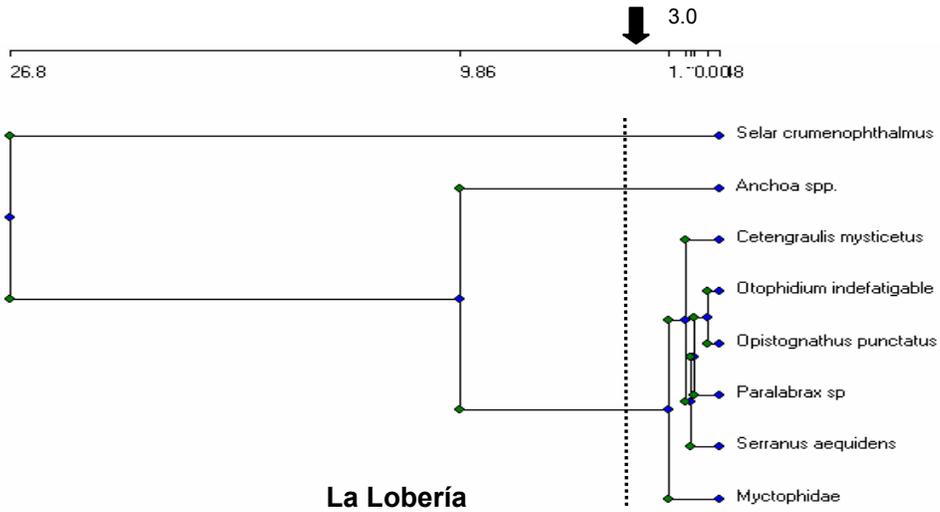
7.2.4 Análisis multivariados de los hábitos alimentarios

Se realizaron análisis multivariados con los resultados obtenidos a partir del índice de importancia de presa (IIMPi) en cada una de las colonias. El Análisis de Grupo (Cluster) mostró la presencia de tres grupos en cada uno de los sitios al hacer un corte de 3.0 IBC. Dichos grupos sugieren la presencia de tres dietas distintas; una principal constituida por *Selar crumenophthalmus* en cada una de las loberías, la segunda formada por: *Anchoa spp* en el caso de Puerto Baquerizo, *Serranus aequidens* en La Lobería, Familia Myctophidae en Isla Lobos y la tercera compuesta por el resto de presas que formaron el espectro trófico de cada una de las colonias (Fig. 10).

El Análisis de Componentes Principales, ACP, mostró la distribución espacial de los grupos, encontrando consistencia con los resultados del Análisis de Grupo en cada una de las colonias. Para Puerto Baquerizo se generó un total de 81 componentes principales, dos de los cuales explicaron más del 81% de la variancia total de los datos. En este caso se separaron nuevamente los tres tipos de dietas previamente detectados para esta colonia (Fig. 11). En La Lobería se obtuvieron 81 componentes principales, donde los componentes 1 y 2 representaron el 94.4% de la variancia total y generaron tres dietas bien diferenciadas. En Isla lobos se generaron 80 componentes principales, con un 87.9% de la variancia explicada por los componentes 1 y 2, detectándose nuevamente los tres tipos de dietas (Fig. 11).

Para determinar la posible diferenciación de dietas entre las tres colonias de estudio se realizó otro Análisis de Componentes Principales con todos los datos disponibles de las 3 colonias estudiadas. Este análisis generó un total de 34 componentes principales, dos de los cuales explicaron el 100% de la variancia de los datos, separando claramente los hábitos alimentarios de los tres sitios (Fig. 12).

Pto. Baquerizo Moreno



Isla Lobos

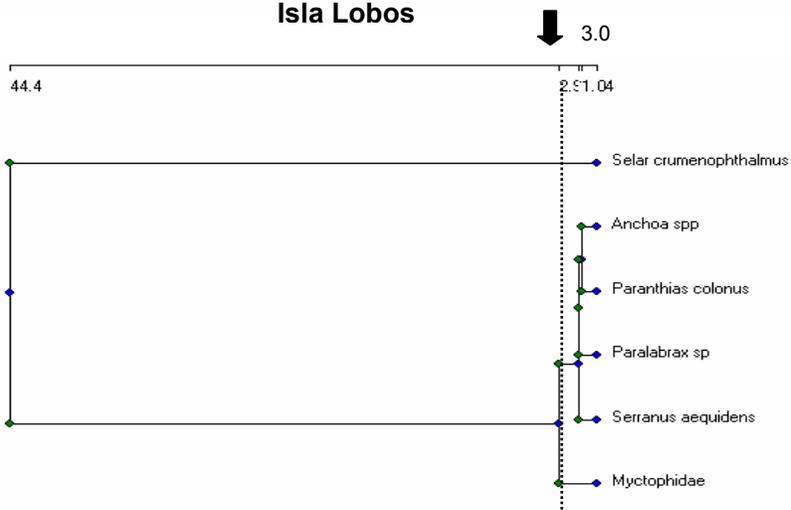


Figura 10. Análisis de grupos con base en el índice de importancia (IIMPI) de las presas encontradas en las colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.

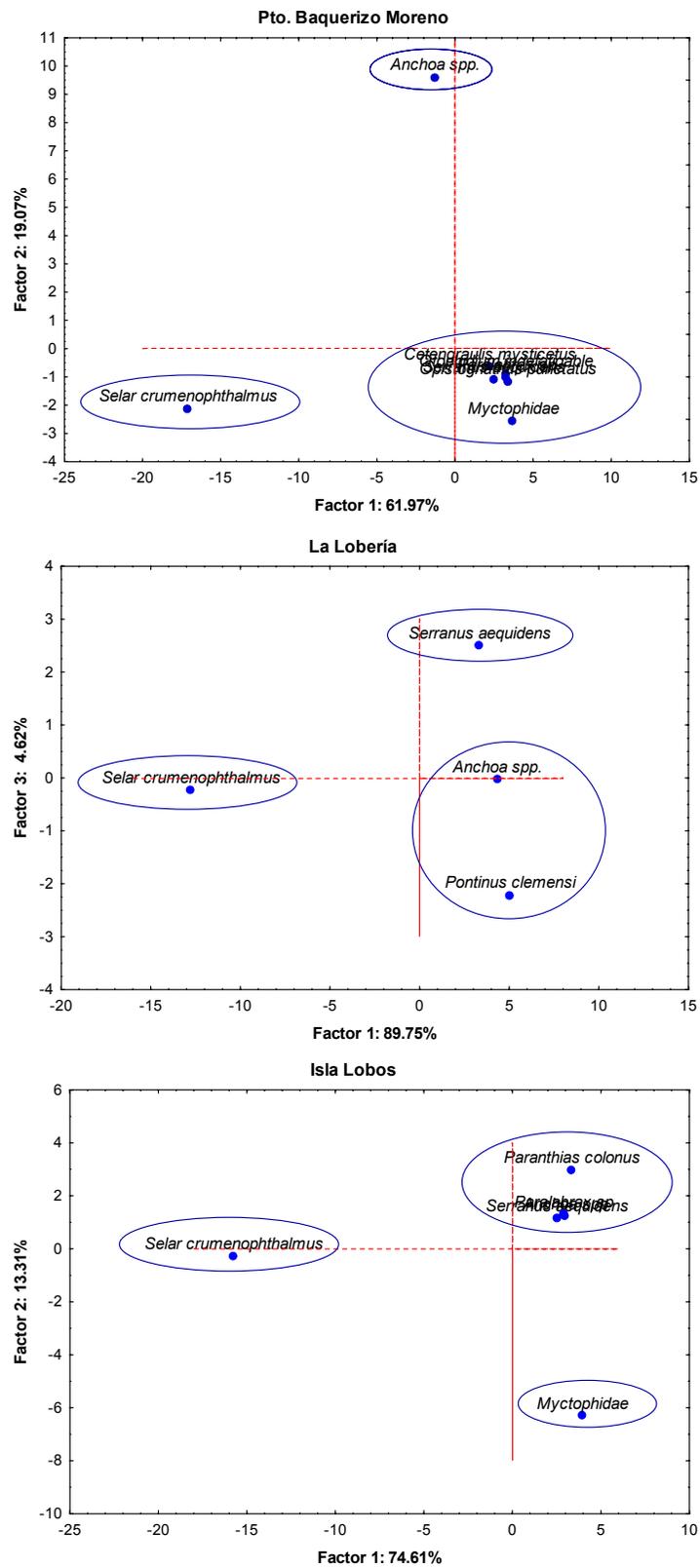


Figura 11. ACP con base en el índice de importancia (IIMPI) de las presas encontradas en las colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.

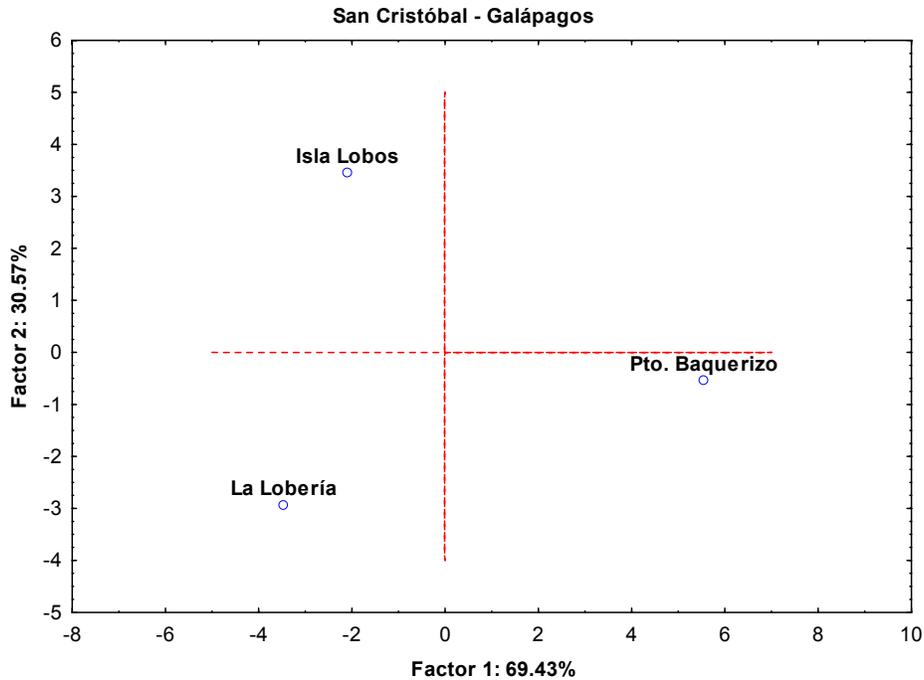


Figura 12. ACP con base en el índice de importancia (IIMPI) encontrado en las presas presentes en las tres colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.

7.2.5 Amplitud trófica

Para determinar la amplitud trófica de *Zalophus wolfebaeki*, en las diferentes colonias, se aplicó el Índice de Levin, el cual reflejó algunas diferencias entre colonias. Mientras que en Puerto Baquerizo e isla Lobos la dieta tuvo amplitudes similares y cercanas a 0.5, La Lobería mostró una amplitud relativamente baja. El valor promedio de la amplitud trófica para la región de San Cristóbal fue de 0.37 lo que lo ubica como un depredador especialista, con preferencia en un grupo específico de presas (Tabla III).

Tabla III. Amplitud trófica de las colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.

Colonias Reproductoras	Índice de Levin
Pto. Baquerizo	0.5
La Lobería	0.16
Isla Lobos	0.45
Promedio	0.37

7.2.6 Nivel trófico

El nivel trófico de las 3 colonias se determinó a partir de todas las presas que conformaron la dieta de *Zalophus wollebaeki* en cada uno de los sitios. Tomando en cuenta este criterio y aplicando el Índice de Christensen & Pauly (1992) se obtuvieron valores muy semejantes entre colonias y un valor promedio de 4.5 global, lo que ubica a esta especie como un depredador carnívoro secundario terciario (Tabla IV).

Tabla IV. Nivel trófico asignado al lobo marino de Galápagos durante la temporada reproductiva 2006.

Colonias Reproductoras	Nivel Trófico
Pto. Baquerizo	4.3
La Lobería	4.6
Isla Lobos	4.6
Promedio	4.5

7.2.7 Omnivoría

En cuanto al Índice de Omnivoría se obtuvo en promedio un valor de 0.52 indicando de forma general que el lobo marino de Galápagos se alimenta de presas de distintos niveles tróficos. De manera particular observamos que Puerto Baquerizo presentó el valor más alto ($OI = 0.8$), por lo que se asume que es la colonia que se alimenta de un mayor número de presas de diferentes niveles tróficos, resultado que coincide con el espectro trófico encontrado en dicha colonia (Tabla V).

Tabla V. Valor de omnivoría asignado al lobo marino de Galápagos durante la temporada reproductiva 2006.

Colonias	Índice de Omnivoría
Pto. Baquerizo	0.8
La Lobería	0.4
Isla Lobos	0.35
Promedio	0.52

7.2.8 Sobreposición trófica

A partir del Índice de Morisita-Horn se determinó si las colonias presentan un grado de superposición trófica entre ellas. Teniendo como resultado que entre Puerto Baquerizo-La Lobería no existe sobreposición ($CA < 0.29$), sin embargo entre Isla Lobos-Puerto Baquerizo, La Lobería; se obtuvieron valores mayores a 0.29, lo cual indica que presentan una sobreposición trófica baja (Tabla VI).

Tabla VI. Grado de superposición trófica entre las colonias de lobo marino de Galápagos de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.

	Pto. Baquerizo	La Lobería	Isla Lobos
Pto. Baquerizo	X	0.27	0.36
La Lobería		X	0.45
Isla Lobos			X

7.3 Análisis de isótopos estables

7.3.1 Variación isotópica dentro de las colonias

Durante la temporada reproductiva del 2006 se obtuvieron 142 muestras de pelo y 142 muestras de piel de crías de *Zalophus wollebaeki*, de diferentes edades de las tres colonias estudiadas en la Isla San Cristóbal.

Las crías fueron pesadas para poder estimar su edad aproximada con base en la tasa de crecimiento (108 gr/día) reportada para esta especie (Trillmich, *et al.*, 2007), una vez obtenidos estos datos comparamos los valores promedio y desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ encontrados en las crías de diferentes edades de cada una de las colonias (Tabla VII y Fig. 13).

Tabla VII. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) de muestras de pelo de crías de *Zalophus wollebaeki*, de tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal.

Colonias	Edad	Nº Muestras	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Pto. Baquerizo	1 mes	6	12.85 \pm 0.62	-16.24 \pm 0.25
	2 meses	11	13.29 \pm 0.55	-16.20 \pm 0.56
	3 meses	13	13.03 \pm 0.58	-16.25 \pm 0.32
	4 meses	20	13.15 \pm 0.46	-16.42 \pm 0.30
	5 meses	6	12.84 \pm 0.23	-16.63 \pm 0.20
	6 meses	4	12.88 \pm 0.09	-16.47 \pm 0.33
La Lobería	1 mes	1	12.36	-16.26
	2 meses	1	13.36	-16.21
	3 meses	9	13.26 \pm 0.61	-16.30 \pm 0.46
	4 meses	8	12.88 \pm 0.49	-16.41 \pm 0.28
	5 meses	2	13.18 \pm 0.77	-16.02 \pm 0.31
	6 meses	1	12.84	-16.59
Isla Lobos	R/N	4	13.20 \pm 0.14	-16.60 \pm 0.12
	1 mes	18	13.15 \pm 0.61	-16.14 \pm 0.52
	2 meses	12	13.30 \pm 0.62	-16.21 \pm 0.44
	3 meses	13	12.95 \pm 0.26	-16.47 \pm 0.12
	4 meses	11	12.80 \pm 0.38	-16.51 \pm 0.22
	5 meses	2	13.27 \pm 0.30	-16.26 \pm 0.16
TOTAL		142		

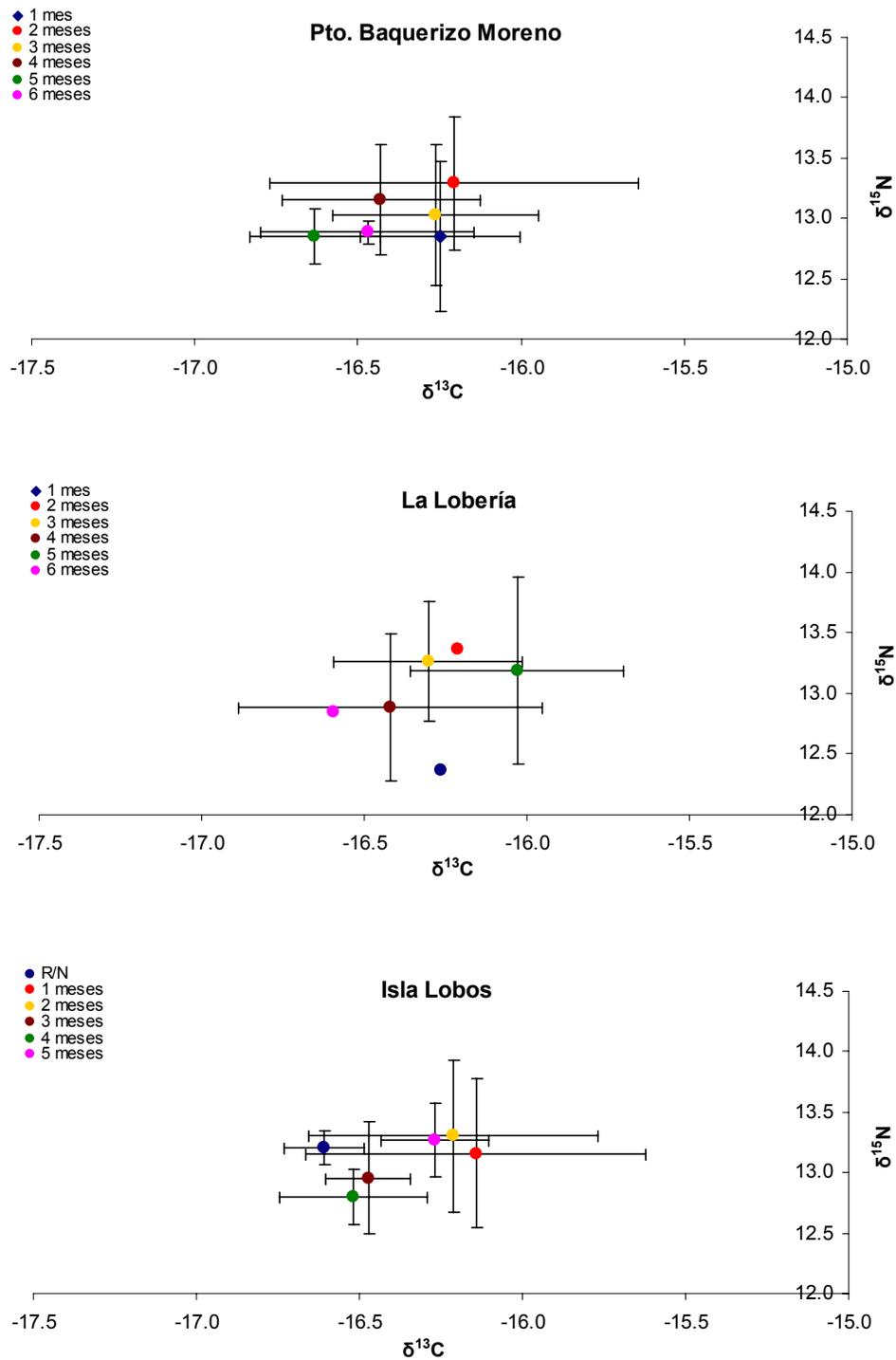


Figura 13. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en pelo de crías de diferentes edades de las colonias de la Isla San Cristóbal.

En las colonias de Puerto Baquerizo Moreno y La Lobería se capturaron crías de 1 a 6 meses, no encontrándose diferencias significativas entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para los diferentes grupos de edad (Puerto Baquerizo ANOVA: $F(5,54) = 1.17$, $p > 0.05$ y $F(5,54) = 1.64$, $p > 0.05$ respectivamente) y (La Lobería ANOVA: $F(5,16) = 0.77$, $p > 0.05$ y $F(5,16) = 0.44$, $p > 0.05$ respectivamente) (Fig.14 y 15).

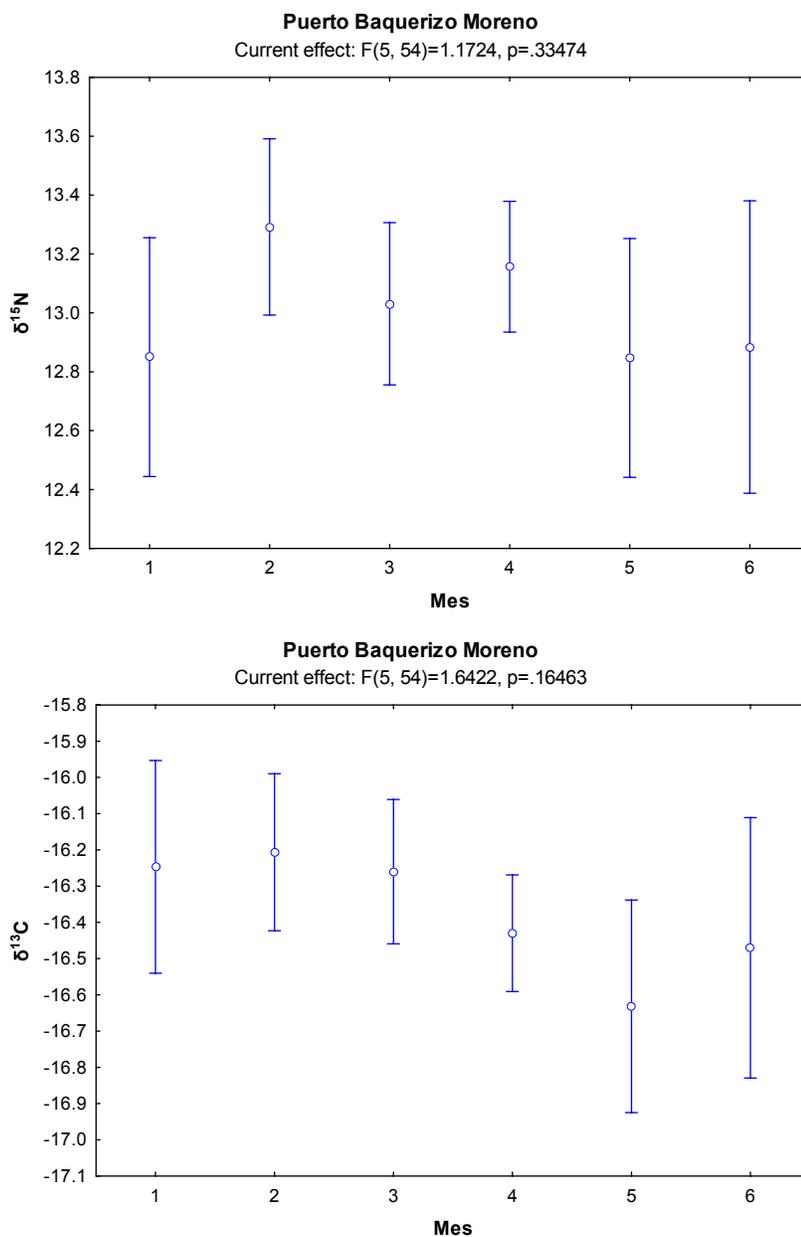


Figura 14. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm SD en ‰) de crías de diferentes edades en la colonia de Puerto Baquerizo Moreno.

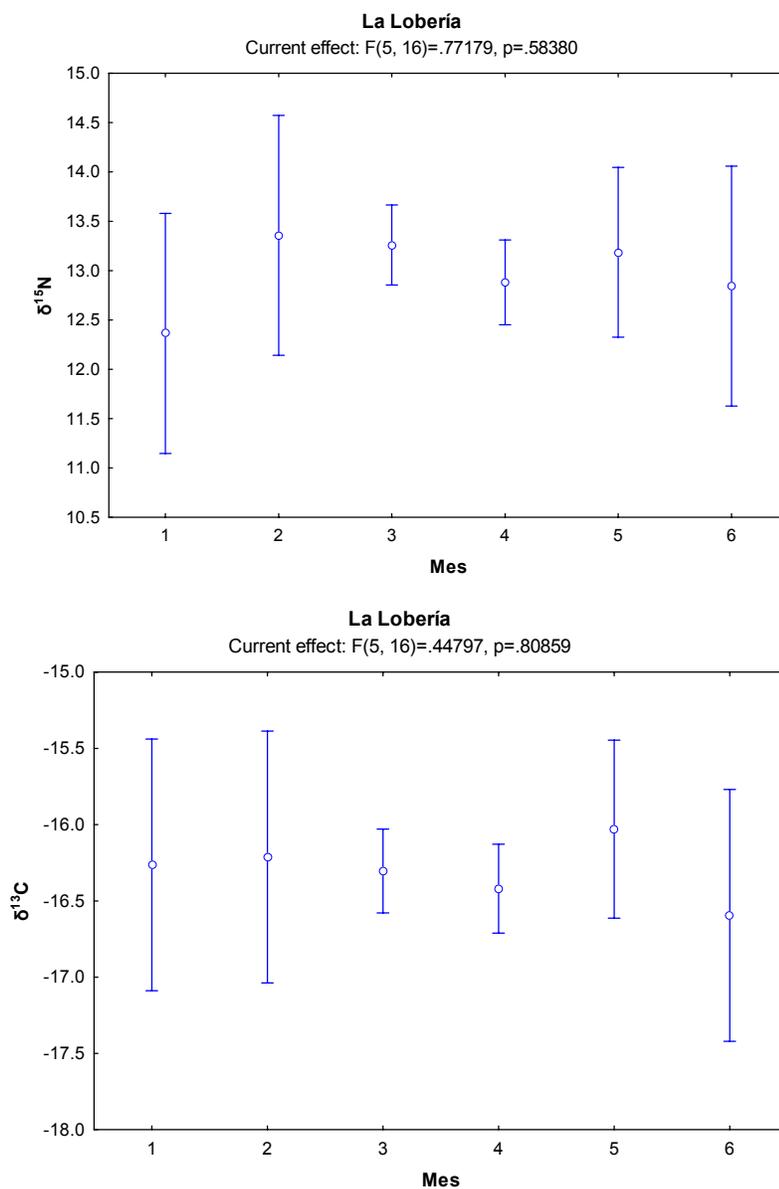


Figura 15. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm SD en ‰) de crías de diferentes edades en la colonia de La Lobería.

Isla Lobos fue el único lugar donde se logró capturar crías desde recién nacidas hasta los 5 meses; no se encontró diferencias en los valores de $\delta^{15}\text{N}$, sin embargo a diferencia de las otras colonias si observamos diferencias significativas en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA: F (5,54) = 1.55, $p > 0.05$ y F (5,54) = 2.52, $p < 0.05$ respectivamente) (Fig. 16). La prueba *posteriori* de Fisher LSD mostró que las crías recién nacidas (0) tuvieron valores isotópicos diferentes a las crías de 1 mes y a su vez las de 1 mes a las de 3 y 4 meses (Tabla VIII).

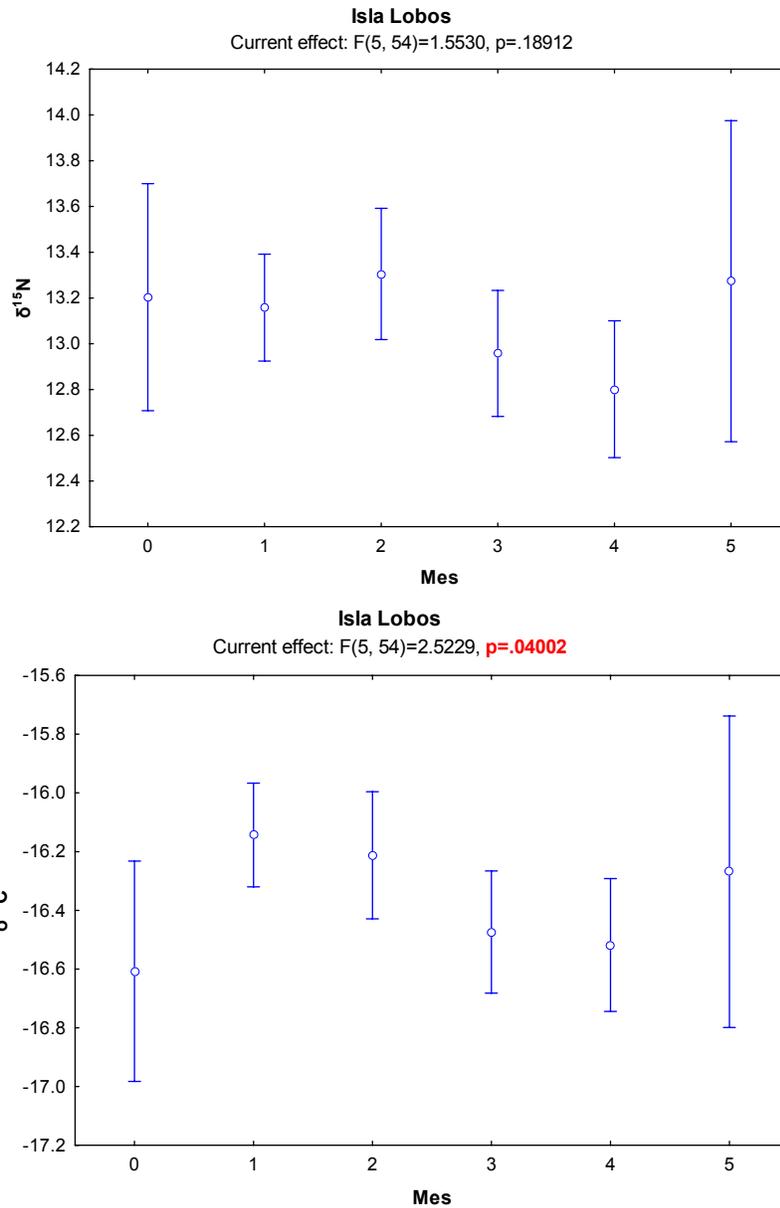


Figura 16. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm desviación estándar en ‰) de crías de diferentes edades en la colonia Isla Lobos.

Tabla VIII. Diferencias en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de crías de diferentes edades de la colonia Isla Lobos, (prueba de Fisher LSD). Edades diferentes ($p < 0.05$) marcadas con rojo.

Edad (meses)	R/N	1	2	3	4	5
R/N	-16.61	-16.14	-16.21	-16.47	-16.52	-16.27
1	0.028948					
2	0.073073	0.621512				
3	0.534406	0.018646	0.086973			
4	0.684598	0.011446	0.055509	0.772418		
5	0.300263	0.655210	0.845419	0.473527	0.389169	

7.3.2 Variación isotópica entre las colonias

No se observaron diferencias significativas entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en pelo de crías de las tres colonias (ANOVA: $F(2,71) = 1.65$, $p > 0.05$ y $F(2,71) = 1.62$, $p > 0.05$ respectivamente) (Fig. 17).

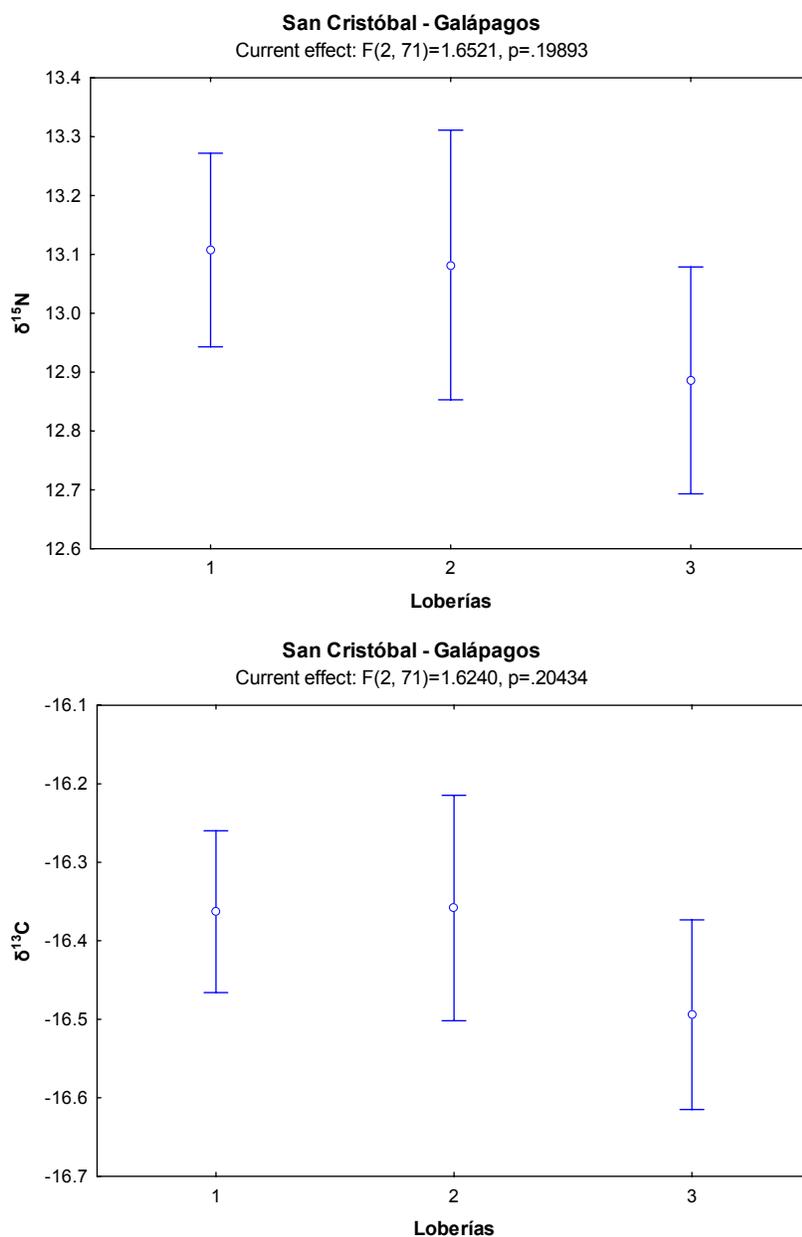


Figura 17. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm desviación estándar en ‰) de crías de diferentes colonias de la Isla San Cristóbal (1. Pto. Baquerizo, 2. La Lobería y 3. Isla Lobos).

7.3.3 Diferencias isotópicas entre tejidos

Se midieron los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en 30 muestras de piel, (30 crías; 10 de Puerto Baquerizo, 10 de La lobería y 10 de Isla Lobos) con el fin de establecer si existen diferencias significativas con la señal isotópica reflejada en el pelo del mismo individuo, dado que la tasa de recambio isotópico entre tejidos podría ser distinta. No se observaron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ medidos en piel y pelo (ANOVA: $F(1,58) = 2.53$, $p > 0.05$ y $F(1,58) = 0.10$, $p > 0.05$ respectivamente) (Fig. 18).

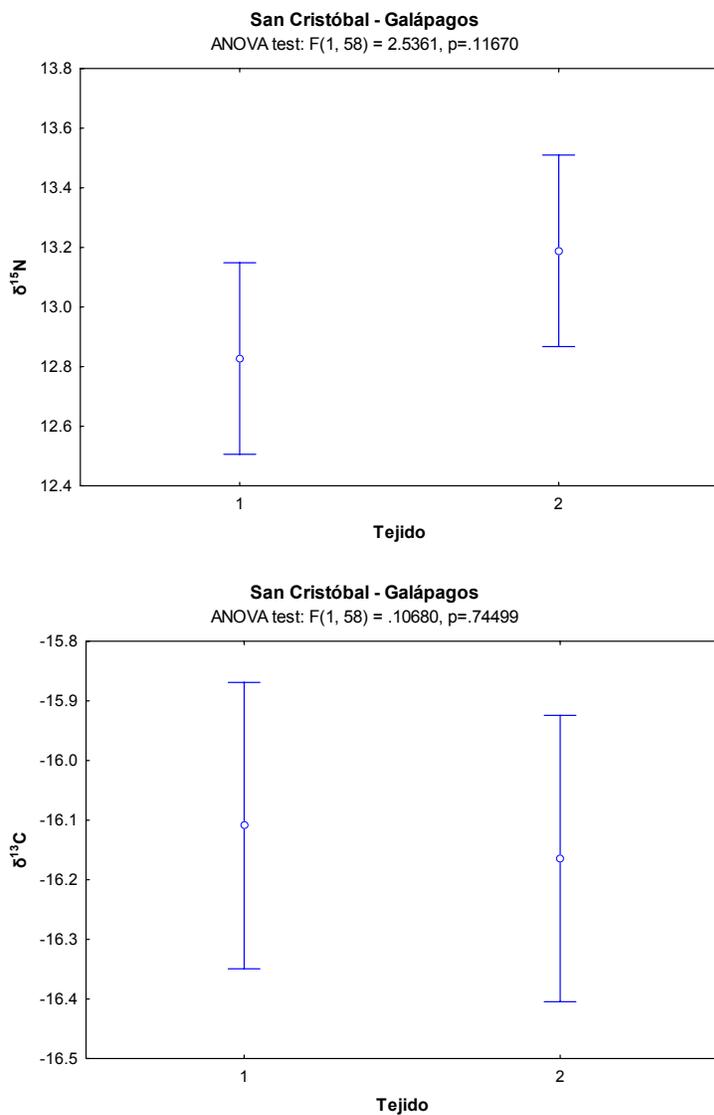


Figura 18. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (ANOVA, promedio \pm SD en ‰) en piel y pelo de crías de diferentes colonias de la Isla San Cristóbal (1. Piel y 2. Pelo).

7.3.4 Nivel y Amplitud trófica

Para obtener el valor de nivel trófico de cada colonia a partir de los isótopos estables utilizamos los algoritmos propuestos por Vander-Zanden (1997) y Post (2002). El primero dio como resultado un valor promedio de 4.1, mientras que el segundo 3.9 (Tabla IX), ambos resultados ubican a *Zalophus wollebaeki* como un depredador carnívoro secundario terciario.

Tabla IX. Nivel trófico asignado al lobo marino de Galápagos por medio de la señal isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ durante la temporada reproductiva 2006.

Colonias	Vander-Zanden (1997)	Post (2002)
Pto. Baquerizo	4.1	3.9
La Lobería	4.1	3.9
Isla Lobos	4.1	3.9
Promedio	4.1	3.9

En el caso de la amplitud trófica estimada con base en valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (Bearhop, 2004), se realizó un Análisis de Varianza para determinar diferencias entre la señal promedio de las tres colonias, teniendo como resultado que no existen diferencias significativas (ANOVA: $F(2,71) = 1.62$, $p > 0.005$), por lo que si se sigue este criterio, se considera a *Zalophus wollebaeki* como una especie oportunista.

8. DISCUSION

8.1 Composición de la dieta

La dieta del lobo marino de Galápagos *Zalophus wollebaeki* reportada para este estudio estuvo compuesta en un 99.9% de peces, resultado similar al obtenido por Dellinger y Trillmich en 1999, los cuales enfocaron su estudio en la isla Fernandina, la cual esta ubicada al otro extremo del archipiélago. Se sabe, sin embargo que estos pinnípedos complementan su alimentación con cefalópodos, aunque en un porcentaje muy bajo (Salazar, 1999; Salazar, 2005). Al parecer se podría estar subestimando los cefalópodos debido a que no aparecen en las excretas aunque hayan sido ingeridos, ya que son retenidos en el tracto digestivo y posteriormente regurgitados, afectando su nivel de importancia en la dieta (Dellinger & Trillmich, 1999; Clarke & Trillmich, 1980; Salazar, 2005). Sin embargo no se conoce el grado de subestimación debido a este proceso; por ejemplo en el Golfo de California existen colonias que muestran índice de importancia en consumo de cefalópodos de 30% (García-Rodríguez & Aurióles, 2004), por lo que la regurgitación sola no explica la ausencia o presencia de cefalópodos en la dieta de estas especies. Es posible que los animales regurgiten picos de cefalópodos grandes que no puedan pasar por el resto del tracto digestivo, sin embargo este no es el caso ya que no es muy común la presencia de cefalópodos de tallas grandes en la zona (observación personal), por lo tanto es posible esperar que el consumo de cefalópodos de talla menor, no sea regurgitado y aparezcan en las excretas, como es el caso de muchos estudios. En este sentido la escasa presencia de picos en las colonias de Isla San Cristóbal, sugiere que su consumo fue realmente limitado durante el periodo de estudio.

Existieron diferencias con respecto al espectro alimentario entre colonias, sin embargo resalta el hecho de que una presa fue común e importante en las tres loberías. El “ojón” (*Selar crumenophthalmus*), pez de la familia Carangidae, presenta hábitos pelágico-costeros con tendencia a agruparse en pequeños y

grandes cardúmenes cerca de la costa, lo que lo convierte en una presa altamente disponible para todas las colonias del área. Este resultado se diferencia notablemente de lo encontrado en estudios anteriores que mencionan a la “sardina” (*Sardinops sagax*) como la principal presa de *Z. wollebaeki* (Salazar, 1999; Dellinger & Trillmich, 1999; Salazar & Bustamante, 2003; Salazar, 2005).

Las diferencias en el consumo de sardinas entre épocas o sitios puede deberse a las extensas migraciones de estos peces en busca de zonas de surgencias y alta productividad primaria donde encuentran su alimento (Lluch-Cota, *et al.*, 1997). En el Archipiélago de Galápagos existen varias regiones que presentan una productividad primaria anual elevada (10-30 mg Chla m⁻³), entre las cuales esta la zona sur de la Isla San Cristóbal; sin embargo esta producción se presenta en eventos esporádicos intensos de corta duración que contrastan con su productividad baja típica (1-5 mg Chla m⁻³) (Banks, 2002). Esto se debe a la influencia que ejerce la Corriente Submarina Ecuatorial (Corriente de Cromwell) en ciertos puntos de las islas, generando zonas de surgencia en sitios muy cercanos a la costa (Feldman, 1985; Banks, 2002; Palacios, *et al.*, 2006).

Puerto Baquerizo presentó el espectro alimentario más amplio de los tres sitios, el cual a su vez estuvo compuesto de tres dietas distintas; la primera formada por la principal presa de la zona, el “ojón” (*Selar crumenophthalmus*), la segunda por la “anchoa” (*Anchoa spp*), y la tercera más diversificada compuesta por peces de varias familias (Engraulidae, Myctophidae, Ophidiidae, Ophisthognathidae y Serranidae) (Fig. 19). No hay reportes previos del espectro alimentario de esta colonia, sin embargo se ha mencionado de manera anecdótica que los peces de la familia Clupeidae (sardinas) son las presas principales del lobo marino de Galápagos (Salazar, 1999; Dellinger & Trillmich, 1999; Salazar, 2005), los cuales poseen características muy similares a los de la familia Engraulidae. Se conoce que existe un régimen decadal de alternancia en la abundancia y distribución de la sardina y la anchoveta tanto en el hemisferio norte como en el hemisferio sur, probablemente relacionado al sistema de corrientes de

cada región, las cuales influyen en el cambio de temperatura del océano (McFarlane, *et al.*, 2002). Por tanto una explicación a las diferencias encontradas en los hábitos alimentarios entre las pocas investigaciones existentes puede ser el periodo del año en que se realizaron los estudios (épocas cálidas o frías).

En La Lobería también se registró la presencia de tres dietas, la primera al igual que en Puerto Baquerizo, compuesta por el pez “ojón” (*Selar crumenophthalmus*), la segunda por el pez “serrano” (*Serranus aequidens*), el cual habita en zonas costeras y arrecifes rocosos de poca o gran profundidad, generalmente tienden a formar cardúmenes diurnos sobre las superficies rocosas convirtiéndose en una presa potencial para ciertos depredadores, y la tercera compuesta por los peces “brujo” (*Pontinus clemensi*) y “anchoa” (*Anchoa ssp*) (Fig. 19). Estos resultados difieren en parte de los obtenidos por Salazar-Pico (2005), quien encontró que las familias Clupeidae y Serranidae co-dominaron la dieta de esta colonia durante los años 1998, 1999 y 2001.

En Isla Lobos, al igual que en las colonias anteriores se presentaron tres dietas distintas; la primera compuesta por *Selar crumenophthalmus*, la segunda por peces de la familia Myctophidae, que habitan en aguas profundas durante el día y migran a la superficie durante la noche (Nelson, 1994), y la tercera por especies de la familia Serranidae: “camotillo” (*Paralabrax sp.*), “gringo” (*Paranthias colonus*) y *Serranus aequidens*, los cuales se encuentran en ambientes rocosos (Fig. 19). La presencia de estas presas se relaciona con lo reportado por Salazar en el 2005 donde menciona a estas familias como las más importantes dentro de la dieta en esta colonia durante los años 1997 al 2001.

La presencia de esta diversificación de dietas dentro de cada colonia se relaciona con lo encontrado por Villegas, *et al.* (en prensa), la cual por medio de telemetría satelital (marcas satelitales y TDR4) observo que hembras de *Z. wollebaeki* de una misma colonia (Caamaño – Santa Cruz) presentan estrategias alimentarias diferentes (epipelágica, mesopelágica y bentónica).

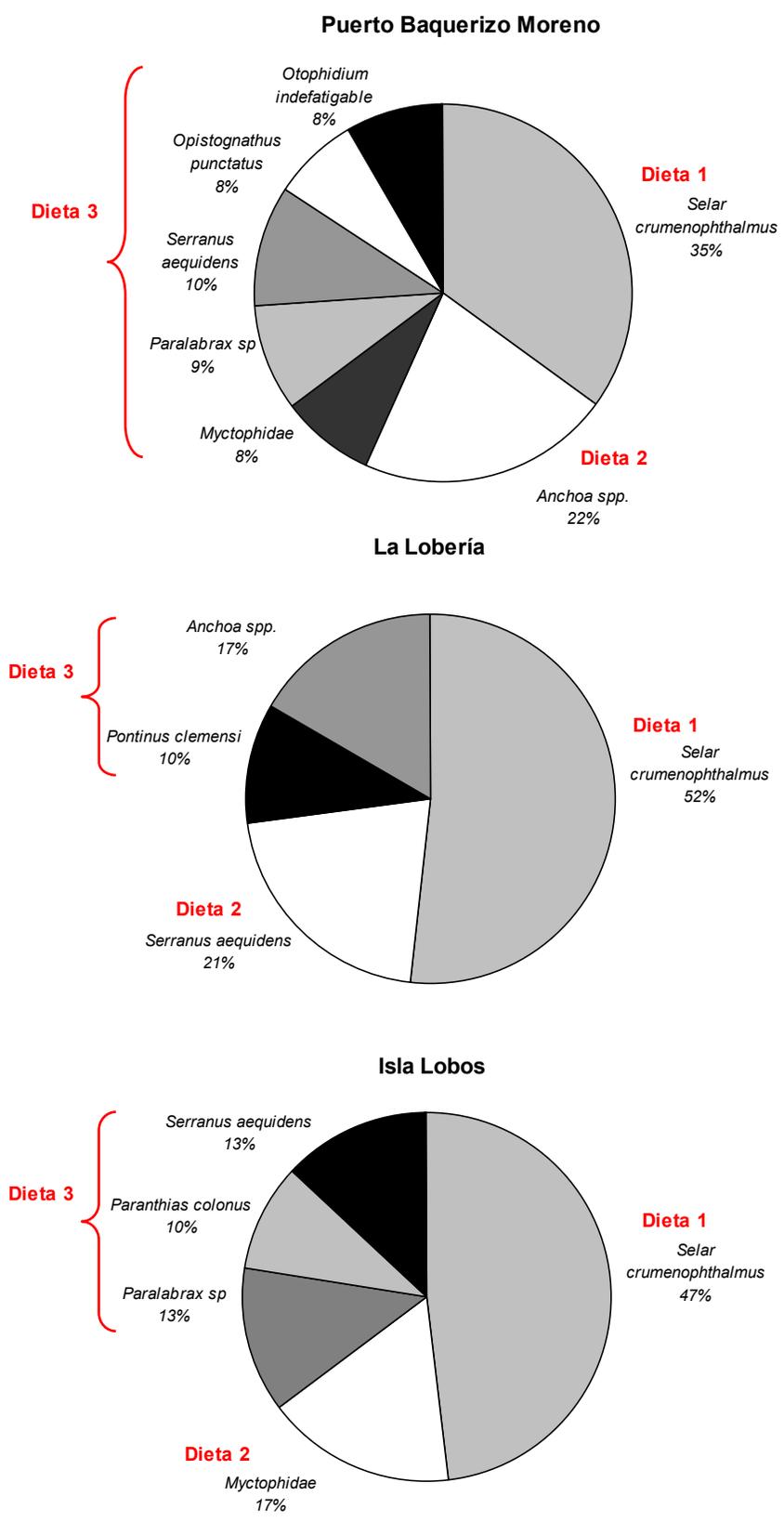


Figura 19. Porcentaje total de las presas presentes en la dieta en las tres colonias reproductivas de la isla San Cristóbal durante el 2006.

Relacionando los buceos no muy alejados de la costa, de poco tiempo y a una profundidad superficial con un forrajeo epipelágico, buceos de mayor tiempo cerca del fondo y a mayor profundidad con un forrajeo bentónico y los buceos muy profundos (>200 m) los cuales no eran siempre a la misma profundidad, descartando así la posibilidad que se estén alimentando del bentos, se los relaciono con un tipo de forrajeo mesopelágico.

Estas estrategias de forrajeo se ajustan perfectamente a las dietas encontradas en cada una de las colonias, las cuales constan de: 1) especies epipelágicas como el “ojón” (*Selar crumenophthalmus*) y la “anchoa” (*Anchoa spp*), los cuales tienden agruparse en pequeños o grandes cardúmenes ubicados en aguas superficiales muy cercanas a la costa, 2) especies mesopelágicas como la Familia Myctophidae, los cuales se encuentran tanto en aguas profundas (200–1000 m) como en aguas superficiales debido a sus migraciones verticales durante la noche, 3) especies bentónicas como: “serrano” (*Serranus aequidens*), “camotillo” (*Paralabrax sp*), “gringo” (*Paranthias colonus*), “brujo” (*Pontinus clemensi*), “congriperla” (*Otophidium indefatigable*), entre otros, los cuales habitan en fondos arenosos y arrecifes rocosos cercanos a la costa (Fig. 20). Esta variabilidad en la dieta refleja que estos organismos se están adaptando a estrategias alimentarias diferentes con la finalidad de optimizar su esfuerzo de alimentación, ya que se encuentran en un hábitat marginal, el cual no les ofrece las condiciones ideales para su permanencia.

Al comparar la dieta entre las colonias se observo que hubo una tendencia a compartir la presa más importante el pez “ojón” (*Selar crumenophthalmus*), sin embargo existieron diferencias con respecto a las presas complementarias, lo que derivó en la formación de dietas distintas para cada lobería. Esta variación de presas en cada sitio podría atribuirse en parte a las características del hábitat de cada colonia, sin embargo esta hipótesis no es tan válida debido a la gran cercanía entre ellas.

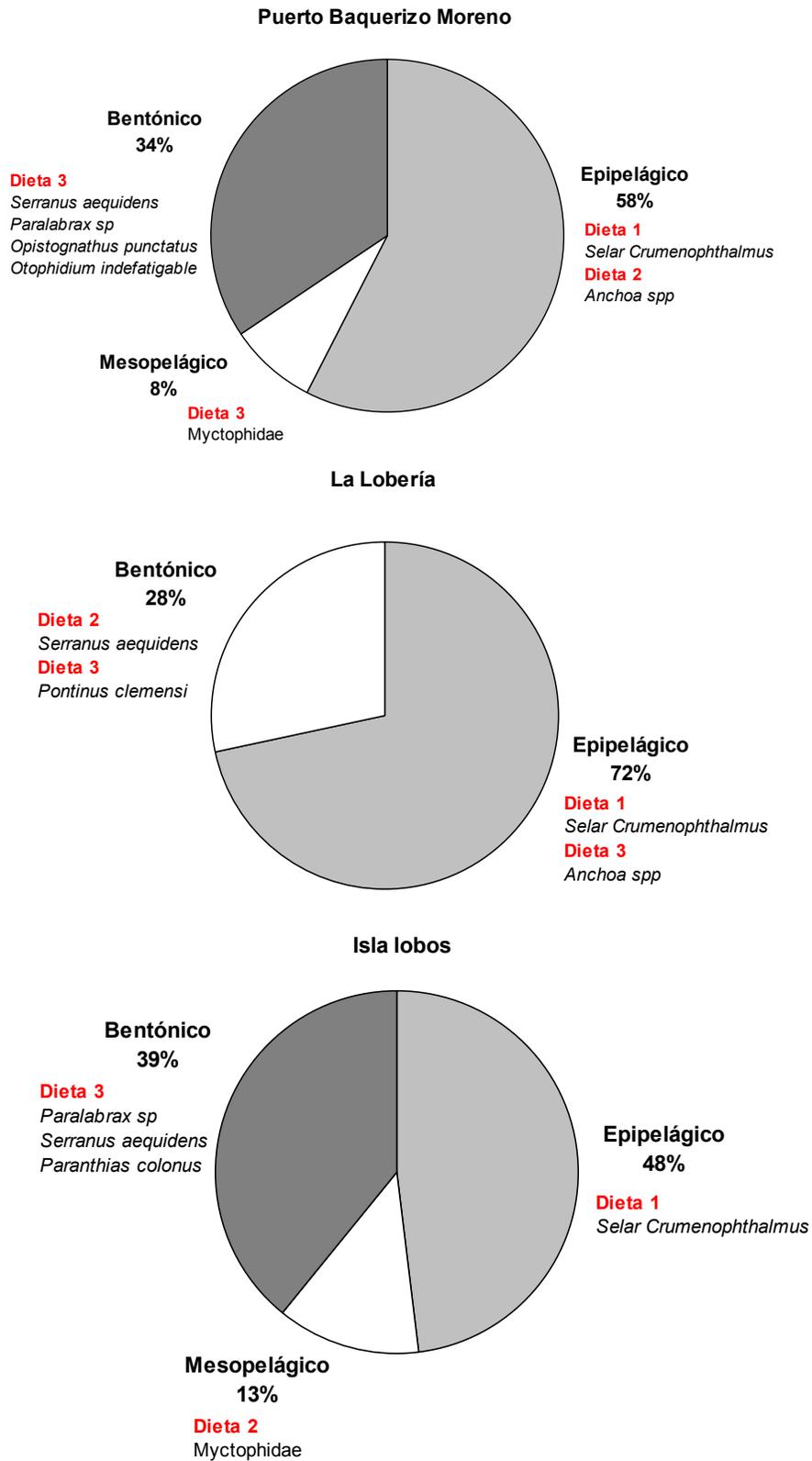


Figura 20. Estrategias de forrajeo presentes en la dieta de las colonias reproductivas de la isla San Cristóbal durante el 2006.

8.2 Variación isotópica entre sitios

Se analizó la señal isotópica del pelo, ya que es un tejido metabólicamente inerte, el cual posee información fisiológica (aportes alimenticios) de los organismos durante su crecimiento (Darimont & Reimchen, 2002). Se conoce que la formación del pelo en los otáridos ocurre en el último mes de gestación (Bauer, *et al.*, 1964), con base a esto, se considera que el pelo colectado de las crías brindara información de la alimentación de la madre, integrada a los últimos dos a tres meses, dependiendo la edad de las crías y la tasa de crecimiento del pelo de estos organismos, la cual se asume que es similar a la reportada para los mamíferos en general (0.8 cm./mes) (De Villez, 2006).

Es importante estudiar a las hembras ya que estas representan gran parte de la población en estas loberías (55.5%), a su vez permanecen mucho tiempo en las colonias, lo cual restringe su alimentación al área donde habitan, permitiendo comparar las estrategias alimentarias de los individuos de cada colonia. Sin embargo, para poder ajustar perfectamente los valores de las crías directamente a los valores de las hembras, sería necesario tener el valor de fraccionación isotópica entre crías y hembras para esta especie en particular.

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en las tres colonias fueron muy similares (Fig. 21), por lo que no se encontraron diferencias significativas (ANOVA: $F(2,71) = 1.65$, $p > 0.05$ y $F(2,71) = 1.62$, $p > 0.05$ respectivamente), obteniendo un valor promedio global para la región de $\delta^{15}\text{N} = 13.09 \pm 0.62$; y $\delta^{13}\text{C} = -16.33 \pm 0.48$, lo cual indica que estos animales se estuvieron alimentando sobre el mismo nivel trófico y en las mismas zonas, estos resultados podrían resultar lógicos, ya que la distancia que separa las colonias es menor al radio promedio de viajes de alimentación reportado para esta especie (23 millas). Sin embargo Isla Lobos presentó la señal más alta de $\delta^{15}\text{N}$, lo cual se ajusta perfectamente a su espectro trófico el cual fue definido mediante el análisis de excretas, donde varias de sus presas pertenecieron a la familia Serranidae (*Serranus aequidens*, *Paralabrax sp* y

Paranthias colonus), los cuales son peces principalmente carnívoros. En el caso de $\delta^{13}\text{C}$ los valores fueron muy semejantes lo cual no sorprende dado la cercanía entre las colonias, en vista ya que existe una correlación positiva entre los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y la cantidad de materia orgánica particulada y fitoplancton presentes en el lugar (Goericke & Fry, 1994).

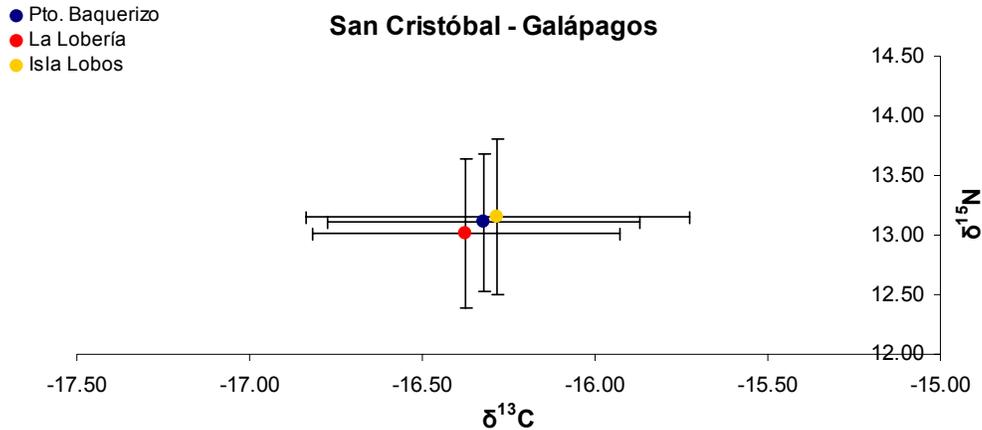


Figura 21. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) de crías de las colonias reproductoras de la isla San Cristóbal.

En un estudio más reciente (Aurioles, *et al.*, en preparación), en el cual se obtuvo la señal isotópica del pelo de crías de *Zalophus wollebaeki* presentes en las colonias de la Isla San Cristóbal, en el cual reportan valores promedio de $\delta^{15}\text{N} = 13.23 \pm 0.53$ y $\delta^{13}\text{C} = -16.09 \pm 0.67$, los cuales se asemejan en gran parte a los encontrados en el presente estudio ($\delta^{15}\text{N} = 13.07 \pm 0.52\text{‰}$ y $\delta^{13}\text{C} = -16.34 \pm 0.37\text{‰}$); señalando a su vez a la colonia de Isla Lobos como la colonia que presenta la mayor señal isotópica de la zona. Comparando los resultados con los reportados por Wolf, *et al.*, (en revisión) para la zona centro sur del archipiélago, se observa que existen mínimas diferencias ($\delta^{15}\text{N} = \sim 13\text{‰}$ y $\delta^{13}\text{C} = \sim -16\text{‰}$), las cuales podrían estar influenciada por la distribución geográfica de las colonias. Se ha encontrado diferencias marcadas entre las señales isotópicas de $\delta^{15}\text{N}$ de las zonas sur, sur-este y centro del archipiélago, más no entre las zonas sur-este y centro, mientras que para $\delta^{13}\text{C}$ se encontraron diferencias significativas entre las zonas sur sur-este y centro (Aurioles, *et al.*, en preparación), las cuales podrían

deberse a que el tamaño de muestras y el número de colonias muestreadas fue diferente para cada zona.

Otro factor que pudiera influir en estas diferencias sería el lugar donde estas poblaciones dirigen sus viajes de alimentación, ya que existe una correlación positiva entre los niveles de $\delta^{13}\text{C}$ y la cantidad de materia orgánica particulada, fitoplancton y temperatura en las diferentes partes del mundo (Goericke & Fry, 1994), particularmente en el Océano Pacífico Oriental (Gruber & Sarmiento, 1997; Altabet, *et al.* 1999, Voss, *et al.* 2001). Estos factores se ajustan perfectamente con las Islas Galápagos, las cuales a pesar de estar localizadas en aguas ecuatoriales (oligotróficas), tiene condiciones locales de alta productividad, debido al “efecto isla” el cual es producido por la combinación de las corrientes que circulan por el lugar y las surgencias que estas provocan en la zona, las cuales producen una elevada producción de fitoplancton, principalmente en el lado occidental del archipiélago, cubriendo un área aproximada de 25.000 Km². (Feldman, 1986; Palacios, 2002; Palacios, *et al.*, 2006).

8.3 Variación isotópica entre edades

De acuerdo a la tasa de crecimiento de las crías de Galápagos reportada por Trillmich y Wolf en el 2007 (108 g/día para ambos sexos), se pudo asignar la edad aproximada a cada individuo muestreado, lo que permitió establecer intervalos de edad a la muestra con el fin de explorar posibles cambios de en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ desde el nacimiento hasta los 6 meses de edad.

En Puerto Baquerizo y La Lobería la señal isotópica no varió significativamente, por lo que se asume que las hembras que habitan estas colonias mantuvieron estrategias de forrajeo similares a lo largo del último mes de gestación y los primeros meses posteriores al nacimiento de sus crías, ya que los cachorros capturados en estas colonias estuvieron entre 1 y 6 meses. Mientras que en Isla Lobos si bien no se encontraron diferencias significativas para los

valores de $\delta^{15}\text{N}$, si los hubo para $\delta^{13}\text{C}$, lo que refleja que las hembras de esta colonia se alimentaron sobre presas del mismo nivel trófico, pero claramente en al menos dos zonas de alimentación. Esta diferencia también pudo estar influenciada por el hecho de que en esta colonia se capturaron crías recién nacidas, que pudieron tener información isotópica de al menos 2 meses antes a su nacimiento. Aunado a esto, la gran amplitud de edades en el sitio, incluyó también animales de mayor edad cuya señal isotópica fue probablemente típica de la lactancia. La leche de los mamíferos marinos contiene grandes cantidades de grasa (lípidos) que a su vez poseen una señal enriquecida en ^{12}C los cuales van a enmascarar la señal de ^{13}C haciendo que sus valores sean más negativos (Hilderbrand *et al.*, 1996).

Como análisis adicional y para verificar el uso alternativo de la piel y el pelo, se determinó la señal isotópica en ambos tejidos, escogiendo un grupo de crías al azar. Los resultados señalan que no existen diferencias significativas entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 22). Con base en esto se podría pensar que es posible utilizar ambos tejidos en crías de lobo marino para el mismo propósito.

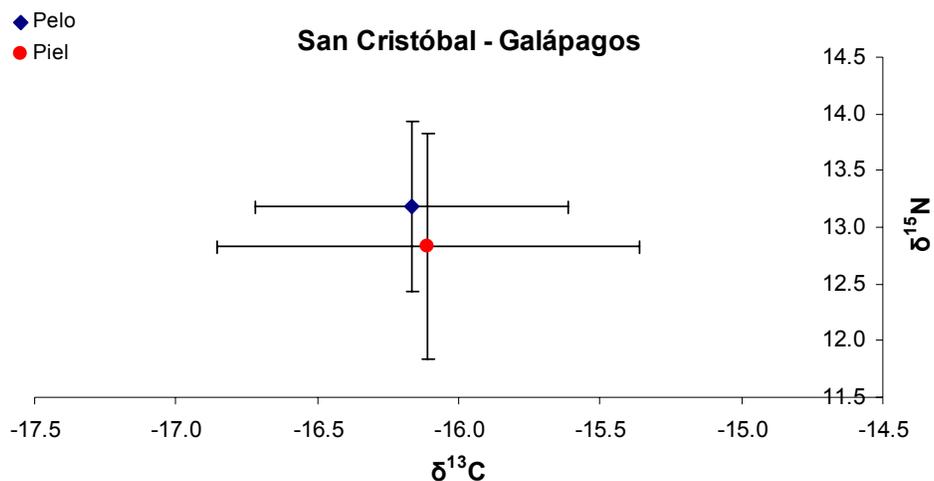


Figura 22. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm desviación estándar en ‰) medidos en piel y pelo de crías de diferentes colonias de la Isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva 2006.

8.4 Diversidad y Amplitud trófica

8.4.1 Análisis de excretas

Los lobos marinos de esta región consumen una variedad considerable de presas (35 especies), siendo Puerto Baquerizo y La Lobería las colonias que presentaron mayor y menor diversidad respectivamente (Tabla X). Estos valores son relativamente bajos, si se compara con lo encontrado por García-Rodríguez y Auriolés en el 2004, quienes trabajaron con su congénere, el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) el cual posee características biológicas y ecológicas muy similares; encontrando colonias en el Golfo de California que presentan valores ligeramente altos de diversidad durante los primeros meses del año (San Pedro Mártir, San Esteban, Rasito y Los machos), llegando a tener un espectro trófico de ~ 80 presas entre peces y cefalópodos, lo cual sobrepasa notablemente a lo encontrado en este estudio.

Durante mucho tiempo se señaló a los lobos marinos del género *Zalophus* como especies oportunistas (Antonelis & Fiscus, 1980; Salazar, 1999; Dellinger & Trillmich, 1999; Salazar, 2005), sin embargo en los últimos años varios estudios en *Zalophus californianus* han mostrado que, si bien el lobo marino de California se alimenta de una gran variedad de presas, este se enfoca en 2 ó 3 presas de manera principal, lo que hace que estas tengan un alto nivel de importancia dentro de su dieta, situación que se da también en el lobo marino de Galápagos. La aparente riqueza de especies en la dieta es engañosa ya que muchas de las especies tienen muy bajo nivel de importancia. Este hecho confirma que el lobo marino de Galápagos podría ser considerado como una especie de tipo “especialista plástico” al igual que su especie hermana *Zalophus californianus* (Lowry, *et al.*, 1990; Lowry *et al.*, 1991; Reynolds & Rommel, 1999; García-Rodríguez & Auriolés, 2004; Porras-Peters, 2004).

Mediante el índice de Levin (B_i), se determinó que en las tres colonias de *Zalophus wollebaeki* de la Isla San Cristóbal, presenta una dieta de tipo especialista (Tabla X), confirmando de esta manera que el lobo marino de Galápagos al igual que el lobo marino de California utiliza los recursos de manera desigual, ya que consume pocos recursos en mucha cantidad y un número considerable de especies en menor ocurrencia, confirmando de esta manera su categorización como un “especialista plástico”.

Este tipo de adaptaciones se debe a que usan esta estrategia como mecanismo de supervivencia para poder vivir en aguas subtropicales, las cuales presentan una productividad relativamente baja, lo que provocan que este tipo de organismos estén propensos a un estrés nutricional (Costa & Gales, 2003). A su vez se conoce que una disminución en la diversidad trófica de una especie puede causar efectos negativos en sus poblaciones, un ejemplo muy claro es lo ocurrido con el lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*) en Alaska, que sufrió una disminución considerable de su población asociado a un decremento en la diversidad de su dieta (Merrick *et al.* 1997).

Tanto los valores de amplitud trófica como los de diversidad fueron generalmente bajos para las tres colonias (Tabla X), por lo que es de esperarse que los lobos marinos de esta región estén concentrando su alimentación sobre pocas especies. Esta información sumada a factores importantes como su bajo tamaño poblacional y a su vulnerabilidad frente a eventos extremos como El Niño ubican a *Zalophus wollebaeki* como una especie a tomar en cuenta en los diferentes programas de conservación de las islas (Trillmich & Limberger, 1985, Salazar & Bustamante 2003, Salazar, 2005).

Tabla X. Riqueza específica (S), diversidad (H') y amplitud trófica (B_i) presente en las colonias de la isla San Cristóbal.

Sitio	S	H'	B_i
Pto. Baquerizo	34	2.33	0.5
La Lobería	16	1.66	0.16
Isla Lobos	20	2.02	0.45

8.4.2 Isótopos Estables

Comparando la varianza presente en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de un número significativo de muestras de una o varias colonias, es posible determinar la amplitud trófica de esa población. Si no existen diferencias en la varianza durante un lapso determinado de tiempo, la población puede considerarse como generalista, caso contrario se asigna como especialista (Bearhop, *et al.*, 2004). En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas entre las tres loberías, por lo que los datos isotópicos sugieren que *Zalophus wollebaeki* podría ser considerado como un depredador; conclusión que difiere de la obtenida mediante el análisis de excretas, la cual lo ubicó como una especie especialista (Tabla XI).

Tabla XI. Amplitud trófica con base en isótopos estables y análisis de excretas, encontrado en las colonias de la isla San Cristóbal.

Colonias	Bearhop, 2004 ($\sigma^2 \delta^{15}\text{N}$)	Levin (excretas)
Pto. Baquerizo	0.34	0.50
La Lobería	0.39	0.16
Isla lobos	0.46	0.45

Esta diferencia sobre la amplitud trófica de uno y otro método, puede deberse a varios factores. Bearhop, *et. al*; mencionan que para realizar este tipo de análisis se requiere información isotópica de un lapso grande de tiempo (años), situación que no se cumple en este estudio. Otro factor es la resolución que brinda cada técnica, donde el análisis de excretas se basa en el cómputo de especies, mientras que el análisis isotópico se basa en dos variables solamente, de modo que para detectar diferencias es necesario o tener un tamaño de muestra muy elevado o extenderlo el muestreo durante mucho tiempo. Situación similar se presentó en un estudio donde se utilizaron varias técnicas para determinar los hábitos alimentarios del lobo marino de California *Zalophus californianus* (Cupa-Cedillo, 2007), donde el análisis de isótopos estables resulto ser la técnica menos sensible para detectar diferencias en los hábitos alimentarios dentro de una población.

8.5 Omnivoría

El estudio de la omnivoría es útil cuando interesa medir no solo la complejidad de las interacciones tróficas, sino también conocer si estas involucran uno o más niveles tróficos. Las colonias con menor omnivoría fueron La Lobería e Isla Lobos ($OI = 0.4$ y 0.35 respectivamente) mientras que Puerto Baquerizo fue la que presentó el valor más alto ($OI = 0.8$). Esta tendencia fue consistente con la información de su espectro trófico, el cual estuvo conformado desde peces herbívoros primarios de niveles tróficos aproximados a 2.5, hasta depredadores tope con niveles tróficos de 4.5 o cercanos; mientras que en las otras colonias presentaron un espectro trófico más reducido, el cual estaba representado principalmente por peces de niveles tróficos similares ($TL = 3.5$ a 4.5). En la figura 23, se puede observar la relación entre la omnivoría de una población, su posición trófica y su valor promedio de $\delta^{15}N$, donde a mayor omnivoría, hay menor nivel trófico y baja señal de $\delta^{15}N$.

San Cristóbal - Galápagos

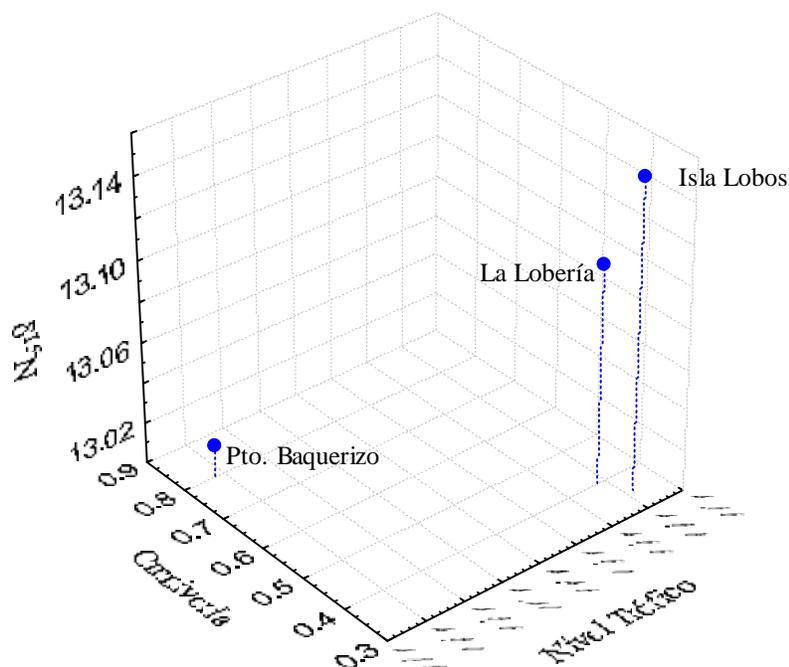


Figura 23. Relación entre nivel trófico, índice de omnivoría y el valor de $\delta^{15}N$ presentes en las tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal.

8.6 Plasticidad o flexibilidad en la dieta

Los niveles de plasticidad en la dieta de una población, indican la adaptabilidad que tienen estas especies para cambiar su tipo de alimentación como mecanismo de respuesta a posibles cambios en el medio, los cuales pueden causar un trastorno considerable en los hábitos alimentarios de estos pinnípedos. Es por este motivo que su estudio cobra gran relevancia ya que por medio de esta información se podría conocer como van a responder estas poblaciones a posibles cambios bruscos del ambiente como el evento ENOS (El Niño Oscilación Sur).

Con base en varias aproximaciones ecológicas desarrolladas durante este estudio (Diversidad, Riqueza específica, Amplitud trófica y Omnivoría) (Tabla XII) se logro conocer los niveles de plasticidad presentes en cada una de las colonias; para esto se estandarizo cada una de las variables en un valor que esta entre 0 a 1, por lo tanto la población que más se acerque a 1 será la que presente un mayor nivel de flexibilidad o plasticidad.

Tabla XII. Valores estandarizados (0 a 1) de diversidad, riqueza específica, Amplitud trófica y omnivoría, encontrado en las colonias de la isla San Cristóbal durante la temporada reproductiva del 2006.

Colonias	Diversidad	Riqueza Específica	Amplitud trófica	Omnivoría
Pto. Baquerizo	0.87	0.94	0.50	0.80
La Lobería	0.24	0.44	0.16	0.40
Isla Lobos	0.75	0.55	0.45	0.35

Puerto Baquerizo fue la colonia que presentó el valor mas alto de plasticidad (3.11), seguida de Isla Lobos (2.10) y La Lobería (1.24), reflejando de esta manera que es la población con mayores posibilidades de subsistencia, ya que tendría mayores posibilidades de adaptarse a un posible cambio de dieta en el caso de ser afectada por un cambio brusco en su ecosistema (Fig. 24).

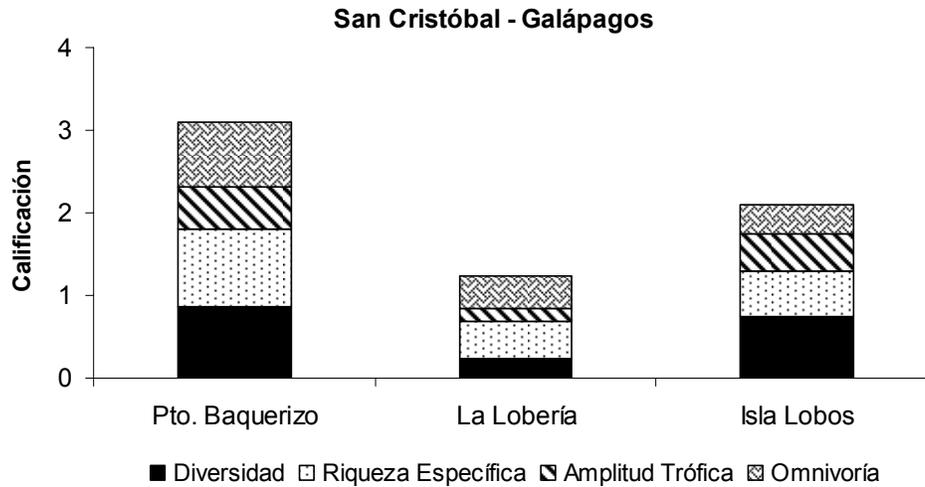


Figura 24. Niveles de plasticidad o flexibilidad en la dieta presentes en las tres colonias reproductoras de la Isla San Cristóbal.

8.7 Nivel trófico

En la mayoría de pinnípedos, los niveles tróficos presentan un rango que va de 3.8-4.7 (Lowry *et al.* 1991; Jefferson *et al.* 1993; Aurióles-Gamboa & Camacho-Rios, 2007; Porrás-Peters, *et al.*, en prensa). Con base en el índice de Christensen & Pauly (1992), se calculó el valor de nivel trófico de *Zalophus wollebaeki* para cada colonia de la Isla San Cristóbal teniendo como resultado un valor promedio de 4.5, ubicándolo en la cadena trófica como un carnívoro secundario-terciario (Mearns, *et al.* 1981). Sin embargo se observó cierta variación entre las colonias, siendo Puerto Baquerizo e Isla Lobos los sitios con mayor diferencia (TL= 4.31 y 4.61 respectivamente).

Este resultado concuerda con la información de su espectro trófico, por ejemplo la colonia de Puerto Baquerizo presentó el nivel trófico más bajo, debido a que una buena parte de su dieta estuvo compuesta por peces de bajo nivel trófico como “anchoa” *Anchoa spp.*, y “anchoveta” *Cetengraulis mysticetus*, (TL= 2.50 y 2.67 respectivamente), ya que su alimentación se basa en fitoplancton, zooplancton y zoobentos (Whitehead *et al.* 1988) ; mientras que las otras colonias

presentaron valores semejantes y mayores a Puerto Baquerizo. Esta diferencia probablemente se debe a que parte importante de la dieta en La Lobería e Isla Lobos estuvo compuesta por peces de la familia Serranidae, cuyo nivel trófico es alto ($TL = \geq 4$) el cual es resultado de su tipo de alimentación (peces, cefalópodos y crustáceos, de tipo carnívoro primario-secundario).

El nivel trófico estimado con base a isótopos estables (Vander-Zanden, 1997; Post, 2002) varió ligeramente según el algoritmo utilizado, siendo el propuesto por Vander-Zanden (1997) el que mejor se relacionó con los valores de nivel trófico que reflejo el análisis de excretas (Tabla XIII). Cabe mencionar que el nivel trófico estimado con el índice de Post (2002), pueden presentar cierto sesgo debido a que no incorpora la información exacta del fraccionamiento isotópico que existe entre cada nivel trófico, por que se utilizó el valor promedio reportado para la mayoría de los depredadores marinos; el cual esta alrededor de 3.4 ‰ (Minagawa & Wada, 1984).

Tabla XIII. Nivel trófico con base en isótopos estables y análisis de excretas, encontrado en las colonias de la isla San Cristóbal.

Colonias	$\delta^{15}N$		Excretas
	Vander- Zanden, 2001	Post, 2002	Christensen & Pauly, 1992
Pto. Baquerizo	4.1	3.9	4.3
La Lobería	4.1	3.9	4.6
Isla lobos	4.1	3.9	4.6

8.8 Sobreposición trófica y diversificación de la dieta

Cuando dos o más especies de otáridos viven en simpatria, éstos tienden a utilizar diferentes recursos alimentarios dando lugar a una baja superposición trófica que de mantenerse en el tiempo genera dietas o hábitos alimentarios distintos. Existen evidencias de que el lobo marino de Galápagos presenta diferentes estrategias de forrajeo (epipelágico, mesopelágico y bentónico) (Villegas, *et al.*, en prensa), por lo que dadas las diferencias en el tipo de hábitat

explotado, es posible esperar que los animales con una estrategia de tipo bentónica por ejemplo, depreden sobre presas muy distintas de las de tipo epipelágico o mesopelágico.

Mediante el índice de Morisita-Horn (CH), se calculó el grado de superposición trófica entre las colonias de estudio donde las colonias que no presentaron superposición trófica fueron La Lobería y Puerto Baquerizo ($C\lambda = 0.27$), a pesar de su cercanía (4.6 millas náuticas), mientras que entre Isla Lobos y La Lobería e Isla Lobos y Puerto Baquerizo (10 y 5.4 millas náuticas de distancia respectivamente) el grado de superposición fue bajo ($C\lambda = 0.45$ y 0.36 respectivamente) lo que podría deberse a que se alimentaron de presas similares pero con un porcentaje de importancia muy diferente. Esto refleja claramente que pese a la cercanía de las colonias los lobos marinos de cada sitio aparentemente se están alimentando de forma diferente, lo que estaría generando una diversificación en la dieta del lobo marino que habita las diferentes loberas de la isla..No existe información sobre el grado de superposición trófica entre las diferentes colonias de *Zalophus wolfebaeki*, sin embargo se ha reportado que la dieta presente en las colonias de La Lobería e Isla Lobos durante los años 1998, 1999 y 2001 fue parcialmente distintas, si embargo compartieron una de sus presas principales (Familia Clupeidae) pero con diferente porcentaje de importancia (Salazar, 2005).

Dellinger & Trillmich en 1999 analizaron la superposición trófica entre el lobo marino de Galápagos *Zalophus wolfebaeki* y el lobo fino de Galápagos *Arctocephalus galapagoensis* en la región donde estas especies coexisten (oeste del archipiélago; Cabo Hammond, isla Fernandina), encontrando que consumen presas diferentes, a pesar de que se alimentan a una distancia similar de la costa y gastan períodos semejantes de tiempo en sus viajes de alimentación (Kooyman & Trillmich, 1986a, 1986b). Este mismo fenómeno se encontró entre el lobo marino de California *Zalophus californianus* y el lobo fino de Guadalupe *Arctocephalus townsendi*, especies que viven en simpatria en las Islas San Benito, México; lo cual se adjudica a las notables diferencias en la capacidad de buceo de las dos

especies, donde *Zalophus californianus* puede bucear a mayor profundidad (250m) y explotar el ambiente bentónico a diferencia de *Arctocephalus townsendi* obligado a depredar en la columna de agua a no mas de 50-70 m (Auriolles-Gamboa & Camacho-Rios, 2007).

La teoría de una diversificación de dietas a nivel intra-especifico es un tema de mayor interés por su significado adaptativo (Ford, *et al.*, 1998; Bolnick, *et al.*, 2003; Estes, *et al.*, 2003; Cupa-Cedillo, 2007). Una baja competencia interespecífica y una alta competencia intraespecífica influyen notablemente para que ocurran estos eventos (Estes, *et al.*, 2003). Esta situación es evidente en el área de estudio ya que en el sureste del archipiélago únicamente existen poblaciones de lobo marino de Galápagos, *Zalophus wolfebaeki*, mientras que las colonias del lobo fino de Galápagos, *Arctocephalus galapagoensis*, están ubicadas al otro extremo del archipiélago. En estudios realizados en poblaciones de *Zalophus californianus*, del Golfo de California (único pinnípedo residente de la región), se encontró repartición de recursos a nivel de loberías que se encontraban muy cerca entre si (García-Rodríguez & Auriolles, 2004; Porrás-Peters, *et al.*, en prensa), e incluso a nivel intra-poblacional como el caso de la colonia Los Islotes (Cupa-Cedillo, 2007). Otro caso similar es el encontrado en el elefante marino del sur, *Mirounga leonina*, donde se observo la presencia de tres conductas alimentarias diferentes en machos adultos, lo que lo relacionaron como una estrategia para evitar competencia intra e intersexual (Lewis *et al.*, 2006).

En el caso del lobo marino de Galápagos, se encontró evidencia de que no solo existe diferenciación de dietas entre colonias muy cercanas, sino también dentro de cada una de las colonias. Resultado que se relaciona con lo encontrado por Villegas *et al.*, (en prensa) en un estudio con base en telemetría satelital en hembras de *Zalophus wolfebaeki* de una misma colonia, donde reporta la existencia de tres diferentes tipos de forrajeo, un epipelágico que esta entre 0 a 200 metros, un mesopelágico que va de 200 a 1000 metros y uno netamente bentónico, sugiriendo así la presencia de tres estrategias de alimentación dentro

de la misma lobería, aduciendo estas diferencias a la dificultad que tienen estos animales en encontrar su alimento.

La presencia de estas adaptaciones se deben seguramente a que el éxito reproductivo de estas poblaciones se incrementa cuando distintos grupos de lobos basan su estrategia de alimentación en una relación costo y beneficio, la cual resulta mas positiva en la medida que diversifican su dieta, permitiéndoles de esta manera contrarrestar la competencia a la que están expuestos, la cual los puede llevar hacia su desaparición (Bolnick, *et al*, 2003). Es evidente que la existencia de otáridos en el archipiélago no es típica ya que estas especies están normalmente asociadas a ambientes fríos y templados, lo que se refleja en el tamaño de sus poblaciones y su alta fluctuación en el tiempo.

Este fenómeno de diversificación de dieta se presenta en especies o poblaciones cuyo papel en el ecosistema es de depredadores tope por lo que tienen mayores posibilidades de seleccionar su alimento dentro de una mayor variedad de especies (Ford, *et al.*, 1998), lo cual se cumple con el lobo marino de Galápagos. Otro factor que promueve la diversificación de dietas son las adaptaciones genotípicas ó fenotípicas entre los individuos de una misma población, las cuales influyen en la formación de una organización social diferente, lo que podría dar como resultado estrategias de alimentación distintas (Estes *et al*, 2003). Se sospecha que existe una separación genética entre las colonias del lobo marino de Galápagos a lo largo del archipiélago (Wolf, *et al.*, en revisión), la cual puede estar asociada a diferencias de hábitat. Los lobos marinos de las Galápagos son animales sumamente sociales, dependientes de su madre en algunos casos hasta los tres años (observación personal), lo que genera un largo proceso de aprendizaje el cual podría influir en el desarrollo de ciertas preferencias dentro del nicho alimentario (Estes, *et al*, 2003; Slagsvold & Wiebe, 2007). Esta hipótesis se ve reforzada por el hecho de que existen evidencias que demuestran que los lobos marinos poseen una memoria de largo plazo (Kastak & Schusterman, 2002).

Las diferencias en los hábitos alimentarios dentro y entre colonias más la presencia de distintas estrategias de forrajeo dentro de una misma población (Villegas, *et al.*, en prensa) son evidencia de un mecanismo de especialización trófica en el lobo marino de las Galápagos.

9. CONCLUSIONES

- La colonias de *Zalophus wollebaeki* presentes en la isla San Cristóbal tuvieron hábitos completamente ictiófagos (99.9%), siendo el “ojón”, *Selar crumenophthalmus*, su presa principal.
- El espectro trófico fue diferente entre los tres sitios, siendo Puerto Baquerizo la colonia donde se encontró la mayor diversidad de presas.
- La existencia de dietas significativamente distintas y una baja superposición trófica en tres colonias que comparten su área potencial de alimentación, sugiere un proceso de repartición del nicho alimentario en la isla San Cristóbal.
- Los valores de amplitud trófica y la composición de las dietas mostraron que *Z. wollebaeki* es un depredador “especialista plástico”, capaz de ajustar su alimentación de acuerdo a las presas más abundantes en cada zona.
- La colonia de Puerto Baquerizo fue la que presentó mayor plasticidad en su dieta, lo que la convierte en la población con mayor probabilidad de soportar posibles cambios drásticos en el ambiente como El Niño (ENSO).
- El nivel trófico calculado del análisis de excretas y el obtenido del análisis de isótopos estables, fue similar, ubicándolo dentro de la cadena trófica como un carnívoro secundario terciario.

- El análisis de isótopos estables resultó ser una técnica menos sensible para diferenciar la alimentación entre colonias muy cercanas entre si, sin embargo detectó diferencias significativas de $\delta^{13}\text{C}$ entre crías de diferentes edades, probablemente producto de la formación de pelo en distintas fases (fetal, perinatal y postnatal).
- No se hallaron diferencias entre la señal isotópica que refleja el pelo y la piel, pese a que su tasa de renovación es diferente.

10. RECOMENDACIONES

Para tener información más concreta sobre el espectro trófico, se recomienda aumentar los muestreos de excretas a diferentes meses y años, esto con la finalidad de conocer como varían las principales “especies” presa a lo largo de las estaciones y el tiempo. Además se recomienda realizar muestreos en otras colonias del archipiélago (islas del centro, norte y oeste), para confirmar la información generada en este trabajo y así poder hablar de un proceso de diversificación de dietas en *Zalophus wollebaeki* de una manera más general.

Se debe incrementar los muestreos de pelo o piel, para poder determinar con una mayor precisión la variación isotópica existente en las colonias de lobo marino de galápagos a lo largo de los años y de todo el archipiélago, ya que se conoce que la variación isotópica de carbono y nitrógeno en la base de la cadena trófica es afectada por las condiciones oceanográficas en una escala temporal y espacial. Las colectas de excretas y pelo se deben realizar al mismo tiempo y en las mismas colonias ya que existen referencias que mencionan la presencia de una variación espacial y estacional en la dieta de *Zalophus wollebaeki*.

Se recomienda obtener los valores isotópicos de las presas y de varios componentes de la trama trófica propios de la zona como materia orgánica

particulada (sedimento), zooplancton, etc., esto con la finalidad de conocer el enriquecimiento isotópico promedio propio de esta especie, el cual es sumamente necesario para poder aplicar los algoritmos enfocados en determinar el nivel trófico. A su vez se debe determinar el fraccionamiento isotópico existente entre las madres y sus crías, esto con la finalidad de conocer cual es el valor promedio propio de esta especie. Es importante tratar de incrementar otros métodos para determinar los hábitos alimentarios como la telemetría satelital, el cual puede brindar más información, con respecto al comportamiento de alimentación de esta especie.

11. LITERATURA CITADA

Abend A.G. and T.D. Smith. 1997. Differences in stable isotope ratios of carbon and nitrogen between long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) and their primary prey in the Western North Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*. 54: 500-503.

Altabet, M.A., C. PilskaIn, R. Thunell, C. Pride, D. Sigman, F. Chavez y R. Francois. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep-sea research*. 46: 655-679.

Antonelis, G. A. y H. C. Fiscus, 1980. The Pinnipeds of the California Current. *CalCOFI Rep*. 21:68-78

Antonelis, G. A., E. H. Sinclair, R. R. Rean y B. W. Robson, 1997. Inter-island variation in the diet of female northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) in the Bering Sea. *Journal of Zoology*, London, 242: 435–451.

Aurioles, D., C. Fox, F. Sinsel y G. Tanos, 1984. Prey of the California sea lions (*Zalophus californianus*) in the bay of La Paz, Baja California Sur, México. *Journal of Mammalogy* , 65(3):519:521.

Aurioles, D. y A. Zavala, 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., P.L. Koch, and B.J. Le Boeuf, 2006. Differences in foraging location of Mexican and California elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. *Marine Mammal Science*. 22: 326-338.

Aurioles-Gamboa y Camacho-Rios, 2007. Diet and Feeding Overlap of Two Otariids, *Zalophus californianus* and *Arctocephalus townsendi*: Implications to Survive Environmental Uncertainty. *Aquatic Mammals*. 33 (3)

Banks, S. A., 2002. Ambiente Físico. *En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad*, Danulat E & G J Edgar (Eds.). 22–37. Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Bearhop S., Colin E., Adams S., Fuller R. y Macleod H., 2004. Determining trophic niche width: A novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*. 73:1007-1012.

Bauer, R.D., R.S. Peterson y V.B. Scheffer, 1964. Age of northern fur seal at completion of its first molt. *Journal of Mammology*. 45(2): 299-300.

Bolnick, D. I., Svanbäck, R., Fordyce, J. A., Yang, L. H., Davis, J. M., Hulseley, C. D. y Forister, M. L., 2003. The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. *American Naturalist*. 161 (1): 1-28.

Bowen, W.D., 2000. Reconstruction of pinniped diets: accounting for complete digestion of otoliths and cephalopod beaks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 57: 898-905.

Christensen, V. y D. Pauly, 1992. ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*. 61: 169-185.

Clarke, M. R. y F. Trillmich, 1980. Cephalopods in the diet of fur seal of the Galapagos Islands. *Journal of Zoology*. London, 190: 211–215.

Costa, D. P. y N. J. Gales, 2003. Energetics of a benthic diver: Seasonal foraging ecology of the Australian sea lion, *Neophoca Cinerea*. *Ecological Monographs*, 73(1): 27–43.

Cupa, C. L., 2007. Evaluación de los perfiles de ácidos grasos del lobo marino de California *Zalophus californianus* en estudios de alimentación. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, Baja California Sur. 109 p.p.

Darimont, C.T. y T.E. Reimchen, 2002. Intra-hair stable isotope analysis implies seasonal shift to salmon in gray wolf diet. *Canadian Journal of Zoology*. 80: 1638-1642.

Day, J. W. Jr., C. A. S Hall., W. M. Kemp & A. Yañez-Arancibia, 1989. Estuarine ecology. *John-Wiley & Sons*. E. U. A. 558 pp.

Dellinger, T., 1987. Das Nahrungsspektrum der Sympathiscen Galápagos-Seebaren: (*Arctocephalus galapagoensis*) und Galápagos-Seelowen (*Zalophus californianus wollebaeki*) mit versuchen zur methodik der kotanalse. Diplomarbeit, Univ. Konstanz, FRG, 71 pp.

Dellinger, T. y F. Trillmich, 1999. Fish prey of the sympatric Galapagos fur seals and sea lions: seasonal variation and niche separation. *Canadian Journal of Zoology*, 77: 1204–1216.

DeNiro, M. J. y Epstein, S., 1978. Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 42: 495-506.

DeNiro, M.J y Epstein, S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 45: 341-353.

DeVillez, R. L., 2006. Hair growth & hair loss. *Forhair*. www.forhair.com

Estes, J. A., Riedman, M. L., Staedler, M. M., Tinker, M. T. y Lyon, B. E., 2003. Individual variation in prey selection by sea otters: Patterns, causes and implications. *Journal of Animal Ecology*. 72: 144-155.

Farrel, J. W., Pedersen, T.F., Calvert, S. E., y Nielsen, B., 1995. Glacial-Interglacial changes in nutrient utilization in the equatorial Pacific Ocean. *Nature*. 377: 514-517

Feldman, G. C., 1985. Satellites, seabirds and seals. En: El Niño in the Galapagos Islands: The 1982–1983 Event, Robinson y E. M. del Pino (Eds.), Charles Darwin Foundation, Quito, Ecuador, 125–130.

Fogel, M.L., N. Tuross y D.W. Owsley, 1989. Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archeological populations. Annual Report Geophysical Laboratory, Carnegie Institution 1988-1989. Geophysical Laboratory, Carnegie Institution, Washington, D.C. 111-117.

Ford, J. K. B., Ellis, G. M., Barrett-Lennard, L. G., Morton, A. B., Palm, R. S. y Balcomb III, K. C., 1998. Dietary specialization in two sympatric populations of killer whales (*Orcinus orca*) in coastal British Columbia and adjacent waters. *Canadian Journal of Zoology*. 76: 1456-1471.

Froese, R. y D. Pauly. (Eds). 2003. Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org.

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 para el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, México, 99 p.

García-Rodríguez F., y D. Aurióles G., 2004. Spatial and temporal variations in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, México. *Fishery Bulletin*, 102(1):47-62.

Gentry, R. L. y G. L. Kooyman, 1986. Introduction. *In*: Fur seals: Maternal strategies on land and at sea. Gentry, R. L. y G. L. Kooyman (Eds.). Princeton, N. J: Princeton University Press, 3 27.

Gerking, S. D., 1994. Feeding ecology of fish. Academic Press. E. U. A. 416 pp.

Grove, J. S. y R. J. Lavenberg, 1997. The fishes of the Galapagos Islands. Stanford University Press. California USA, 863 p.

Harris, M. P., 1969. Breeding seasons of seabirds in the Galapagos Islands. *Journal of Zoology* (London). 159: 145–165.

Hilderbrand, G.V., S.D. Farley, C.T. Robbins, T.A. Hanley, K. Titus y C. Servheen, 1996. Use of stable isotopes to determine diets of living and extinct bears. *Canadian Journal of Zoology*. 74: 2080-2088.

Hobson, K. A. y Welch, H. E., 1992. Determination of trophic relationships within a high arctic marine food web using $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 84: 9-18.

Hobson, K. A. y Clark, G. R., 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of C13 in tissues. *Condor*. 92: 897-903.

Hobson, K.A, M.D. Schell, D. Renouf y E. Noseworthy, 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 528-533.

Hobson, K.A. y J.L. Sease, 1998. Stable isotope analyses of tooth annuli reveal temporal dietary records: an example using Steller sea lions. *Marine Mammal Science*. 14: 116-129.

Hobson, K. A., Sinclair, E. H., York, A. E., Thomason, J. R., Merrick, R. E., 2004. Retrospective isotopic analyses of Steller sea lion tooth annuli and seabird feathers: A cross-taxa approach to investigating regime and dietary shifts in the Gulf of Alaska. *Marine Mammal Science*. 20 (3): 621-638.

Horn, H.S. 1966. Measurement of overlap in comparative ecological studies. *American Naturalist*. 100:419 - 424 pp.

Jackson, M., 1997. Galápagos, una historia natural. University of Calgary Press, USA, 197 p.

Jefferson, T.A., S. Leatherwood, y M.A. Webber, 1993. Marine mammals of the world. FAO Species Identification Guide. Food and Agriculture Organization. Roma. 320 pp.

Jenkins, S.G., S.T. Partridge, T.R. Stephenson, S.D. Farley y C.T. Robbins, 2001. Nitrogen and carbon isotope fractionation between mothers, neonates, and nursing offspring. *Oecologia*. 129: 336-341.

Kastak CR, Schusterman RJ, 2002. Long-term memory for concepts in a California sea lion (*Zalophus californianus*). *Anim Cogn* 5:225-232.

Kelly, F.J., 2000. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*. 78(1): 1-27.

Kooyman, G. L. y F. Trillmich, 1986 a. Diving behavior of Galápagos sea lions. *In: Maternal investment in otariid seals and walruses.* Kovacs, K. M. and D. M. Lavigne. (1992). *Canadian Journal of Zoology*, 70: 1.953–1.964.

Kooyman, G. L. y F. Trillmich, 1986 b. Diving behavior of Galápagos sea lions. *In: Fur seals: Maternal strategies on land and at sea.* Gentry, R. L. y G. L. Kooyman (Eds.). Princeton, N. J: Princeton University Press, 209–219.

Krebs, C.J., 1999. *Ecological methodology.* Addison Wesley, California, 620 pp.

Kurle, C.M. y G.A.J. Worthy. 2002. Stable nitrogen and carbon isotope ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: implications for dietary and migratory reconstructions. *Marine Ecology Progress Series.* 236: 289-300.

Langton, R.W., 1982. Diet overlap between the Atlantic cod, *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis*, and fifteen other northwest Atlantic finfish. U.S. National Marine fisheries Service. *Fishery Bulletin.* 80:754-759 pp.

Larson, R.C. y Sadiq, G. 1983. Facility locations with the Manhattan metric in the presence of barriers to travel. *Operations Research.* 31:652-699

Lewis, R., Connell, T. C. O., Lewis, M., Campagna, C. y Hoelzel, A. R. 2006. Sexspecific foraging strategies and resource partitioning in the southern elephant seal (*Mirounga leonina*). *Proceedings of the Royal Society B.* 273: 2901–2907.

Lluch-Cota, D. B., S. Hernández-Vásquez y S. E. Lluch-Cota, 1997. Empirical investigation on the relationship between climate and small pelagic global regimes and El Niño-Southern Oscillation (ENSO). *FAO Fisheries Circular N° 934*, 48 p.

Lowry, M.S., C.W. Oliver, C. Macky y J.B. Wexler, 1990. Food habits of California sea lions *Zalophus californianus* at San Clemente Island, California, 1981-1986. *Fishery Bulletin*. 88(3):509-521.

Lowry M. S., B. S. Stewart, C. B. Heath, P. K. Yochem y J. M. Frbacis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of California sea lions (*Zalophus californianus*) at San Nicolas Island California, 1981-1986. *Fishery Bulletin*, U. S. 89: 331-336.

Maldonado, G.L., 1997. Digestión in vitro de otolitos de cuatro especies de peces que son alimento del lobo marino de California (*Zalophus californianus*), en México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 45 pp.

Marinone, S.G. & Lavín M.F.. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California. En: Lavín, M.F. (Ed.)

Merrick, R. L., T. R. Loughlin y D.G. Calkins., 1997. Decline in abundance of the northern sea lion, *Eumetopias jubatus*, in Alaska, 1956-86. *Fishery bulletin*, U. S. 85: 351-365.

Mearns, A.J., R.J. Olson, D.R. Young y H.A. Schafer., 1981. Trophic structure and the cesium-potassium ratio in pelagic ecosystems. CalCOFI Rep. XXII: 99-110.

Minagawa, M. y E. Wada. 1984. Stepwise $\delta^{15}\text{N}$ enrichment along food chains. Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 48: 1135-1140.

Murillo JC, C. Chasiluisa, L. Molina, J. Moreno, R. Andrade, 2003. Pesca blanca y pesquerías que duran todo el año en Galápagos, 2002. En: Evaluación de las pesquerías en la Reserva Marina de Galápagos. Informe Compendio 2002. pp 97–

124. Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Nelson, J. S., 1994. Fishes of the world. 3th Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. 600p.

Orr, R. T., J. Schonewald, K. W. Kenyon., 1970. The california sea lion (*Zalophus californianus californianus*): skull growth and comparison of two populations. Proc. Calif. Acad. Sci., 37(11):381-394.

Owens, P.J.N., 1987. Natural variations in $\delta^{15}\text{N}$ in the marine environment. *Advances in Marine Biology*. 24: 389-451.

Palacios, D. M., 2002. Factors influencing the island-mass effect of the Galápagos. *Geophysical Research Letters*. 29: 49

Palacios, D. M., S. J. Bograd, D. G. Foley y F. B. Schwing, 2006. Oceanographic characteristics of biological hot spots in the North Pacific: A remote sensing perspective. *Deep-Sea Research II*. 53. 250:269.

Pauly, D., M. Soriano y M.L. Palomares, 1987. On improving the construction, parameterization and interpretation of steady-state multispecies models. En: 9th Shrimp and Finfish Fisheries Management Workshop, 7-9 Diciembre 1987, Kuwait. 27 pp.

Pauly, D., A.W. Trites, E. Capuli y V. Christensen. 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES Journal of Marine Science*. 55: 467-481

Pinochet, R. P. y H. L. Villagrán, 2004. El Niño Oscilación del Sur y el desarrollo pesquero nacional: bases para un marco político-institucional. *En: El Niño-La Niña*

1997-2000: Sus efectos en Chile. S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant y E. Yáñez. (Eds.) (2004). CONA, Chile, Valparaíso, 191–208.

Porras-Peters, 2004. Nivel, amplitud y superposición trófica de las colonias de lobo marino *zalophus californianus* del golfo de California, México. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, 57 p.

Porras-Peters, H., D. Aurióles-Gamboa, y Paul L. Koch. In press. Position, breadth and trophic overlap of sea lions (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California. Mexico. *Marine Mammal Science*.

Post, D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position models methods, and assumptions. *Ecology* Vol. 83 (3): 703-718 pp.

Rau, G.H., J.L. Tetssie, F, Rassoulzadegan & S.W. Fowler. 1990. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ variations among size fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationship. *Marine Ecology Progress Series* 59: 33-38 pp.

Reid, K., 1996. A guide to the use of otoliths in the study of predators al South Georgia. British Antartic Survey., *Natural Environment Research Council*, Cambridge, pp. 1-37.

Riedman M., 1990. The Pinnipeds: seals, sea lions and walruses. University of California Press, USA, CA.439 p.

Reid, K. y E. Prothero-Thomas, 1997. A preliminary report of the diet of *Zalophus californianus*. Unpublished document. Marine Investigation and Coastal Conservation Unit, Charles Darwin Research Station.

Reynolds, J. y S. Rommel. 1999. Biology of marine mammals. Smithsonian. E.U.A. 578 pp.

Roger, L., G. Boxshall y P. Clark, 1998. A dictionary of Ecology, Evolution and Systematics, 2nd Edition. Cambridge University Press, UK, 361 p.

Salazar, S. K., 1999. Dieta, Tamaño Poblacional e Interacción con Desechos Costeros del Lobo Marino (*Zalophus californianus wollebaeki*) en las Islas Galápagos. Tesis Licenciatura. Universidad Católica. Quito-Ecuador.

Salazar, S. K. y R. Bustamante, 2003. Effects of the 1997–98 El Niño on population size and diet of the Galápagos sea lion (*Zalophus wollebaeki*). Noticias de Galápagos, Puerto Ayora Galápagos, 62:40–45.

Salazar, S.K., 2005. Variación temporal y espacial del espectro trófico del lobo marino de Galápagos. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, 123 p.

Schoeninger, M. J. y M. J. DeNiro, 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48: 625-639.

Silvertsen, E., 1953. A new species of sea lion, (*Zalophus wollebaeki*), from Galapagos Islands. The norwegian zoological expedition to the Galapagos Islands 1925, conduced by Alf Wollebaek, XIV. Det Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Forhandling, 599: 1-3.

Slagsvold T, KL. Wiebe, 2007. Learning the ecological niche. Proc R Soc B-Biol Sci 274:19-23.

Smith, P.E. & M.T. Zaret, 1982. Bias in estimating niche overlap. Ecology. 63(5):1248-1253 pp.

Tieszen, L.L., T.W. Boutton, K.G. Tesdahl y N.A. Slade, 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*. 57: 32-37.

Trites, A.W. y 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.

Trillmich, F., 1979. Noticias de Galápagos, Estación Científica Charles Darwin, Puerto Ayora – Ecuador, 29: 8-14.

Trillmich, F. y D. Limberger, 1985. Drastic effects of El Niño on Galápagos Pinnipeds, *Oecologia*, 67: 19–22.

Trillmich, F., 1987. Seals Under Sun. *Natural History*. 10: 42-49.

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

Trillmich F. and J. B. W. Wolf, 2007. Parent-offspring and sibling conflict in Galapagos fur seals and sea lions. *Behavioral Ecology and Sociobiology*,

Vander Zanden, M. J., G. Cabana, and J. B. Rasmussen, 1997. Comparing the trophic position of littoral fish estimated using stable nitrogen isotopes ($\delta^{15}\text{N}$) and dietary data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 1142–1158.

Villegas-Amtmann, D. Costa, Y. Tremblay, D. Aurióles-Gamboa, D. and S. Salazar, In press. Multiple foraging strategies in a marine apex predator, the Galapagos Sea Lion. *Marine Ecology Progress Series*.

Voss M., J.W. Dippner and J.P. Montoya, 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen-deficient waters of the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research* 48: 1905-1921.

Ward, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*. 58:236

Wisner, R., 1974. The taxonomy and distribution of lanternfishes (Family Myctophidae) of the eastern Pacific Ocean. NORDA Reporte 3. Mississipi, 130p.

Whitehead, P.J.P., G.J. Nelson y T. Wongratana, 1988. FAO species catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 2 - Engraulididae. FAO Fish. Synop. 7(125) Pt. 2-579.

Wolf, J., C. Harrod, S. Brunner, S. Salazar, F. Trillmich, D. Tautz, (En revision). Ecological, morphological and genetic divergence of Galapagos sea lion populations as a model for tracing early stages of species differentiation.

12. ANEXOS

Anexo I. Lista de especies encontradas en la dieta de la colonia reproductora de Puerto Baquerizo, durante la temporada reproductiva 2006.

Pto. Baquerizo Moreno							
Nº	Familia	Especie	# Copros	# Otolitos	IIMPI	N Trófico	Habitat
1	Belontiidae	Strongylura sp	1	1	0.04	Carnívoro	Pelágico
2	Carangidae	Decapterus spp.	2	3	0.00	Carnívoro	Pelágico
3	Carangidae	Trachinotus patiensis	2	2	0.04	Carnívoro	Demersal
4	Carangidae	Selar crumenophthalmus	57	301	61.89	Planctívoro	Arrecifal
5	Clupeidae	Opisthonema berlangai	5	15	0.75	Planctívoro	Pelágico
6	Cottidae	Icelinus sp	2	6	0.00	Carnívoro	Arrecifal
7	Engraulidae	Anchoa spp.	35	174	21.94	Planctívoro	Pelágico
8	Engraulidae	Cetengraulis mysticetus	18	59	2.85	Planctívoro	Pelágico
10	Haemulidae	Xenichthys sp	4	5	0.30	Planctívoro	Arrecifal
11	Holocentridae	Myripristis spp.	2	3	0.00	Planctívoro	Arrecifal
12	Lutjanidae	Hoplopagnus guenteri	1	1	0.00	Carnívoro	Arrecifal
13	Lutjanidae	Lutjanus argentiventris	1	1	0.04	Carnívoro	Arrecifal
14	Moridae	Physiculus nematopus	2	2	0.00	Planctívoro	Demersal
15	Malacanthidae	Caulolatilus affinis	3	6	0.19	Carnívoro	Arrecifal
16	Mugilidae	Xenomugil thoburni	1	1	0.00	Planctívoro	Demersal
17	Myctophidae		13	33	4.01	Planctívoro	Meso Pelágico
18	Ophidiidae	Otophidium indefatigable	12	14	1.20	Carnívoro	Demersal
19	Ophidiidae	leporidium sp	1	1	0.00	Carnívoro	Demersal
20	Ophidiidae	Brotula clarkae	1	1	0.00	Carnívoro	Demersal
21	Ophisthognathidae	Opisthognathus punctatus	11	13	1.20	Carnívoro	Arrecifal
22	Phosichthyidae	Vinciguerra lucetta	1	1	0.04	Planctívoro	Demersal
23	Serranidae	Epinephelus spp.	1	1	0.00	Carnívoro	Arrecifal
24	Serranidae	Serranus aequidens	17	55	2.32	Carnívoro	Demersal
25	Serranidae	Diplectrum pacificum	5	5	0.07	Carnívoro	Arrecifal
26	Serranidae	Paranthias colonus	7	9	0.56	Carnívoro	Arrecifal
27	Serranidae	Hemanthias signifer	6	7	0.15	Carnívoro	Arrecifal
28	Serranidae	Paralabrax sp	15	28	2.21	Carnívoro	Arrecifal
29	Serranidae	Pronotogrammus multifasciatus	1	1	0.00	Carnívoro	Demersal
30	Sciaenidae	Cynoscion albus	3	14	0.11	Carnívoro	Demersal
31	Sciaenidae	Micropogonias sp	1	2	0.00	Carnívoro	Demersal
32	Scorpaenidae	Pontinus ciemensi	3	3	0.04	Carnívoro	Demersal
33	Synodontidae	Synodus sp	2	7	0.07	Carnívoro	Arrecifal
34	Octopodidae	Octopus sp	2	2	0.00	Carnívoro	Demersal

Anexo 2. Lista de especies encontradas en la dieta de la colonia reproductora de La Lobería, durante la temporada reproductiva 2006.

La Lobería							
Nº	Familia	Especie	# Copros	# Otolitos	IIMPI	N Trófico	Habitat
1	Carangidae	Trachinotus paitensis	1	1	0.00	Carnívoro	Bentónico
2	Carangidae	Selar crumenophthalmus	74	707	87.75	Planctívoro	Arrecifal
3	Carangidae	Decapterus spp.	3	4	0.02	Carnívoro	Pelágico
4	Engraulidae	Anchoa spp.	24	55	3.98	Planctívoro	Pelágico
5	Myctophidae		7	12	0.44	Planctívoro	Meso Pelágico
6	Ophidiidae	Otophidium indefatigable	3	4	0.02	Carnívoro	Demersal
7	Ophidiidae	lepophidium sp	2	3	0.00	Carnívoro	Demersal
8	Phosichthyidae	Vinciguerra lucetia	2	3	0.04	Planctívoro	Demersal
9	Sciaenidae	Cynoscion albus	1	4	0.02	Carnívoro	Demersal
10	Scorpaenidae	Pontinus clemensi	15	20	1.58	Carnívoro	Demersal
11	Serranidae	Serranus aequidens	32	110	5.30	Carnívoro	Demersal
12	Serranidae	Paralabrax sp	10	30	0.55	Carnívoro	Arrecifal
13	Serranidae	Pronotogrammus multifasciatus	6	8	0.15	Carnívoro	Demersal
14	Serranidae	Diplectrum pacificum	4	5	0.09	Carnívoro	Demersal
15	Serranidae	Epinephelus spp.	1	1	0.02	Carnívoro	Arrecifal
16	Synodontidae	Synodus sp	3	23	0.02	Carnívoro	Arrecifal

Anexo 3. Lista de especies encontradas en la dieta de la colonia reproductora de La Lobería, durante la temporada reproductiva 2006.

Isla Lobos							
Nº	Familia	Especie	# Copros	# Otolitos	IIMPI	N Trófico	Habitat
1	Batrachoididae	Portichthys sp	1	1	0.03	Carnívoro	Demersal
2	Carangidae	Selar crumenophthalmus	60	385	84.63	Planctívoro	Arrecifal
3	Carangidae	Decapterus spp.	1	1	0.00	Carnívoro	Pelágico
4	Clupeidae	Opisthonema berlangai	1	1	0.03	Planctívoro	Pelágico
5	Sciaenidae	Cynoscion albus	2	8	0.03	Carnívoro	Demersal
6	Engraulidae	Anchoa spp.	11	34	1.61	Planctívoro	Pelágico
7	Ephippidae	Chaetodipterus sp	1	2	0.03	Planctívoro	Demersal
8	Haemulidae	Xenichthys sp	2	2	0.00	Planctívoro	Arrecifal
9	Moridae	Physiculus nematopus	3	4	0.19	Planctívoro	Demersal
10	Myctophidae		16	20	4.91	Planctívoro	Meso Pelágico
11	Ophidiidae		3	4	0.16	Carnívoro	Demersal
12	Ophisthognathidae	Otophidium indefatigable	1	1	0.03	Carnívoro	Arrecifal
13	Scorpaenidae	Opistognathus punctatus	6	8	0.31	Carnívoro	Demersal
14	Serranidae	Pontinus clemensi	19	23	2.70	Carnívoro	Arrecifal
15	Serranidae	Paralabrax sp	18	68	2.76	Carnívoro	Demersal
16	Serranidae	Serranus aequidens	12	19	2.11	Carnívoro	Arrecifal
17	Serranidae	Paranthias colonus	1	1	0.00	Carnívoro	Arrecifal
18	Serranidae	Hemanthias signifer	1	1	0.00	Carnívoro	Demersal
19	Serranidae	Diplectrum pacificum	1	1	0.00	Carnívoro	Demersal
20	Synodontidae	Pronotogrammus multifasciatus Synodus sp	5	12	0.47	Carnívoro	Arrecifal

Anexo 4. Descripción de las colonias estudiadas.

a) Puerto Baquerizo Moreno.

(0°54'8.1"S, 89°36'44.1"O)

Es la capital de la provincia de Galápagos y principal puerto pesquero de las Islas. Cuenta con dos playas una al inicio del malecón de la ciudad y la otra dentro de la II Base Naval, ambas están separadas por el Muelle de la Armada Nacional, aquí se asienta una población importante de lobos marinos, la cual se estima esta entre 300 a 400 animales (observación personal), los cuales conviven diariamente con la rutina de los habitantes y turistas que caminan por esta playa. Esta colonia ha crecido considerablemente en los últimos años, a pesar de que se encuentra expuesta a un sinnúmero de disturbios principalmente de tipo antropogénico.



b) La Lobería.

(0°55'41"S, 89°32'40,2"O)

Es uno de los principales sitios de visita turísticos de la isla, se encuentra a 5 Km de Puerto Baquerizo Moreno, siguiendo el camino que conduce al aeropuerto de la ciudad. El lugar cuenta con dos playas, las cuales están rodeadas de rocas de lava a lo largo de la costa. Los lobos marinos se encuentran dispersos en todo el lugar, sin embargo el principal grupo reproductivo se localiza al inicio de la segunda playa. El tamaño poblacional estimado de esta colonia es de 300 animales (Salazar, 2002), sin embargo este ha disminuido considerablemente en la última década, llegándose a encontrar actualmente ~150 animales en todo el sitio (observación personal).



c) Isla Lobos.

(0°51'25"S, 89°33'52"O)

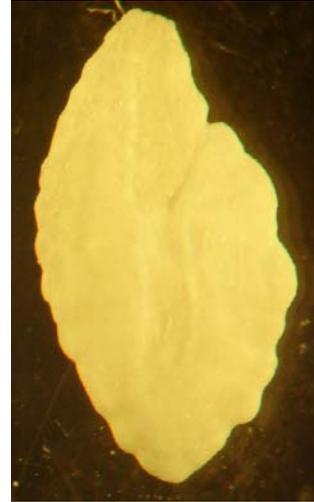
Es un pequeño islote ubicado en la costa noroeste de la isla San Cristóbal, el cual está compuesto por plataformas de lava de poca altura en la costa sur-este, arena en el centro y playas rocosas en la costa noroeste. Cuenta con un sendero de visita turístico, cuya atracción principal son los lobos marinos y algunas aves marinas del lugar. Su vegetación es diversa, sin embargo destaca un árbol de mangle negro (*Avicennia germinans*) en el que descansa el grupo reproductivo más grande del sitio. El tamaño poblacional estimado para este lugar está entre 550 y 600 individuos (Salazar, 2002).



Anexo 5. Principales especies presa identificadas mediante su otolito en la dieta de *Zalophus wollebaeki*, en la isla San Cristóbal.

Selar crumenophthalmus

Nombre común: Ojón grande, Charrito ojón



Descripción: Color azul metálico a verde azulado arriba, desvaneciéndose a blanco abajo; una franja amarilla algunas veces presente desde el margen del opérculo a la parte superior de la base de la caudal.

Tamaño: Crece hasta 30 cm.

Hábitat: Pelágico, forma cardúmenes en aguas costeras.

Posición en la columna de agua: Cerca de la Superficie.

Profundidad: 0- 170 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Salobre; Marino.

Distribución: Mares tropicales y subtropicales; la parte central de Baja y el Golfo de California a Ecuador y las islas oceánicas (Revillagigedos, Cocos, Clipperton, Malpelo y Galápagos).

Tipo de alimentación: Planctívoro.

Dieta: Zooplankton; crustáceos pelágicos; huevos y larvas pelágicas de peces; crustáceos móviles bentónicos (camarones/cangrejos); gasterópodos/bivalvos móviles bentónicos.

Cetengraulis mysticetus

Nombre común: Anchoveta



Descripción: Azulado en el dorso, blanco plateado abajo; una banda plateada en la línea media del costado en peces más pequeños, desapareciendo en individuos de alrededor de 6 – 9 cm de longitud.

Tamaño: Alcanza cerca de 22 cm, común a 10-12 cm.

Hábitat: Pelágico, forma cardúmenes grandes sobre áreas lodosas costeras.

Posición en la columna de agua: Cerca de la Superficie; Superficie.

Profundidad: 0-32 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Salobre; Marino.

Distribución: Del sur de California al Golfo de California al norte de Perú, las Revillagigedos y Galápagos.

Tipo de alimentación: Planctívoro.

Dieta: Zooplancton; fitoplancton; huevos y larvas pelágicas de peces.

Anchoa spp

Nombre común: Anchoa



Descripción: Cuerpo alargado, semicilíndrico; hocico de longitud media, mandíbula superior de moderada longitud, alcanza la parte superior del subopérculo, extremo puntiagudo y angosto, franja plateada a lo largo del cuerpo.

Tamaño: 14.5 cm.

Hábitat: Pelágico marino, costero, sobre arena, grava y fondos lodosos.

Posición en la columna de agua: Cerca de la Superficie y Superficie.

Profundidad: 0-10 m?.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Salobre.

Distribución: Del sur de Baja y el Golfo de California a Ecuador y las Galápagos.

Tipo de alimentación: Planctívoro.

Dieta: Zooplánton; fitoplánton; huevos y larvas pelágicas de peces.

Opisthonema berlangai

Nombre común: Sardina, Pinchagua



Descripción: Cuerpo relativamente delgado; mandíbula superior sin hendidura frontal; boca terminal; dientes pequeños, cónicos; 2 huesos sobre la mitad posterior del hueso mandibular. Plateado; una banda amarilla desde el opérculo a la cola. También pueden desarrollarse los siguientes colores: una mancha oscura inmediatamente detrás del opérculo superior; 1-2 manchas oscuras sobre la parte superior del lomo debajo de la aleta dorsal; 1-3 filas irregulares de manchas oscuras a lo largo del lomo superior; algunas bandas en el lomo superior.

Tamaño: 34 cm.

Hábitat: Pelágico marino, costero,

Posición en la columna de agua: Cerca de la Superficie; Superficie.

Profundidad: 0-10 m?.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Salobre; Agua dulce.

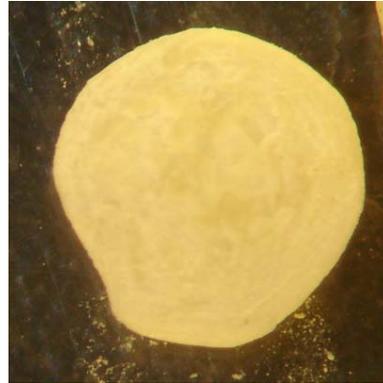
Distribución: Zona ecuatorial (Costa Rica hasta Ecuador + Galápagos, Clipperton, Cocos, Malpelo).

Tipo de alimentación: Planctívoro.

Dieta: Huevos y larvas pelágicas de peces; zooplancton.

Familia Myctophidae

Nombre común: Peces linterna



Descripción: Son pequeños de cuerpo alargado, ojos grandes, presentan bioluminiscencia.

Tamaño: Alcanzan ~ 5 cm.

Hábitat: Mesopelágico

Posición en la columna de agua: Epipelágico, mesopelágico

Profundidad: 0 – 2091 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Salobre; Marino.

Distribución: Mundial.

Tipo de alimentación: Planctívoro.

Dieta: Fitoplancton y materia orgánica particulada

Serranus aequidens

Nombre común: Serrano de agua profunda, Cabrilla manchada



Descripción: Alargado, con la base de la cola delgada; cabeza larga; hocico corto; ojo grande; boca grande, alcanza debajo del borde posterior de la pupila; mandíbula inferior un poco prominente.

Tamaño: Alcanza 24.5 cm.

Hábitat: Bentónico, batidemersal, asociado a arrecife.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 75-265 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Solo Marino.

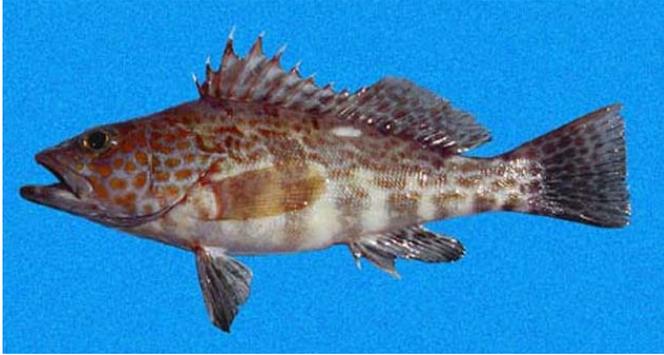
Distribución: Del sur de California al oeste del Golfo de California; México central a Colombia central y las islas oceánicas (Revillagigedos, Cocos, Clipperton, Malpelo y Galápagos).

Tipo de alimentación: Carnívoro.

Dieta: crustáceos bentónicos (camarones/cangrejos); pulpos/calamares/sepias; peces óseos.

Paralabrax sp

Nombre común: Camotillo



Descripción: Color café claro en los dos tercios superiores, blanco abajo; cerca de 6-10 manchas blancas grandes en la mitad superior del costado, y manchas más pequeñas, irregulares, café oscuro en las áreas vecinas; a veces una franja blancuzca de la esquina superior del opérculo al centro de la base de la aleta caudal; aleta caudal blanca en la base con una barra vertical oscura en la parte media y un área ancha amarillenta en la parte posterior.

Tamaño: crece hasta por lo menos 52 cm.

Hábitat: Bentónico, asociado a arrecife.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 10-75 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Solo Marino.

Distribución: Zona Ecuatorial (Costa Rica hasta Ecuador + Galápagos, Clipperton, Cocos, Malpelo).

Tipo de alimentación: Carnívoro.

Dieta: peces óseos; crustáceos móviles bentónicos (camarones/cangrejos); pulpos/calamares/sepias.

Paranthias colonus

Nombre común: Gringo



Descripción: Cuerpo alargado, fusiforme; los juveniles a menudo son de color amarillo brillante con 5 manchas pequeñas oscuras en el dorso; adultos café verdusco en el dorso, rojizo abajo, con 5 manchas blancas o blanco azuladas en la parte posterior del cuerpo; aletas rojizas.

Tamaño: Hasta 36 cm.

Hábitat: Bentónico, asociado a arrecife.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 0-100 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Solo Marino.

Distribución: Parte central de Baja y el Golfo de California a Perú y las islas oceánicas (Revillagigedos, Cocos, Clipperton, Malpelo y Galápagos).

Tipo de alimentación: Carnívoro, Planctívoro.

Dieta: zooplancton; crustáceos pelágicos; peces óseos; huevos pelágicos de peces.

Pontinus clemensi

Nombre común: Brujo



Descripción: Cabeza muy osificada, con numerosas espinas; línea lateral con tubos sobre las escamas; cuerpo y aletas rosadas; amarillo-naranja: a lo largo de la mandíbula superior, una banda desde el ojo hasta la punta de la mandíbula superior, un parche sobre la mejilla inferior, un parche detrás del ojo, un parche sobre el dorso y por encima de la pectoral; manchas negras pequeñas irregulares y densas sobre los 2/3 superiores de la cabeza y el cuerpo, y todas las aletas; puntas de las espinas rosadas; unas pequeñas manchas amarillas sobre la base de la pectoral.

Tamaño: 56 cm.

Hábitat: Bentónico, asociado a fondos arenosos.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 50-110 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Solo Marino.

Distribución: Zona Ecuatorial (Costa Rica hasta Ecuador + Galápagos, Clipperton, Cocos, Malpelo).

Tipo de alimentación: Carnívoro.

Dieta: pulpos/calamares/sepias; peces óseos; crustáceos móviles bentónicos (camarones/cangrejos).

Otophidium indefatigabile

Nombre común: Congriperla listada, Congribadejo listado



Descripción: Grisáceo a blanco plateado; cerca de 9-12 barras oscuras en la mitad superior del costado; márgenes de los radios anteriores dorsales y anales de color blanco.

Tamaño: Crece hasta al menos 12 cm.

Hábitat: Bentónico, asociado a fondos arenosos.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 5-90 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Solo Marino.

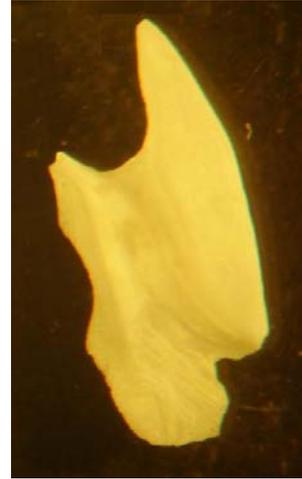
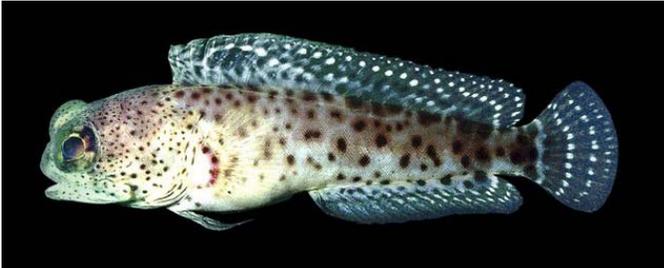
Distribución: Parte central de Baja y el Golfo de California a Perú y las islas oceánicas (Revillagigedos, Cocos, Clipperton, Malpelo y Galápagos).

Tipo de alimentación: Carnívoro.

Dieta: peces óseos; crustáceos móviles bentónicos (camarones/cangrejos).

Opistognathus punctatus

Nombre común: Bocón punteado



Descripción: Color gris claro o café, con numerosos puntos pequeños oscuros en la cabeza y el cuerpo, manchas más grandes, negruzcas en el costado y las aletas.

Tamaño: Máximo hasta 40 cm.

Hábitat: Bentónico, asociado a fondos arenosos y rocosos.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 5-20 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Marino; Solo Marino.

Distribución: Sur de Baja y el Golfo de California, Costa Rica hasta Ecuador y las islas oceánicas (Revillagigedos, Cocos, Clipperton, Malpelo y Galápagos).

Tipo de alimentación: Carnívoro.

Dieta: peces óseos; crustáceos móviles bentónicos (camarones/cangrejos); gasterópodos/bivalvos móviles bentónicos.

Synodus lacertinus

Nombre común: Garrobo de arrecife, Lagarto de arrecife



Descripción: Color café moteado a rojizo en la mitad superior, blanco abajo; dorso con alrededor de 5 marcas cafés o rojas en forma de montura, generalmente se extiende en los costados como barras irregulares; parte inferior del costado con 10-12 manchas rojas a cafés; aletas dorsal y caudal con barras oscuras angostas.

Tamaño: Crece hasta al menos 20 cm.

Hábitat: Bentónico, asociado a fondos arenosos y rocosos.

Posición en la columna de agua: Fondo; Fondo solamente.

Profundidad: 1-156 m.

Presencia: Residente.

Salinidad: Solo marino.

Distribución: Distribución: Parte central de Baja y el Golfo de California a Perú y las islas oceánicas (Revillagigedos, Cocos, Clipperton, Malpelo y Galápagos).

Tipo de alimentación: Carnívoro.

Dieta: crustáceos bentónicos (camarones/cangrejos); pulpos/calamares/sepias; peces óseos.