



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**CONTENIDO ENERGÉTICO Y ÁCIDOS GRASOS BIOMARCADORES
EN DOS RUTAS TRÓFICAS QUE LLEGAN AL LOBO MARINO,
Zalophus californianus.**

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

PRESENTA
MARÍA TRINIDAD RODRÍGUEZ VALENZUELA

LA PAZ, B. C. S., MÉXICO,
DICIEMBRE DE 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 9 del mes de Noviembre del 2009 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:

“CONTENIDO ENERGÉTICO Y ÁCIDOS GRASOS BIOMARCADORES EN DOS RUTAS TRÓFICAS QUE LLEGAN AL LOBO MARINO, *Zalophus californianus*”

Presentada por el alumno:

RODRÍGUEZ
Apellido paterno

VALENZUELA
materno

MARÍA TRINIDAD
nombre(s)

Con registro:

B	0	7	1	2	0	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 AURIOLÉS GAMBOA

PRESIDENTE

SECRETARIO

DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

DR. SERGIO AGUÍÑIGA GARCÍA

SEGUNDO VOCAL

TERCER VOCAL

DRA. BERTHA OLIVIA ARREDONDO VEGA
2°. DIRECTOR

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 19 del mes Noviembre del año 2009, el (la) que suscribe BIOL. MARÍA TRINIDAD RODRÍGUEZ VALENZUELA alumno(a) del

Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B071207 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

y cede los derechos del trabajo titulado:

DRA. BERTHA OLIVIA ARRENDODO VEGA

“CONTENIDO ENERGÉTICO Y ÁCIDOS GRASOS BIOMARCADORES EN

DOS RUTAS TRÓFICAS QUE LLEGAN AL LOBO MARINO, *Zalophus californianus*”

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: mtrodriguezv@hotmail.com dgamboa@ipn.mx kitty04@cibnor.mx

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

BIOL. MARÍA TRINIDAD RODRÍGUEZ VALENZUELA

nombre y firma

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG
LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE TABLAS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	7
4. HIPÓTESIS.....	8
5. OBJETIVOS.....	9
6. METODOLOGÍA GENERAL.....	10
6.1 Área de estudio.....	10
6.2 Dinámica oceanográfica del área de estudio.....	11
6.3 Colecta de los organismos.....	13
6.4 Trabajo de laboratorio.....	15
CAPÍTULO I	
CONTENIDO ENERGÉTICO (KJ/KG) DE LAS PRESAS PRINCIPALES DE <i>Zalophus californianus</i>, DEL BAC DE BAHÍA MAGDALENA, MEDIANTE EL ANÁLISIS QUÍMICO DE PROTEÍNAS, CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS.....	19
I. Introducción.....	19
II. Metodología.....	21
2.1 Determinación de proteínas.....	21
2.2 Determinación de carbohidratos.....	22
2.3 Determinación de cenizas.....	23
2.4 Determinación de lípidos.....	23
2.5 Estimación del contenido energético.....	25
2.6 Tratamiento estadístico.....	25

III. Resultados.....	27
3.1 Composición química de las presas principales de <i>Z. californianus</i> ...	27
3.2 Contenido de Kcal de las presas principales de <i>Z. californianus</i>	30
3.3 Contenido energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS) de las presas principales y del <i>Z. californianus</i>	31
3.4 Análisis de lípidos en la grasa de hembras de <i>Z. californianus</i>	34
IV. Discusiones.....	36
V. Conclusiones.....	46

CAPÍTULO II

ÁCIDOS GRASOS BIOMARCADORES RASTREADOS EN DOS RUTAS TRÓFICAS QUE LLEGAN A <i>Zalophus californianus</i>, DEL BAC DE BAHÍA MAGDALENA	47
I. Introducción.....	
II. Metodología.....	47
2.1 Determinación de ácidos grasos.....	49
2.2 Tratamiento estadístico de datos.....	49
III. Resultados.....	51
3.1 Caracterización de los ácidos grasos biomarcadores de la base de dos rutas tróficas.....	53
3.2 Ácidos grasos biomarcadores rastreados a través de las dos rutas tróficas.....	57
3.3 Calidad de los AG a través de los niveles tróficos hasta <i>Z. californianus</i>	61
IV. Discusiones.....	65
V. Conclusiones.....	70

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ALIMENTACIÓN DE <i>Zalophus californianus</i>, EN RELACIÓN A SU CICLO ANUAL	71
I. Introducción.....	71
II. Metodología.....	74
2.1 Consumo de alimento por los lobos marinos de Isla Margarita.....	74
2.2 Contribución energética de las presas principales para <i>Z. californianus</i>	76
III. Resultados.....	78
3.1 Consumo de alimento por los lobos marino de Isla Margarita.....	78
3.2 Contribución energética que tienen las presas principales para el lobo marino de California, en cada momento del año.....	80
IV. Discusiones.....	83
V. Conclusiones.....	85

7. LITERATURA CITADA.....	86
8. ANEXOS.....	103

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena B.C.S., México, playa occidental de la Isla Magdalena y zona marina adyacente (ZTTT).....	10
2. Esquema simplificado de dos rutas tróficas que llegan al lobo marino de California <i>Zalophus californianus</i> , en el área adyacente a Bahía Magdalena, durante un periodo de alta y baja productividad.....	13
3. Corte transversal de la grasa (estrato interno y externo) de hembras de <i>Zalophus californianus</i> , varados en Isla Magdalena.....	18
4. Composición química (PS) de <i>Sardinops sagax</i> para el periodo frío y cálido, de la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar $\alpha=0.05$). $F=0.58125$	28
5. Composición química (PS) de <i>Merluccius angustimanus</i> para el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar, $\alpha=0.05$, * $p<0.05$).....	29
6. Composición química (PS) de <i>Kathetostoma averruncus</i> para el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar, $\alpha=0.05$, * $p<0.05$).....	29
7. Composición química (PS) de <i>Pleuroncodes planipes</i> para el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar, $\alpha=0.05$, * $p<0.05$).....	30

8. Contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS de <i>Sardinops sagax</i> , <i>Merluccius angustimanus</i> , <i>Kathetostoma averruncus</i> y <i>Pleuroncodes planipes</i> en el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (* $p < 0.05$).....	32
9. Contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS aportado por los lípidos en fitoplancton, zooplancton, detritus en sedimento y grasa interna de hembras de <i>Zalophus californianus</i> del periodo frío y cálido, en la región adyacente a Bahía Magdalena. * Diferencia significativa ($p < 0.05$).....	33
10. Análisis del contenido de lípidos del estrato de grasa interno y externo en hembras de <i>Zalophus californianus</i> , del periodo frío y cálido. (Media \pm Error Estándar).....	35
11. Análisis de componentes principales del perfil de AG de fitoplancton y detritus-MOP en sedimento. Los círculos representan la separación entre estos componentes.....	54
12. Perfil de ácidos grasos de fitoplancton (n=3) y detritus en sedimento (n=5), con sus respectivos ácidos grasos biomarcadores. * Diferencia significativa.....	56
13. Análisis exploratorio de componentes principales de los perfiles de ácidos grasos. a) NT1 (fitoplancton RT1 y detritus RT2), b) NT2 (<i>S. sagax</i> RT1 y <i>P. planipes</i> bentónica RT2), c) NT3 (<i>M. angustimanus</i> RT1 y <i>K. averruncus</i> RT2), y d) NT4 (<i>Zalophus californianus</i> de periodo frío RT1 y cálido RT2). En todos los casos, los círculos representan la separación entre cada componente trófico.....	57

14.	Porcentaje de los ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton (20:5 ω 3 y 22:6 ω 3) y bacterias (AG RAM y 16:0 TM) en los niveles tróficos de la RT1 y RT2 hasta <i>Zalophus californianus</i> , en el BAC de Bahía Magdalena. * Diferencia significativa ($p < 0.05$).....	59
15.	Dendograma de clasificación basado en los ácidos grasos biomarcadores de la base de ambas rutas tróficas (fitoplancton y detritus). (<i>Kave</i>) <i>K. averruncus</i> , (<i>Fito</i>) <i>fitoplancton</i> , (<i>Ssag</i>) <i>S. sagax</i> , (<i>Ppla</i>) <i>P. planipes</i> , (<i>Mang</i>), <i>M. angustimanus</i> , (<i>Zcal</i>) <i>Z. californianus</i>). La línea punteada representa la línea de corte para la formación de los grupos.....	60
16.	Porcentaje de los AGS, AGMI, AGPI y RAM en los niveles tróficos de la RT1 y RT2 hasta <i>Zalophus californianus</i> , en el BAC de Bahía Magdalena. * Diferencia significativa ($p < 0.05$).....	62
17.	Suma del porcentaje de los AGPI y AGE en cada una de las rutas tróficas (RT1 y RT2). Los * marcan diferencia significativa $p < 0.05$...	63
18.	Suma del porcentaje de los AGPI y AGE en las presas principales de lobo marino de California, <i>Zalophus californianus</i> del periodo frío y cálido, en el BAC de Bahía Magdalena. Los * marcan diferencia significativa $p < 0.05$	64
19.	Consumo de biomasa (t) de cada categoría de la población de lobos marinos (CBM_i) para el mes de marzo y noviembre de Isla Santa Margarita.....	79
20.	Energía suministrada (KJ) por cada una de las presas principales a la población de lobo marino de California (<i>S. sagax</i> , <i>M.</i>	

<i>angustimanus</i> y <i>K. averruncus</i>) para el mes de marzo PF y noviembre PC.....	81
21. Modelo conceptual de la variación de la calidad de la alimentación del <i>Z. californianus</i> en un ciclo anual.....	82
22. Ajuste de la curva de calibración de proteínas, con un valor de R^2 de .9908 y con el valor de la pendiente (Y) de 0.0156.....	103
23. Ajuste de la curva de calibración realizada para carbohidratos donde se obtuvo una $R^2 = .998$ y un valor de la pendiente $Y = 0.0079$	104

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
1. Tamaño de muestra de cada una de las especies o componentes tróficos analizados del BAC de Bahía Magdalena.	15
2. Peso, talla y tamaño de muestra de cada una de las especies utilizadas para el análisis químico, de la región adyacente a Bahía Magdalena.....	27
3. Contenido de Kcal/Kg en PS de <i>Sardinops sagax</i> , <i>Merluccius angustimanus</i> , <i>Kathetostoma avaruncus</i> y <i>Pleuroncodes planipes</i> en el periodo frío y cálido, de la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm DE $\alpha=0.05$).....	31
4. Biomasa (Kg/día) que consume cada categoría de lobos marinos (Aurioles-Gamboa <i>et al.</i> , 2003), y censos de la población de Isla Santa Margarita en marzo (Asencio-Estrada, datos sin publicar) y noviembre (extrapolado).....	78
5. Valor energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PH) y consumo de biomasa de cada unas de estas especies presa (CBEP, Kg), por parte de la población de lobo marino de California, estos valores involucran el Índice de Importancia por especie y los valores de biomasa total consumida por la población de lobo marino para marzo y noviembre.	80
6. Curva de calibración para proteínas mediante el método de Bradford (1976), utilizando la Bovine Gama Globulina (IgG) como estándar externo (100 $\mu\text{g}/\text{mL}$), se preparó un gradiente de concentración de 5 a 25 $\mu\text{g}/\text{mL}$	103

7. Curva de calibración para carbohidratos mediante el método de de fenol-sulfúrico (Dubois <i>et al.</i> , 1956), se utilizó glucosa como estándar externo (160 µg/mL), con un gradiente de concentración de 0 a 64 µg/mL.....	104
8. Comparación de los perfiles de ácidos grasos de fitoplancton y detritus del sedimento del BAC de Bahía Magdalena.....	105

GLOSARIO

Ácidos grasos (AG).- Unidades básicas de los lípidos que les dan sus características físicas y biológicas. Formados por una cadena de átomos de carbono de longitud variable, unido en un extremo a un grupo carboxilo (COOH, cabeza polar), y en la cola hidrocarbonada (no-polar) presenta un grupo metilo (CH₃).

AG saturados (AGS).- Ácidos grasos que dentro de su estructura molecular no cuentan con enlaces carbono - carbono insaturados. Se encuentran en grasas, particularmente de origen animal.

Ácido graso monoinsaturado (AGMI).- Ácido con un enlace covalente doble en su estructura.

AG poliinsaturados (AGPI).- Ácidos grasos que tienen más de un enlace insaturado. Aceites con este tipo de ácidos se solidifican a temperaturas más bajas que los aceites formados de ácidos grasos saturados o mono-insaturados.

AG esenciales (AGE).- Son ácidos grasos que los organismos no pueden sintetizar pero que necesitan para el correcto funcionamiento del metabolismo. Incluye el ácido linolenico 18:2 ω6 (LA) y el alfa-linolenico 18:3 ω6 (ALA). El docosahexanoico 22:6 ω3 (DHA) y el eicosapentanoico 20:5 ω3 (EPA) son considerados por algunos como ácidos grasos esenciales; pueden ser producidos por algunos organismos (como los mamíferos) con base al LA y el ALA pero a un nivel muy bajo e insuficiente.

AG biomarcadores.- AG característicos de organismos o grupos de organismos los cuales pueden ser rastreados a través de las redes alimenticias, que ofrecen información sobre la condición de un organismo o de un proceso del ecosistema.

Biomasa.- Es la cantidad en peso de organismos vivos presentes por unidad de volumen o área.

Cadena alimenticia.- Expresión empleada para referirse a la dependencia alimenticia de unos organismos hacia otros, en una serie que comienza con los productores (plantas) y termina con los carnívoros de mayor tamaño.

Centros de Actividad Biológica (BAC).- Región relativamente pequeña en los océanos cuya característica más relevante es la alta productividad biológica, que

contrasta con la de masas de agua adyacente, y que trasciende dentro y hacia otros ecosistemas.

Contenido energético.- Valor energético basado en la cantidad de kilocalorías o KiloJoules o megacalorías o megajoules.

Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC/MS).- Método que ofrece una alta resolución en las separaciones de mezclas de compuestos complejos. En años recientes, la GC/MS se ha considerado como una de las técnicas más valiosas para la identificación de ácidos grasos y sus derivados.

Especie bio-indicadora.- Especie que refleja variaciones de productividad de manera conspicua. Tal es el caso del lobo marino de California *Zalophus californianus*.

Ecosistema.- Los organismos vivos (biótico) y su ambiente inerte (abiótico), están estrechamente ligados y actúan recíprocamente.

Especialista plástico.- Consumidor que se alimenta de pocos recursos en alta frecuencia y en otro número mayor de recursos en bajas proporciones.

Estándar externo.- Sustancia de concentración conocida y molécula similar a la que se va a analizar, mediante este se construye una curva de calibración utilizando diluciones y se relaciona la concentración con la señal obtenida, que luego se extrapola a las muestras utilizadas.

Fidelidad al sitio. Patrón conductual a partir del cual un individuo regresa a un mismo sitio, natal o no.

Filopatría. Patrón conductual a partir del cual un individuo regresa a un mismo sitio natal.

Flujo de energía.- La luz solar que se absorbe se utiliza por virtud de la fotosíntesis y se transmite esta energía desde las plantas verdes a los herbívoros y carnívoros.

Gradiente.- Tasa de aumento o disminución de una magnitud con relación a una unidad de cambio o por unidad de distancia.

Lactancia. Periodo de tiempo en el que una madre alimenta o le transfiera leche a su cría (particularmente rica en lípidos). Culminando al momento del destete.

Lípidos.- Compuestos químicos que tienen una apariencia grasosa y que no son solubles en agua pero si en algunos solventes orgánicos. Incluyen a los ácidos grasos, ceras, colesterol, esteroides y pigmentos etc.

Masa de agua.- Cuerpo de agua identificable por sus propiedades físicas distintivas del agua circundante. Estas propiedades incluyen la temperatura, salinidad y razones isotópicas.

Metabolismo.- Conjunto de reacciones bioquímicas común en todos los seres vivos, que ocurren en las células, para la obtención e intercambio de materia y energía con el medio ambiente y síntesis de macromoléculas a partir de compuestos sencillos con el objetivo de mantener los procesos vitales (nutrición, crecimiento, relación y reproducción).

Nivel trófico.- Clasificación funcional de los organismos de una comunidad conforme a sus relaciones alimenticias o bien a la manera en la cual obtiene su materia y energía.

Oligotrófico.- Estado de un ecosistema en el cual hay baja disponibilidad de nutrientes y una consecuentemente baja producción primaria.

Otárido. Pinnípedo que se engloba dentro del grupo de los lobos marinos y los lobos de pelo fino.

Productividad primaria.- Tasa de producción de carbono orgánico (gramos por unidad de tiempo) por la fotosíntesis en un área determinada.

Redes tróficas.- Conjunto de relaciones alimentarias entre especies dentro de un ecosistema.

Síntesis de novo.- Biosíntesis de los ácidos grasos a partir de los carbohidratos o proteínas.

Surgencias.- Ascenso de agua profunda hacia las capas superficiales por acción de los vientos.

Quilomicrones.- Lipoproteínas, las cuales transportan los ácidos grasos derivados de la dieta principalmente los TG.

Varamiento.- Evento en el que un mamífero marino se encuentra sobre la playa o confinado a aguas muy someras, de manera que no sea capaz liberarse por sus propios medios.

Viaje de alimentación. Patrón conductual a partir del cual consumidor realiza viajes de distinta magnitud para la obtención de alimento.

ABREVIATURAS:

BAC: Centros de Actividad Biológica.

PC: Periodo Cálido, frente a Bahía Magdalena comprende a verano y otoño.

PF: Periodo Frío, frente a Bahía Magdalena comprende a invierno y primavera.

PH: Peso Húmedo, muestra fresca sin liofilizar.

PS: Peso Seco, muestra liofilizada.

RESUMEN

El Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena, presenta un patrón de variabilidad estacional en su productividad primaria, asociada a diferentes mecanismos físicos que generan una secuencia de condiciones eutróficas y oligotróficas. En este ecosistema existe una población de lobo marino de California (*Zalophus californianus*), que se considera especie bio-indicadora porque refleja variaciones de productividad de manera conspicua. Así mismo, existen bio-marcadores de ácidos grasos AG que ofrecen información sobre la condición de un organismo o de un proceso del ecosistema. Las cadenas tróficas marinas pueden estar influenciadas tanto por la energía del fitoplancton como del detritus y dado que estos componentes generan AG particulares, es posible determinar el origen de la energía rastreando la presencia y abundancia de AG biomarcadores. Este estudio plantea que el cambio en la base de la cadena trófica (fitoplancton y detritus) asociado a condiciones de alta o baja productividad respectivamente, puede reflejarse en el contenido energético y en el perfil de AG de los siguientes niveles tróficos, incluyendo al lobo marino de California. Se eligieron dos rutas tróficas (RT) que llegan al lobo marino, basadas en la variación estacional de sus presas principales, identificadas con base al análisis de excretas así como en el contenido estomacal de estas presas, hasta llegar a la base de la cadena. Los organismos representan diferentes niveles tróficos (detritus en sedimento, fitoplancton, crustáceos, peces, y lobos marinos), estos fueron obtenidos durante dos cruceros con los mayores contrastes oceanográficos: bajas temperaturas, intensas surgencias, afloramientos de fitoplancton y reproducción de especies importantes en marzo (RT1) versus noviembre (RT2) de 2007. Las muestras de lobos marinos fueron obtenidas durante todo el año a partir de organismos varados en Isla Magdalena. Mediante el análisis químico se estimó el contenido energético KJ/Kg^{-1} en peso seco (PS) de cada nivel trófico y el porcentaje del total de ácidos grasos se determinó por Cromatografía de Gases Espectrofotometría de Masas (GC-MS) en ambos meses. El contenido energético (KJ/Kg^{-1} PS) de las presas principales del lobo marino mostró variación significativa entre marzo y noviembre, excepto para la sardina *Sardinops sagax* ($18,989 \pm 4,589$ versus $17,781 \pm 4,114$, respectivamente $p > 0.05$), Sin embargo, las otras especies importantes mostraron un incremento en

sus valores de energía: merluza *Merluccius angustimanus* ($8,589 \pm 1,778$ y $16,980 \pm 2,167$), pez sapo *Kathetostoma averruncus* ($8,154 \pm 1,478$ y $14,004 \pm 2,347$) y langostilla *Pleuroncodes planipes* ($9,338 \pm 3,084$ y $13,043 \pm 2,698$). Respecto a los AG biomarcadores, en marzo la ruta trófica basada sobre el fitoplancton RT1 fue evidente por la presencia de AG característicos de diatomeas (20:5 ω 3) y dinoflagelados (22:6 ω 3), mientras que en noviembre la RT2 la materia orgánica particulada (detritus), lo hizo con la presencia de AG marcadores de bacterias (AG ramificados iso y anteiso del 13:0 al 18:0 y 16:0 TM). Estos AG biomarcadores fueron rastreados hasta el lobo marino en marzo y noviembre, encontrándose que los AG del fitoplancton: 20:5 ω 3 (3.76 ± 1.07 y 1.85 ± 0.88 $p < 0.05$) y 22:6 ω 3 (13.73 ± 3.97 y 13.70 ± 5.95), tuvieron el mayor porcentaje en marzo (RT1) cuando opera con mayor importancia el fitoplancton, por otro lado, los AG ligados con el detritus: 16:0 TM (0.43 ± 0.20 1.21 ± 1.06) y la sumatoria de AG ramificados (1.38 ± 0.4 y 2.52 ± 1.6), fueron más abundantes en noviembre (RT2), cuando toma importancia la vía del detritus. Como se esperaba por los conocimientos previos sobre la manera en que opera ese ecosistema costero.

ABSTRACT

The Biological Activity Center (BAC) of Magdalena Bay, shows a seasonal variability in primary productivity associated with different physical mechanisms that generate eutrophic and oligotrophic conditions. In this ecosystem there is a California sea lion (*Zalophus californianus*) population, a species considered as bio-indicator because it reflects environmental productivity changes conspicuously. Likewise, there are fatty acids FA biomarkers that provide information about the condition of an organism or an ecosystem process. Marine food chains can be influenced by both; the energy of phytoplankton and the detritus and because these components generate particular FAs, it is possible determine the energy source by tracking the presence and abundance of FA biomarkers. This study argues that the change in the base of the food chain (phytoplankton and detritus) generated by conditions of high or low productivity may be reflected in the energy content and the profile of FA of the following trophic levels up to the California sea lion. Material and organisms representing various trophic levels (detritus in sediments, phytoplankton, crustaceans, fishes, and sea lions), were sampled during two cruises with major oceanographic contrasts: low temperature, intense upwelling, phytoplankton blooms and breeding of key species in March (RT1) versus November (RT2) of 2007 with opposite conditions. Sea lion samples were obtained throughout the year from strandings on Isla Magdalena. We performed chemical analysis to estimate energy content $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ dry weight (DW) of each trophic level and percent of total FA by gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS) in both months. The energy content ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ DW) of the main sea lion's prey showed significant variation between March and November, except for sardine ($18,989 \pm 4,589$ versus $17,781 \pm 4,114$, respectively $p > 0.05$), while other important species showed increasing energy values: Dwarf hake *Merluccius angustimanus* ($8,589 \pm 1,778$ to $16,980 \pm 2,167$), the smooth stargazer *Kathetostoma averruncus* ($8,154 \pm 1,478$ to $14,004 \pm 2,347$) and pelagic red crab ($9,338 \pm 3,084$ to $13,043 \pm 2,698$). The FA biomarkers in March confirm the route the trophic path based on phytoplankton RT1, as became evident by the presence of FA diatoms biomarkers (20:5 ω 3) and dinoflagelates (22:6 ω 3), whereas in the November the detritus RT2 was evident by the presence of FA linked to bacteria (sum branched FA and 16:0 TM). These two kind of biomarkers were tracked up to

the sea lion in March and November respectively, finding that phytoplankton FA had greater percent in March of 20:5 ω 3 (3.93 ± 1.06 versus 1.41 ± 0.16 , $p < 0.05$) and 22:6 ω 3 (15.00 ± 2.27 versus 11.44 ± 4.765), while detritus linked FA: 16:0 TM (0.49 ± 0.25 versus 1.46 ± 1.36 ,) and the sum of branched FA (1.51 ± 0.13 versus 2.91 ± 1.76) were more abundant in November. The results match with the previous knowledge regarding how the dynamics of the coastal ecosystem.

1. INTRODUCCIÓN

En la costa occidental de la Península de Baja California, existen áreas que soportan elevadas biomásas de organismos a lo largo del año, por lo que han sido denominadas como “Centros de Actividad Biológica” (BAC, siglas en inglés) (Lluch-Belda *et al.*, 2003; Etnoyer, *et al.*, 2004). Su alta productividad está asociada a mecanismos físicos y procesos biogeoquímicos de los ecosistemas donde se presentan. En el área aledaña a Bahía Magdalena, B. C. S., se ha identificado un BAC que a su vez se ubica dentro de la llamada zona de transición templado-tropical (ZTTT), que se reconoce en general por su alta producción biológica (Lluch-Belda *et al.*, 2003), y se caracteriza por la elevada productividad primaria y concentración de clorofila en superficie ($0.31 \text{ gC m}^{-2}\text{d}^{-1}$ y $4.5 \text{ mg Chla m}^{-3}$ respectivamente) (Longhurst *et al.*, 1967; Martínez, 1993).

El BAC de Bahía Magdalena presenta una variabilidad estacional determinada en parte por la Corriente de California (CC) (Lynn *et al.*, 1998, Bograd *et al.*, 2000), asociada a una mayor intensidad estacional de surgencias que muestra incrementos de febrero a junio y un marcado relajamiento hacia el mes de septiembre (Zaytsev *et al.*, 2004). Es en este periodo cuando la Contracorriente Costera (CCC) arrastra agua de origen tropical hacia el norte (Roden, 1971), y se caracteriza por una mínima actividad de surgencias (Bakun y Nelson, 1977). Cuando las surgencias se intensifican, la actividad del fitoplancton se incrementa ($4.5 \text{ mg Chla m}^{-3}$) y durante su florecimiento, varias especies como la langostilla *Pleuroncodes planipes* y la sardina Monterrey *Sardinops sagax*, sincronizan sus periodos de desove asegurando que sus larvas encuentren alimento en abundancia (Gómez-Gutiérrez y Sánchez-Ortiz, 1995; Felix-Uraga, 2006). En tanto en el periodo de relajamiento la actividad del fitoplancton disminuye a $0.36 \text{ mg Chla m}^{-3}$ (Gaxiola y Álvarez, 1986; Hernández, 1993), y la materia orgánica en forma detrítica es relativamente importante en ese periodo (Martínez *et al.*, 1995; Aguíñiga, 2000; Silverberg *et al.*, 2004).

En la región adyacente a Bahía Magdalena, existe una población de lobos marinos (*Zalophus californianus*) cercana a los 5,000 individuos (Aurioles-Gamboa y Le Boeuf, 1991; Bautista-Vega, 2002) que habitan dos colonias separadas por 70

Km: 1) Isla Santa Margarita, que es una colonia reproductora, donde las hembras adultas son la categoría más abundante de la población (60-65%) (Hernández-Camacho *et al.*, 2008), y 2) Cabo San Lázaro en Isla Magdalena, que es un área de descanso de casi 500 individuos, principalmente machos adultos y subadultos (Fig. 1).

La dieta del *Z. californianus* se basa principalmente en peces y en menor proporción de cefalópodos y crustáceos (Antonelis *et al.*, 1984; Bautista-Vega, 2002; García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Aurióles y Camacho, 2007; Porras-Peters *et al.*, 2008). La depredación sobre peces se basa especialmente en aquellos que tienden a formar cardúmenes, como la sardina Monterrey (*S. sagax*), la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*), la macarela del Pacífico (*Scomber japonicus*) y la merluza norteña (*Merluccius productus*) (Aurióles, 1988; Lowry *et al.*, 1991; García-Rodríguez y Aurióles-Gamboa, 2004). El lobo marino de California se ha descrito como oportunista, por el gran número de especies de las que se alimenta, pero recientemente se ha clasificado como especialista plástico, ya que aunque se alimenta de un espectro compuesto de pocas especies, estas cambian principalmente en su porcentaje de importancia (Lowry *et al.*, 1991; García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Aurióles y Camacho, 2007).

En la región adyacente a Bahía Magdalena, la disponibilidad de las especies presa más importantes en la dieta del lobo marino son: la sardina Monterrey *S. sagax*, merluza enana *Merluccius angustimanus*, langostilla *P. planipes* (Bautista-Vega, 2002); sin embargo esta dieta se modifica, y parece asociarse al efecto estacional de la productividad del ecosistema (Mercuri, 2007), por lo que se supone que debido a estos cambios en la productividad, el contenido energético de su dieta cambie, con un efecto diferencial en el aporte y calidad de energía de las presas que consume.

La medida más útil de estimar la contribución de las especies presa en los requerimientos de energía de un depredador, es conociendo su contenido energético (Reynolds y Rommel, 1999). Esta información puede usarse en conjunto con datos de estimación de tamaño poblacional, composición de edad, sexo, distribución y

estructura social para calcular la contribución de una especie al flujo de energía en el ecosistema (Gaskin, 1982; Hennemann, 1983; Lavigne *et al.*, 1986).

Una forma de reconocer cambios en las condiciones específicas de un ecosistema marino, es mediante el estudio de especies bio-indicadoras; consideradas así porque reflejan las variaciones de productividad de manera conspicua, siendo éste el caso del lobo marino de California (Aurioles *et al.*, 2000). Estos organismos son depredadores de nivel trófico alto, altamente visibles, que requieren grandes cantidades de alimento para sostener sus poblaciones (García-Rodríguez y Aurioles-Gamboa, 2004; Porras-Peters, 2004). Así mismo, existen biomoléculas (biomarcadores, como los ácidos grasos) que ofrecen información sobre la condición nutricional de un organismo, o bien, indican algún proceso en el ecosistema (Sargent *et al.*, 1987, Parrish *et al.*, 2000).

Los ácidos grasos son un grupo de moléculas que constituyen mayoritariamente a los lípidos encontrados en todos los organismos. Debido a su gran diversidad, restricciones bioquímicas y en algunos casos origen único de plantas y animales, se han utilizado en distintos campos de la investigación, extendiéndose ampliamente desde la nutrición animal, metabolismo, estudios de interacciones tróficas y salud de los ecosistemas (Parrish *et al.*, 2000, Budge *et al.*, 2006). Recientemente los ácidos grasos se han utilizado ampliamente en ecología trófica como trazadores o biomarcadores, ya que algunos son característicos de organismos o grupos de organismos; por ejemplo los ácidos grasos 16:0, 16:1 ω 7, 16:4 y 20:5 ω 3 son característicos de diatomeas, 22:6 ω 3 de dinoflagelados y otros flagelados como *Isochrysis*, el 15:0, 17:0 y 16:0 tetrametilo (TM) son indicadores de actividad bacteriana (Parkes y Taylor, 1983; Harvey y Macko, 1997), mientras que el 20:1 y 22:1 se utilizan como indicadores de zooplancton (Retnayake y Ackman, 1979; Albers *et al.*, 1996), entre otros.

Se conoce que algunos ácidos grasos esenciales (AGE, que no pueden ser sintetizados o presentan una tasa de síntesis muy baja en algunos organismos, principalmente en mamíferos marinos), como el linoléico (AL) 18:2 ω 6, α -linolénico (ALA) 18:3 ω 3, araquidónico (ARA) 20:4 ω 6, eicosapentaenoico (EPA) 20:5 ω 3, y docosahexaenoico (DHA) 22:6 ω 3 se conservan en el paso de un nivel trófico a otro

y es posible utilizarlos como biomarcadores o trazadores tróficos (Graeve *et al.*, 1994; Iverson *et al.*, 1997; Dahl *et al.*, 2000; Hooker *et al.*, 2001; Bradshaw *et al.*, 2003).

Las cadenas tróficas marinas pueden estar influenciadas tanto por la energía del fitoplancton o del detritus, que generan ácidos grasos particulares con el potencial uso de trazadores para determinar el origen de la energía a través de los distintos niveles tróficos hasta llegar a los depredadores tope como el lobo marino de California.

2. ANTECEDENTES

Los lípidos son abundantes en la mayoría de los organismos marinos, en los que su función principal es de reserva de energía y tienen sus orígenes principalmente en el fitoplancton (Sargent *et al.*, 1987; Falk-Petersen *et al.*, 1990); sin embargo, estos compuestos de alta energía también pueden ser sintetizados por algunos grupos del zooplancton (herbívoros), que rápidamente los transfieren a través de las redes alimenticias hasta los depredadores tope, incluyendo homeotermos como los mamíferos marinos (Falk-Petersen *et al.*, 1990).

Los ácidos grasos conforman un grupo grande de moléculas que constituyen mayoritariamente a los lípidos encontrados en todos los organismos, debido a su gran diversidad, restricciones bioquímicas y en algunos casos origen único de plantas y animales, se han utilizado en distintos campos de la investigación, extendiéndose ampliamente desde la nutrición animal y metabolismo hasta estudios de ecología trófica, para caracterizar la dieta (relaciones depredador-presa), trazar redes alimenticias y en el estudio de la estructura y salud de los ecosistemas (Ackman y Eaton 1966; Graeve *et al.*, 1994; Iverson *et al.*, 1997; Dahl *et al.*, 2000; Parrish *et al.*, 2000; Hooker *et al.*, 2001; Bradshaw *et al.*, 2003; Budge *et al.*, 2006).

Existe controversia en la utilización de los ácidos grasos como indicadores de la dieta (Grahl-Nielsen y Mjaavatten, 1991; Grahl-Nielsen *et al.*, 2000; Olsen y Grahl-Nielsen, 2003), en la que se argumenta que los ácidos grasos del tejido del depredador, no tienen relación directa con la composición de los ácidos grasos de las

presas, ya que se pueden presentar cambios y transformaciones durante el metabolismo antes de ser depositados en los tejidos. Thiemann *et al.* (2006), mencionan que el muestreo del tejido graso usado en los trabajos de Grahl-Nielsen y Mjaavatten, 1991; Grahl-Nielsen *et al.*, 2000; Olsen y Grahl-Nielsen, 2003 es inapropiado, así como sus análisis estadísticos, además mencionan que desconocen el metabolismo de los ácidos grasos en vertebrados, por tanto no son validos sus principios fundamentales para el uso de los ácidos grasos en la investigación de la dieta en los depredadores.

Por tal motivo, es necesario tener conocimiento básico de la bioquímica y metabolismo de los lípidos, para la adecuada interpretación de los patrones de los ácidos grasos en las reservas de grasa de los depredadores. Esta composición en la grasa de los depredadores, es el resultado de tres fuentes metabólicas: (1) los ácidos grasos de la dieta que no se modifican y que se depositan directamente en el tejido adiposo, (2) los ácidos grasos de la dieta que son modificados en la sangre entre la absorción y su depósito, y (3) los ácidos grasos derivados endógenamente que surgen de la síntesis de *novo* (biosíntesis a partir de los carbohidratos o proteínas) en los depredadores. Por tal motivo, el entendimiento de cada proceso en cualquier tejido de los depredadores es fundamental (Budge *et al.*, 2006).

En general los mamíferos marinos almacenan grandes cantidades de lípidos en una capa de grasa subcutánea (tejido adiposo), que se compone de células grasas o adipocitos constituidos principalmente por triglicéridos (TG, fuente de energía) y fosfolípidos (FL, estructural). Esta capa de grasa tiene diversas funciones, incluyendo el aislamiento térmico, reducción del costo energético durante la locomoción y como reservorio de energía (Ryg y *et al.*, 1988; Pabst, 1996). En otáridos, el sitio más importante de reservorio de energía es el cuello donde la capa de grasa puede tener una estructura estratificada. En pinnípedos se ha observado que existe una considerable variación en la estructura y contenido de lípidos entre el estrato más interno y el más externo (Ackman *et al.*, 1975; Lockyer *et al.*, 1984). Usando ácidos grasos radiactivos se ha demostrado que existe mayor concentración de TG en el estrato de grasa interno cercano al músculo (Bulla *et al.*, 2004).

En depredadores monogástricos como los mamíferos marinos, la mayor contribución de la composición de ácidos grasos del tejido adiposo es por el depósito directo de los ácidos grasos provenientes de la dieta, de tal manera que la influencia de la dieta sobre este reservorio de grasa es fácilmente identificable. Sin embargo, los otros dos procesos también juegan un papel importante, por lo que el perfil de ácidos grasos de los depredadores no es idéntico al perfil de ácidos grasos de sus presas (Budge *et al.*, 2006).

En un panorama simple y común, una presa contiene acil lípidos como los TG y FL. Durante la digestión de los depredadores, los lípidos ingeridos son hidrolizados (los enlaces éster se rompen) formando ácidos grasos libres que pasan a través de la pared de la mucosa del intestino delgado, transformándose de nuevo en acil lípidos (TG y FL). De ahí son transportados por los quilomicrones (lipoproteínas que transportan los ácidos grasos derivados de la dieta principalmente los TG) a través de la sangre a los tejidos. Una vez que los quilomicrones llegan a los tejidos son hidrolizados de nuevo y los ácidos grasos son metabolizados para energía o se reesterifican a TG para su depósito. Sin embargo, los ácidos grasos de cadena corta o media <14C (C, átomos de carbono) son la excepción, ya que no se incorporan en los quilomicrones y son transportados al hígado, donde se oxidan inmediatamente (Brindley, 1991; Papamandjaris *et al.*, 1998). Debido a este proceso, los ácidos grasos de <14C que se encuentran en los depredadores, tienen su origen solamente a partir de la síntesis *de novo* y no pueden tener relación con la dieta ni ser utilizados para caracterizarla.

Algunos ácidos grasos son usados también para formar tejido estructural (FL), o pueden ser transformados en hormonas o mensajeros secundarios. Aunque todos los tejidos contienen ácidos grasos en las estructuras de las membranas celulares o en pequeños depósitos de lípidos, el tejido adiposo (o grasa en el caso de los mamíferos marinos), es el sitio principal de almacén de los ácidos grasos especialmente de aquellos que se consumen en exceso, y está compuesto particularmente de TG, que son la principal fuente de reservorio de energía en los animales.

La modificación que se pueda presentar en las cadenas de carbono de los ácidos grasos, ocurre entre la ingestión y deposición. Los mamíferos marinos son capaces de elongar (agregar dos unidades de carbono) y desaturar (agregar dobles enlaces) las cadenas de carbono de los ácidos grasos provenientes de la dieta (Cook, 1991). Sin embargo, estas modificaciones son restringidas a ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI), que son inhibidos con el ayuno o con el alto consumo de grasa en la dieta, particularmente si se consumen ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) que son de largas cadenas de carbono. Al ayunar los organismos no sintetizan la grasa, si no que la oxidan completamente para su requerimiento energético, y cuando están consumiendo grasa en cantidades adecuadas o en exceso (incluyendo AGE y otros AGPI), no requieren sintetizarlos. En mamíferos marinos la síntesis *de novo* normalmente ocurre cuando están consumiendo una baja cantidad de grasa (alrededor de 10% del total de calorías) y altas cantidades de carbohidratos en la dieta (Volpe y Vagelos, 1973; Brindley, 1978; Cooper, 2004).

3. JUSTIFICACIÓN

En el ecosistema adyacente a Bahía Magdalena, el uso de ácidos grasos como biomarcadores para investigar flujos de energía en rutas tróficas, es nuevo y oportuno ya que esta zona es de alta relevancia ecológica (Lluch-Belda *et al.*, 2000). Su plataforma continental ha sido escasamente explotada (Aurioles *et al.*, 1995), lo que genera expectativas para desarrollar pesquerías a gran escala (Kato, 1974; Aurioles *et al.*, 1995; Casas-Valdez y Ponce, 1996).

Este es el primer estudio que utiliza al lobo marino de California como organismo bioindicador del ecosistema templado-tropical adyacente a Bahía Magdalena, donde se analiza y rastrea ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton y detritus. En este esquema se sigue el paso de los ácidos grasos biomarcadores a lo largo de dos rutas tróficas que llegan hasta el lobo marino en dos momentos del año que difieren en condiciones de productividad. Se pretende también en este estudio comparar el contenido energético (KJ) de sus presas principales y determinar

la presa más importante en cada momento con su respectiva influencia en términos de energía y composición de ácidos grasos esenciales AGE (Fig. 2).

4. HIPÓTESIS

Si la variabilidad ambiental en la escala estacional genera cambios en la importancia del fitoplancton o detritus como principales componentes de la base de las cadenas tróficas, se esperará que se refleje en el contenido energético y perfil de ácidos grasos de los siguientes niveles tróficos hasta el lobo marino de California *Zalophus californianus*.

5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el contenido energético y el uso de ácidos grasos como biomarcadores en dos rutas tróficas que llegan al lobo marino de California *Z. californianus*, durante dos periodos contrastantes de productividad del BAC de Bahía Magdalena.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

CAPÍTULO I

- Determinar el contenido energético (KJ/kg) de las presas principales de *Z. californianus* de Isla Santa Margarita (Bahía Magdalena, B.C.S.), mediante el análisis químico de proteínas, carbohidratos y lípidos en un periodo frío y cálido.

CAPÍTULO II

- Describir el perfil de ácidos grasos y detectar la presencia de biomarcadores en las dos rutas tróficas incluyendo al lobo marino de California.
- Valorar la cantidad y calidad de los ácidos grasos a través de los componentes tróficos incluyendo al lobo marino en ambos periodos del año.

CAPÍTULO III

- Desarrollar un modelo conceptual sobre la variación de la calidad de la alimentación del lobo marino con relación a su periodo de reproducción.

6. METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en el Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena B.C.S., México y dentro de la zona de transición templado-tropical (ZTTT, entre los 24° y 25° de latitud Norte y los 111° y 113° de longitud Oeste). Las estaciones de muestreo (puntos en amarillo) en los dos cruceros oceanográficos, se posicionaron frente al complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas. La colecta de tejido graso de lobos marinos se obtuvo de organismos varados en la playa occidental de Isla Magdalena (Fig. 1).

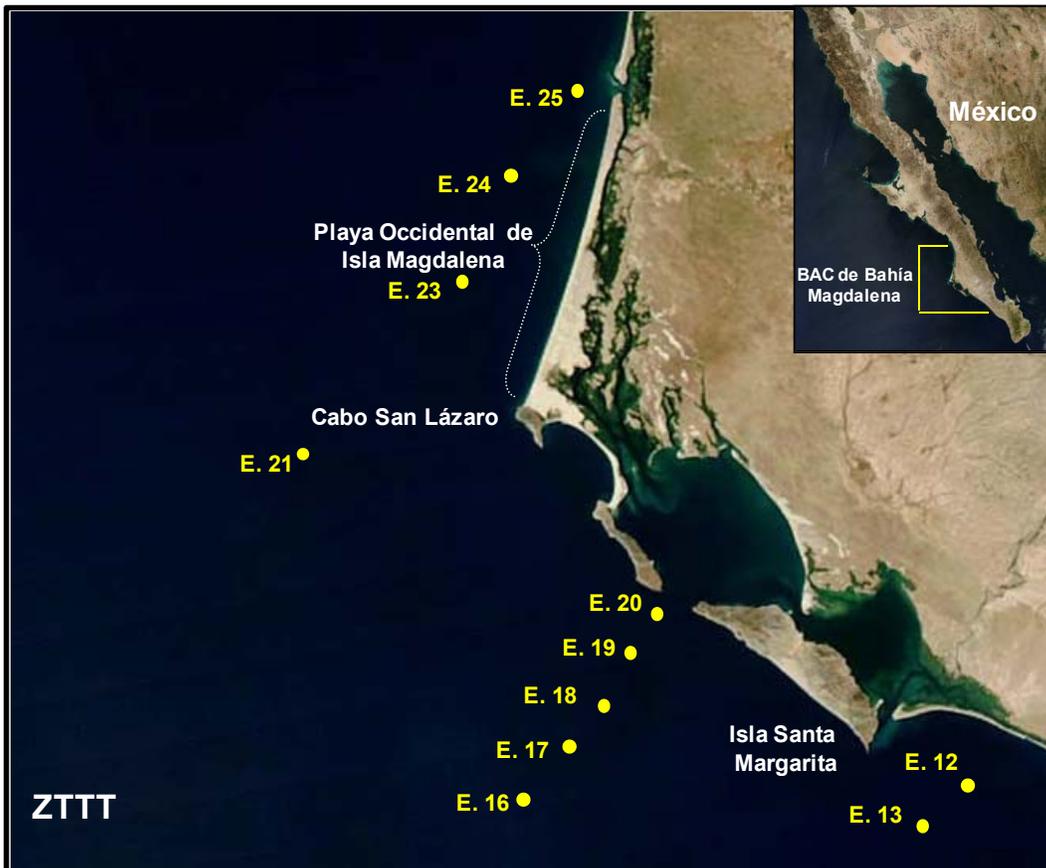


Figura 1. Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena B.C.S., México, playa occidental de la Isla Magdalena y zona marina adyacente (ZTTT).

6.2 Dinámica oceanográfica del área de estudio

El Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena, es una zona que se caracteriza por presentar alta concentración biológica (Lluch-Belda *et al.*, 2003). Las surgencias en invierno-primavera y otoño-invierno, generan altos niveles de concentración pigmentaria (Martínez-López, 1993), altas densidades de macrozooplancton (Hernández-Vázquez, 1995) y abundancia de huevos y larvas de peces neríticos como la sardina Monterrey (*Sardinops sagax*) y la anchoveta norteña (*Engraulis mordax*) (Lluch-Belda *et al.*, 2000), claramente superiores a los que se presentan en otras zonas cercanas.

En esta región, existe un sistema de corrientes que se le denomina Sistema de la Corriente de California (SCC), cuyo límite Norte es la Corriente de Alaska y el límite Sur la Corriente Norecuatorial. Este sistema produce una zona llamada de Transición Templado-Tropical sobre la costa occidental de Baja California, que va desde Punta Abreojos hasta el sur de Bahía Magdalena (Hernández-Vázquez *et al.*, 1991). Las diversas corrientes que forman el SCC aportan principalmente tres tipos de masas de agua con diferentes características y provienen de tres regiones distintas del Pacífico: la del Pacífico Subártico, la del Pacífico Norte Central y la del Pacífico Ecuatorial. La masa de agua proveniente del Pacífico Subártico es conocida como la Corriente de California CC, se caracteriza por tener salinidad y temperatura más bajas y las más altas concentraciones de nutrientes y oxígeno disuelto. Fluye fuera de la costa en los primeros 300 m de profundidad en dirección sur-este.

La masa de agua del Pacífico Norte Central tiene mayores salinidades y temperaturas y menor concentración de nutrientes y oxígeno disuelto en comparación con la subártica. Este tipo de agua se incorpora a la CC desde el oeste a la latitud de la costa sur de California y norte de Baja California. Por su parte la masa de agua ecuatorial se caracteriza por presentar los valores más altos de salinidad y temperatura y los más bajos en concentración de oxígeno disuelto. Esta masa de agua entra al SCC desde el sur de forma sub-superficial, conocida como la Contra Corriente Sub-superficial CcSs se ubica desde Cabo San Lucas hasta Punta Eugenia en Baja California Sur y fluye sobre el talud continental en dirección norte

(Chávez *et al.*, 2002). La Corriente de Davidson, más conocida como la Contra Corriente de California CcC (es superficial y cercana a la costa), también fluye hacia el norte y en parte podría ser un reajuste de la propia CC sobre la costa. Del Monte-Luna (2004) menciona que en la parte sur del SCC hay dos fuentes principales de enriquecimiento superficial, las surgencias y la advección de la CC. Ambos procesos se presentan principalmente en primavera al mismo tiempo que se presentan los mínimos del nivel medio del mar y que corresponden con la intensidad máxima de la CC en la zona. En general, el Centro de Actividad Biológica (BAC) de Bahía Magdalena, al encontrarse dentro de una zona de transición templado-tropical, permite delimitar dos periodos de temperatura al año, uno frío (invierno-primavera) y otro cálido (otoño-invierno).

Se definieron dos rutas tróficas que llegan al lobo marino de California en la región del BAC de Bahía Magdalena, con base en estudios de alimentación de lobo marino para la zona (Bautista-Vega, 2002; Villegas-Amtmann, 2002), se seleccionaron sus presas principales y más frecuentes (sardina Monterrey *S. sagax*, merluza enana *M. angustimanus*, pez miracielos *K. averruncus* y langostilla *P. planipes*), y con base en estudios de alimentación de esas presas (Scofield, 1934; Solis, 1981; Auriol-Gamboa y Balart, 1995), se analizaron los componentes en la base de la cadena trófica (fitoplancton y detritus del sedimento).

La ruta trófica 1 (RT1) incluye fitoplancton (como Nivel Trófico 1), langostilla pelágica (NT2), sardina (NT2), merluza (NT3) y el lobo marino de California (NT4) (Fig. 2), la cual esquematiza un escenario del flujo de energía desde la base de la cadena hasta el depredador tope cuando se presenta el momento de mayor productividad en el área de estudio. Este momento ocurre en el primer semestre del año (periodo frío), cuando la importancia la producción nueva basada en nutrientes oxidados (NO_3) es más relevante debido a las surgencias producidas por los vientos dominantes de norte a sur (Hayward *et al.*, 1999).

La ruta trófica 2 (RT2): detritus en sedimento (NT1), langostilla bentónica (NT2), pez miracielos (NT3) y el lobo marino de California (NT4), esquematiza el escenario del flujo de energía que prevalece en el segundo semestre del año (período cálido), cuando existen condiciones de baja productividad (debilitamiento de

las surgencias), y el ciclo microbiano aumenta su relevancia al reciclar el material orgánico cuyo valor $d^{15}N$ de 11‰ es característico de nitrógeno orgánico particulado de aguas oligotróficas (Martínez *et al.*, 1995; Aguíñiga *et al.*, datos sin publicar) (Fig. 2).

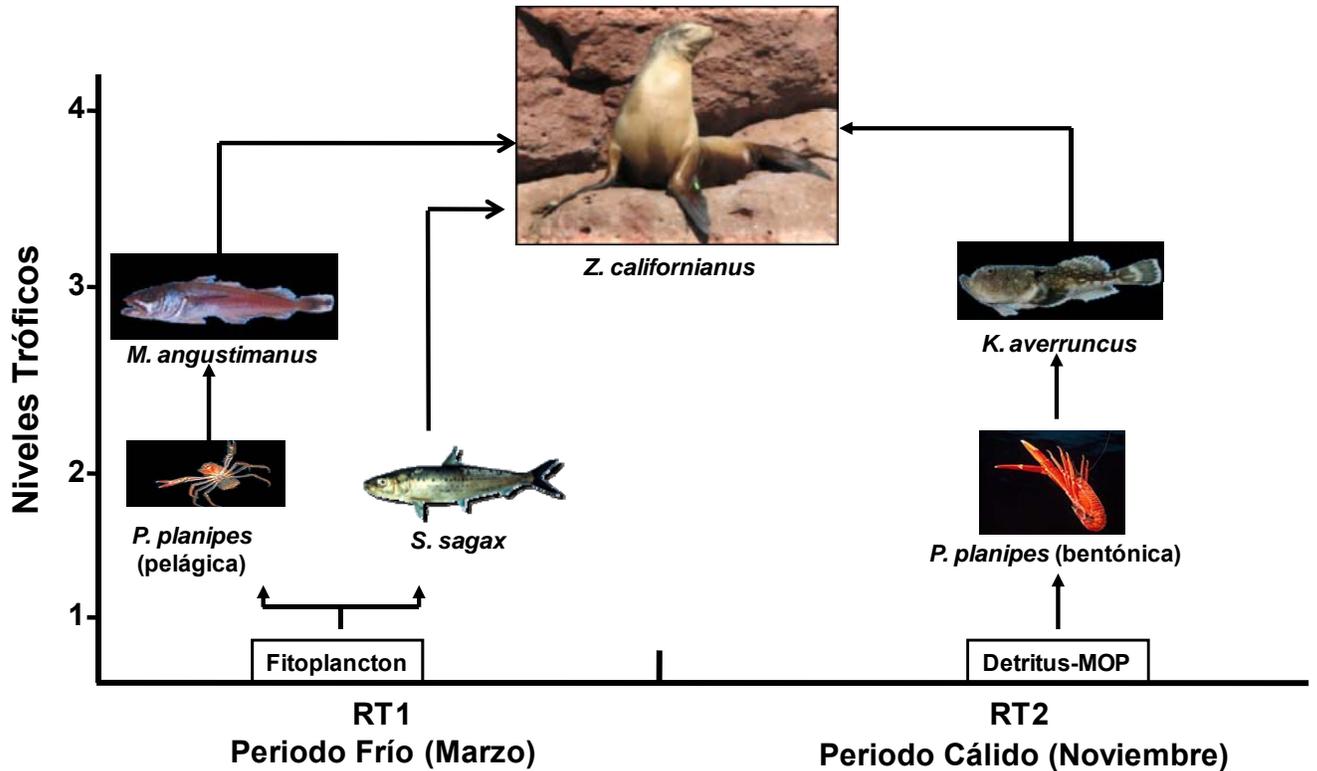


Figura 2. Esquema simplificado de dos rutas tróficas que llegan al lobo marino de California *Zalophus californianus*, en el área adyacente a Bahía Magdalena, durante un periodo de alta y baja productividad.

6.3 Colecta de los organismos de la RT1 y RT2

El material biológico descrito se obtuvo de dos cruceros oceanográficos realizados en el BAC de Bahía Magdalena a bordo del buque de investigación pesquera del CIBNOR (BIP XII), efectuados en marzo (periodo frío) y noviembre (periodo cálido) de 2007, considerando los periodos de alta y baja productividad del ecosistema.

Para la colecta de los organismos asociados a fondos blandos como el pez miracielos, langostilla bentónica y la merluza enana, se utilizó una red de arrastre tipo camaronera de 20 m de boca y luz de malla de 30 mm lanzada por popa, la cual se arrastró por fondo a profundidades entre 50 y 250 metros a una velocidad aproximadamente de 2 nudos durante 20 minutos. Las muestras de zooplancton se colectaron mediante lances oblicuos con red Bongo de 60 cm de diámetro y 0.300 y 0.500 mm de abertura de malla durante 10 minutos, en las que también se obtuvieron langostillas de tallas pequeñas (langostilla pelágica). Para las muestras de fitoplancton se realizaron lances verticales con una red de 30 cm de diámetro y 0.064 mm de abertura de malla. Para la obtención de muestras de detritus en sedimentos se utilizó una draga tipo Van-Veen, tomando aproximadamente 2 centímetros superficiales.

Las muestras de sardina Monterrey, se obtuvieron de la captura comercial del puerto Adolfo López Mateos, en el cual desembarcan la sardina capturada en la región. La colecta de tejido subcutáneo del lobo marino proviene de organismos varados en Isla Magdalena a lo largo del año de 2007. Se verificó que los animales fueran de reciente varamiento (muestras frescas) y no estuvieran en condiciones de desnutrición. Debido a la cercanía que tiene esta playa occidental de Isla Magdalena a la colonia reproductiva de Isla Margarita (aproximadamente 70 km) se asume que al ser la única colonia reproductora en un radio de 450 km, es el sitio de origen de la mayoría de los lobos marinos muertos que se varan en Isla Magdalena. Esta premisa se apoya en la información de la relación lineal positiva significativa ($p= 0.0001$) que existe entre el número mensual total de animales censados en la colonia reproductora de Isla Santa Margarita y el número mensual de varamientos de lobos marinos en Isla Magdalena (Mercuri, 2007).

En general, las muestras designadas para el análisis químico y de ácidos grasos, se preservaron a bajas temperaturas hasta su análisis en el laboratorio. El total de muestras para el presente estudio se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaño de muestra de cada una de las especies o componentes tróficos analizados del BAC de Bahía Magdalena.

Muestras a considerar		Crucero Marzo-07	Crucero Noviembre-07
Crucero	Fitoplancton	3	8
Crucero	Zooplancton	3	8
Crucero	Sedimento	4	8
Crucero	<i>Pleuroncodes planipes</i>	20	20
Captura	<i>Sardinops sagax</i>	12	15
Crucero	<i>Merluccius angustimanus</i>	4	17
Crucero	<i>Kathetostoma averruncus</i>	5	5
Varados	<i>Zalophus californianus</i>	15	15
Total de muestras		69	77

6.4 Trabajo de laboratorio

La mayoría de los análisis se realizaron en el **Laboratorio de Biotecnología de Microalgas** (JA5), del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, CIBNOR.

Es importante mencionar que cada una de las muestras, por ser de diferente naturaleza, tuvo distinto proceso de preservación y tratamiento, antes de su análisis químico (determinación de proteínas, carbohidratos, cenizas, lípidos y ácidos grasos). A continuación se señalan los procedimientos realizados a cada tipo de muestra:

Fitoplancton y zooplancton:

Las muestras de fitoplancton y zooplancton que se preservaron en congelación (-20°C), se descongelaron (procurando mantenerlas frescas) para poder centrifugarlas a 3000 rpm, a 15°C por 10 min (centrifuga refrigerada marca BECKMAN GPR) y así, obtener la biomasa total para el análisis.

Sedimento:

El sedimento fue tamizado (tamiz de 63 μm) con la finalidad de solo obtener los granos más finos como los limos y las arcillas donde se encuentra mayoritariamente la materia orgánica (Folk, 1961), para que facilitara el análisis químico.

Langostilla, *Pleuroncodes planipes*:

Un total de 220 langostillas fueron sexadas con base en características morfológicas (Serrano-Padilla y Aurióles-Gamboa, 1995), pesadas (g) y medidas en longitud estándar de cefalotórax LC (mm). Con la LC es posible asociar al organismo a una fase del ciclo de vida: **pelágica**; larvas, juveniles y adultos jóvenes no más largos que 21 mm de LC, ocupan la columna de agua y su alimento es principalmente fitoplancton (Longhurst, 1968; Blackburn, 1969; Blackburn y Thorne, 1976), **bento-pelágica**; con una etapa de transición y se desplaza de la columna de agua al bentos en un ciclo circadiano (Aurióles, 1992). Los individuos miden entre 22 y 30 mm de LC, en esta fase puede alimentarse de fitoplancton y de detritus en el bentos y en la fase **bentónica**; mide más de 30 mm de LC, se asienta en el fondo marino de la plataforma y talud continental, donde su alimentación es estrictamente bentónica (Boyd, 1967; Erhardt *et al.*, 1982; Aurióles-Gamboa, 1992).

Considerando el potencial cambio de hábitos alimenticios en relación a la talla de la langostilla, se separaron de acuerdo a once intervalos de tallas (tres individuos por intervalo) desde 12 a 34 mm LC aproximadamente, acumulando 30 organismos por crucero (marzo y noviembre 2007). Posteriormente, se separó el caparazón de los organismos y se recuperó la materia orgánica para el análisis químico.

Sardina Monterrey, *Sardinops sagax*:

Las muestras de sardina Monterrey fueron obtenidas del Puerto A. López Mateos en ambos meses del año (marzo y noviembre 2007). En el laboratorio, fueron sujetas a las biometrías correspondientes (peso en g, volumen en mL, longitud total y patrón en mm).

Merluza enana, *Merluccius angustimanus* y pez miracielos, *Kathetostoma averruncus*:

Es importante mencionar, que esta tesis forma parte del proyecto (Relaciones tróficas del ecosistema de la Zona de Transición Templado-Tropical: Calibración entre análisis estomacal, isótopos estables de carbono y nitrógeno y perfiles de ácidos grasos), donde paralelamente se están realizando otras investigaciones, en las cuales se elaboró una base de datos de análisis estomacal de las especies encontradas en los cruceros realizados en marzo y noviembre del 2006 y 2007, en la zona de estudio. Ese grupo de trabajo se encargó de la identificación taxonómica de cada especie, con bibliografía especializada para cada grupo taxonómico y en el caso de los peces se le midió la longitud total y patrón, con un ictiómetro convencional de 1 m. de longitud a intervalos de 1 mm. Asimismo se registró el peso total de los organismos con una balanza digital con una precisión de 0.1 g. Finalmente quedaron identificadas y realizadas las biometrías de las especies de interés para este estudio que fueron *M. angustimanus* y *K. averruncus*.

Tejido graso de lobo marino, *Zalophus californianus*:

Se realizó la obtención del tejido graso de las muestras de lobo marino, separándolo en dos partes; el estrato de grasa externo (cercano al pelo) y el estrato interno (cercano al músculo) (Fig. 3). El manejo de la grasa de lobo marino se realizó en una placa congelada procurando evitar la oxidación de los ácidos grasos y cada estrato de grasa se guardó por separado en tubos Eppendorf a -20°C.



Figura 3. Corte transversal de la grasa (estrato interno y externo) de hembras de *Zalophus californianus*, varados en Isla Magdalena.

Finalmente, a la mayoría de las muestras se les agregó antioxidante (BHT-butilhidroxitolueno, 10 μ L de una solución 0.1% en CHCl_3) para evitar la oxidación de ácidos grasos y favorecer su conservación previo al análisis químico. Los peces (sardina Monterrey, merluza enana y pez miracielos), fueron homogenizados completos, considerando que en el medio natural son consumidos enteros por sus depredadores. Por último todas las muestras (fitoplancton, zooplancton, sedimento, langostilla, sardina Monterrey, merluza enana y pez miracielos), se liofilizaron (Liofilizadora marca Virtis 5L) extrayendo al máximo la humedad, lo cual favorece su conservación y en las determinaciones químicas se hace la referencia en relación a peso seco (PS).

CAPITULO I

CONTENIDO ENERGÉTICO (KJ/KG) DE LAS PRESAS PRINCIPALES DE *Zalophus californianus*, DEL BAC DE BAHÍA MAGDALENA, MEDIANTE EL ANÁLISIS QUÍMICO DE PROTEÍNAS, CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS.

I. INTRODUCCIÓN

Todos los organismos requieren la entrada continua de energía para reemplazar a la pérdida por metabolismo, crecimiento y reproducción. Este proceso a su vez, está influenciado directamente por la dinámica del ambiente en el que habitan (Nikolsky, 1963; Weatherley, 1972). Para estudiar la dinámica del metabolismo de las comunidades, los ecólogos han decidido medir la energía (J), con el fin de identificar su transferencia en las redes alimenticias.

Las investigaciones sobre la transferencia de energía en los ecosistemas se han incrementado desde que Lindeman (1942), formuló el concepto de dinámica trófica. Este concepto ha proporcionado un rápido progreso del uso de la teoría termodinámica en estudios ecológicos. La transferencia de energía solar y la eficiencia a la cual se transfiere a los seres vivos se determina por las interacciones que existen entre los organismos y los factores físicos como el aire, agua y temperatura, entre otros. Estas interacciones permiten el intercambio de energía que involucran redes tróficas. La luz solar se asimila directamente sólo por los autótrofos quienes transforman la energía radiante en energía química que es utilizable para el resto de los organismos. Una parte de esta energía se pierde en la transferencia entre niveles tróficos disminuyendo su disponibilidad para los niveles superiores. Esto impone una serie de limitaciones a los productores, consumidores, degradadores de nutrientes, etc. que se refleja en un decremento secuencial en la abundancia y biomasa de organismos de cada nivel trófico (Phillipson, 1966; Kato, 1989).

A diferencia de la mayoría de los pinnípedos y odontocetos, algunos mamíferos marinos (como la ballena gris, *Eschrichtius robustus*), aprovechan gran parte de la energía disponible cerca de los primeros niveles tróficos al alimentarse de zooplancton (Krill o eufáusidos). El caso del lobo marino de California (*Zalophus californianus*) es un depredador cercano al nivel trófico superior (Aurioles *et al.*, 2004), que requiere grandes cantidades de alimento para sostener sus poblaciones (García-Rodríguez y Aurioles-Gamboa, 2004; Porrás-Peters, 2004). Una fracción importante de la energía que obtienen de sus alimentos, la almacena como lípidos en forma de triglicéridos, principalmente se acumula en la capa subcutánea de tejido graso cuya composición, grosor y estructura puede variar entre sexos, edades y temporadas del año (Budge *et al.*, 2006). Además de constituir un reservorio energético, la capa de grasa forma una especie de saco de aislamiento para conservar el calor corporal (Budge *et al.*, 2006).

Las variaciones estacionales en la disponibilidad de alimento, además de la capacidad del animal para almacenar reservas de energía, imponen una serie de limitaciones a la reproducción de varias especies de mamíferos que se relacionan con su condición nutricional. Estas variaciones ejercen presión a la población y en particular a las hembras preñadas y lactantes debido a que los costos energéticos de estos animales son más elevados (Trites, 1991; Pitcher *et al.*, 1998).

La medida más útil de estimar la contribución de las especies presa en los requerimientos de energía de un depredador, es conociendo su contenido energético (Reynolds y Rommel, 1999). Esta información puede complementarse con estimaciones del tamaño y estructura por sexo y edad de la población, para estimar la contribución de una especie al flujo de energía en el ecosistema (Gaskin, 1982; Hennemann, 1983; Lavigne *et al.*, 1986).

En este capítulo se estima el contenido energético mediante el análisis químico de las presas principales de *Z. californianus* en el BAC de Bahía Magdalena, para determinar la calidad de los componentes principales en la dieta en términos de aporte de energía y se analiza el contenido energético de la grasa de hembras de lobo marino en dos periodos contrastantes de productividad en el ecosistema en estudio.

II. METODOLOGÍA

El análisis químico consiste en las determinaciones de proteínas, carbohidratos, cenizas y lípidos, cuyo procedimiento se explica mas adelante. Estos análisis se realizaron con la finalidad de estimar indirectamente el contenido energético (KJ/kg) de las presas principales de *Z. californianus* (sardina Monterrey *S. sagax*, merluza enana *M. angustimanus*, pez miracielos *K. averruncus* y langostilla *P. planipes*) de la Isla Santa Margarita, que contiene a la población de lobos marinos más importante de la región (Bautista, 2002).

2.1 Determinación de proteínas

Antes de la determinación de proteínas totales, se realizó la curva de calibración utilizando a la proteína Bovine Gama Globulina (IgG) como estándar externo. Se partió de una solución concentrada de 100 µg/mL y se preparó un gradiente de concentración de 1.25 a 25 µg/mL. Los resultados de las absorbancias de la curva patrón se ajustan por mínimos cuadrados (Anexo I).

La cuantificación de proteínas totales se realizó por el método de Bradford (1976), basado en la determinación espectrofotométrica de la intensidad de color obtenido con el reactivo de Bio-Rad (solución de azul brillante de Coomassie, ácido fosfórico H₃PO₄ y metanol CH₃OH). La intensidad de color que se lee a 595 nm es proporcional a la concentración de proteínas en la muestra.

Para la extracción de las proteínas en las muestras se partió de 5 mg de muestra liofilizada que se sometió a hidrólisis alcalina con 5 mL de NaOH a 0.5 N por una hora a 100°C en un termo baño marca THERLAB. Pasada la hora las muestras se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 min a 10° C en una centrifuga refrigerada. La separación del extracto alcalino de la pastilla celular, se llevó a cabo mediante filtración con la ayuda de una pipeta Pasteur con una porción de fibra de vidrio. Se midió el volumen del extracto alcalino y se tomó 25 µL del extracto y se llevó a 800 µL con agua destilada. Posteriormente se les agregó 200 µL del reactivo Bio-Rad se

agitó dejándose en reposo por lo menos 5 minutos para sus lecturas de absorbancia a 595 nm en el espectrofotómetro marca GENESYS.

Para obtener el porcentaje de proteínas totales por mg de tejido se utilizó la relación:

$$\% \text{ Proteínas} = (A \times FD) / (m \times P) 100$$

En donde:

A = absorbancia del problema - absorbancia del blanco de la curva tipo

FD = factor de dilución de cada tejido

m = pendiente de la curva tipo

P = peso seco de tejido liofilizado

2.2 Determinación de carbohidratos

Previo a la determinación de carbohidratos totales, se realizó la curva de calibración utilizando glucosa como estándar externo. Se preparó una solución concentrada de glucosa de 120 µg/mL y se realizó un gradiente de concentración de 0 a 64 µg/mL. Los resultados de absorbancias de la curva patrón se ajustan por mínimos cuadrados (Anexo I).

En la determinación de carbohidratos se utilizó el método de fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956), basado en la intensidad del color que se desarrolla y se mide a una absorbancia de 485 nm, dando el resultado de manera proporcional a la concentración de carbohidratos en la muestra. Para la extracción se partió de 5 mg de muestra liofilizada, sometiéndola a una hidrólisis ácida con 5 mL de H₂SO₄ 1M por 1 h a 100°C en el termo baño. Posteriormente se centrifugó a 3500 rpm a 15°C por 10 min recuperando el extracto ácido. Se realizó una dilución 1:10 (100 µl del extracto + 900 µL de agua destilada). A cada tubo con los extractos, se les añadió 1 mL de fenol al 5% y se mezcló. Enseguida se dejaron reposar por 40 minutos y se les agregó lentamente 5 mL de H₂SO₄ concentrado, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y finalmente se leyeron las absorbancias a 485 nm en el espectrofotómetro.

Para obtener el porcentaje de carbohidratos totales por mg de tejido se utilizó la relación:

$$\% \text{ carbohidratos} = (A \times FD) / (m \times P)100$$

En donde:

A = absorbancia del problema - absorbancia del blanco de la curva tipo

FD = factor de dilución de cada tejido

m = pendiente de la curva tipo

P = peso seco de tejido liofilizado

2.3 Determinación de cenizas

Primeramente se obtuvo el peso constante de las canastillas de aluminio, enseguida se tomó un peso conocido (50 mg) de muestra liofilizada se dejaron 12 hrs en la mufla (marca Thermolyne). El peso de cenizas se determinó mediante la diferencia del peso de la canastilla y el peso de las cenizas de la muestra (método gravimétrico).

Cenizas (mg) = peso cenizas de muestra en el filtro (mg) - peso del filtro (mg)

$$\% \text{ cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas (mg)} \times 100}{\text{Peso muestra (mg)}}$$

2.4 Determinación de lípidos

En la extracción de lípidos totales se utilizó la técnica propuesta por Folch, (1956) y mejorada por Bligh y Dyer (1959).

Se utilizó de 15 a 50 mg de muestra a la que se le agregó 3 mL de una mezcla de cloroformo:metanol $\text{CHCl}_3\text{-CH}_3\text{OH}$ (1:2). El metanol disuelve a los lípidos polares y el cloroformo a los no-polares. Para proteger la muestra de la oxidación se le agregó antioxidante BHT. Posteriormente, las muestras se sonicaron en frío durante

5 minutos tres veces. Este proceso permitió la ruptura de las membranas tanto celular como de organelos favoreciendo así el contacto de la muestra con los disolventes antes mencionados. Para obtener la completa extracción de los lípidos se dejó en la oscuridad y refrigeración a 4°C por 24 horas. Al cabo de este tiempo, las muestras se sometieron nuevamente a sonicación y se continuó el proceso, centrifugando a 3500 rpm durante 10 min a 10°C. El extracto lipídico que resultó se separó con una pipeta Pasteur. La pastilla celular se lavó con la misma mezcla de solventes y todos los lavados fueron colocados en otro tubo (tubo 2, 15 mL). Para poder separar la fase clorofórmica (donde se encuentran los lípidos) se rompió el equilibrio entre el metanol y el cloroformo agregando agua destilada (2 mL) se agitó con vortex y después se formaron dos fases, la inferior o clorofórmica y la superior o acuosa eliminándose de ésta última su exceso. Se agregó 1 mL de cloroformo y se separó la fase clorofórmica o lipídica por medio de una pipeta Pasteur burbujeando hasta el fondo del tubo procurando no tomar de la fase superior, pasándose los lípidos a un tubo de 10 mL. Finalmente para la obtención total de lípidos se realizó otro lavado con cloroformo (1 mL), y se centrifugó a 3500 rpm durante 10 min a 10°C y se recogieron los lavados en el mismo tubo de 10 mL. Posteriormente se secaron con una corriente de nitrógeno gaseoso protegiéndolo de la oxidación.

Para su cuantificación se utilizó el método propuesto por Marsh y Weinstein (1966). Una vez evaporados los lípidos hasta sequedad con nitrógeno gaseoso, se les agregó 2 mL de H₂SO₄ concentrado, se sellaron los tubos con papel aluminio y se cerraron con la tapa, esto es con el fin de evitar contaminación. Enseguida se llevaron a una estufa a 200 ± 2°C por 15 minutos, se dejaron reposar 5 minutos a temperatura ambiente y se colocaron los tubos en un baño de agua con hielo durante 5 minutos. Después de este tiempo, se les agregó 3 mL de agua destilada, se mezcló en el vortex y se verificó que la mezcla quedara homogénea y sin residuos de materia orgánica. Finalmente se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro a 375 nm, calibrando el equipo con un blanco que se trata de igual manera que las muestras.

Para calcular el porcentaje de lípidos se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{(\text{Absorbancia/FC}) \times \text{Volumen del extracto}}{\text{Peso de la muestra (mg)} \times 1000} \times 100$$

FC = Factor de corrección o pendiente de la curva de calibración.

2.5 Estimación del contenido energético

Una vez determinado el porcentaje de proteínas, carbohidratos, cenizas y lípidos en las presas principales del lobo marino (*S. sagax*, *M. angustimanus*, *K. averruncus* y *P. planipes*), se valoró la cantidad en gramos de esos constituyentes químicos en los organismos, y se estimó su contenido calórico realizando la suma total de Kcal, tomando en cuenta que 1g de proteínas o carbohidratos aportan 4.1 Kcal, mientras que 1g de lípidos aporta 9.2 Kcal.

De acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI), la unidad de medida del calor es el Joule (J), siendo más práctica la unidad de kilojoule (1 KJ= 1000 J) por lo que habiendo la equivalencia: 1 cal= 4.184 J y 1 Kcal= 4.184 KJ. Considerando lo antes mencionado, se realizó la conversión de Kcal a KJ para todas las muestras, con la finalidad de conocer el contenido energético (KJ·Kg⁻¹ PS) de las presas principales del lobo marino en los dos periodos del año.

2.6 Tratamiento estadístico

Los porcentaje de proteínas, carbohidratos, cenizas y lípidos, no presentaron una distribución normal; por tal motivo fueron tratados utilizando la transformación angular arcoseno ($\sqrt{(\%/100)}$) como lo sugiere Zar (1999), y así poder realizar las pruebas estadísticas (Sokal y Rohlf, 1981). Después de probar la normalidad (Kolmogorov-Smirnoff) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) de los valores de porcentaje, se aplicó según el caso un ANDEVA FACTORIAL (donde la variable dependiente fue el valor del porcentaje y las variables independientes fueron los periodos y/o cada uno de los constituyentes químicos). Posteriormente se realizó

una prueba de comparación de medias de Tukey para encontrar las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las especies y entre las temporadas de muestreo.

III. RESULTADOS

3.1 Composición química de las presas principales de *Z. californianus*

Con la finalidad de conocer el contenido energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ en peso seco, PS) de las presas principales del lobo marino de California (*Z. californianus*), de la región adyacente a Bahía Magdalena, primeramente se determinó la composición química de sardina Monterrey (*S. sagax*), merluza enana (*M. angustimanus*), pez miracielos (*K. averruncus*) y langostilla (*P. planipes*), de marzo (periodo frío) y noviembre (periodo cálido) del 2007. En la Tabla 2, se presenta el peso y talla promedio, así como el tamaño de muestra de cada una de las especies presas analizadas. En el periodo frío, se encontraron las tallas y pesos más pequeños de sardina Monterrey, merluza enana y langostilla a diferencia del pez miracielos, que fue en el periodo frío donde se observaron las tallas y pesos más grandes.

Tabla 2. Peso, talla y tamaño de muestra de cada una de las especies utilizadas para el análisis químico, de la región adyacente a Bahía Magdalena.

Especies	Mar-07 PF			Nov-07 PC		
	Talla (cm)	Peso (g)	n	Talla (cm)	Peso (g)	n
<i>S. sagax</i>	17	44	12	23	105	8
<i>M. angustimanus</i>	15	23	4	20	58	17
<i>K. averruncus</i>	19	167	5	16	150	5
<i>P. planipes</i>	12-20 LC	2	15	30-34 LC	14	15

PF= Periodo frío

PC= Periodo cálido

LC= Longitud del Cefalotórax (mm)

n= Tamaño de muestra

En *S. sagax*, se observa que el porcentaje de lípidos (25.6 ± 3.4 y 22.4 ± 3.4) y carbohidratos (4.6 ± 0.4 y 3.3 ± 0.6) fue mayor en el periodo frío que en el cálido, respectivamente. A diferencia del contenido de proteínas (49.0 ± 2.5 y 47.3 ± 1.2) y

cenizas (13.5 ± 1.4 y 12.6 ± 0.4) que se encontró en mayor concentración en el periodo cálido, cuando los organismos estaban más grandes y pesados, sin embargo, para todos los casos no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Fig. 4).

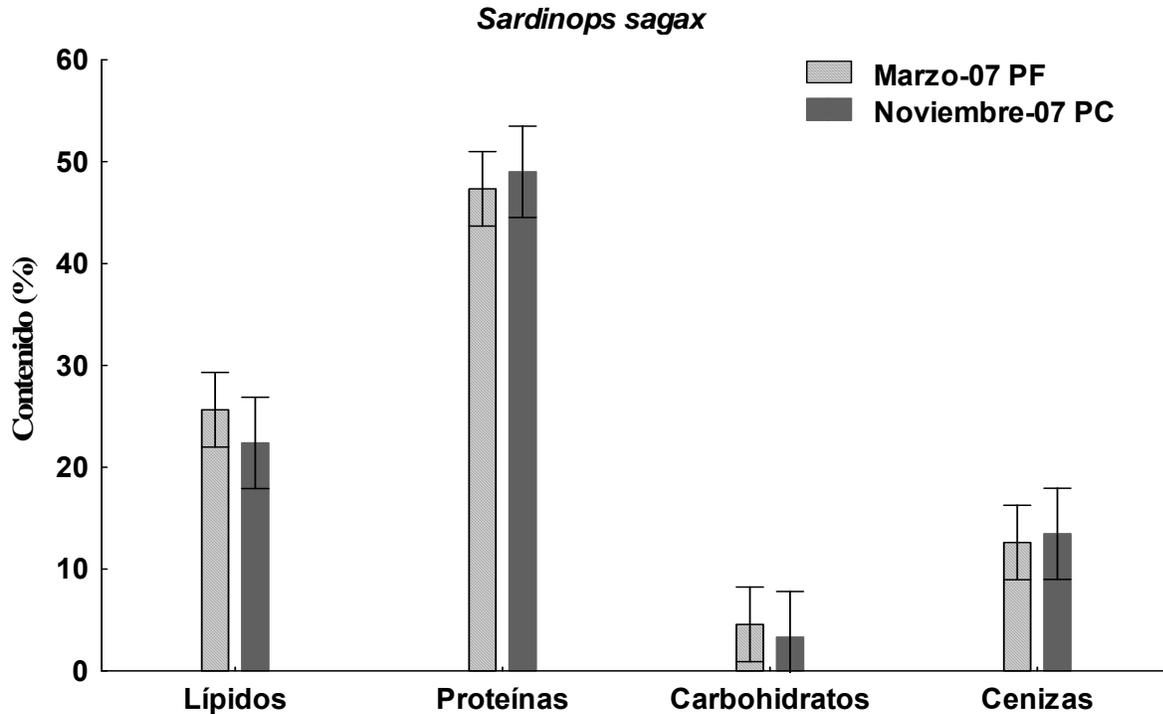


Figura 4. Composición química (PS) de *Sardinops sagax* para el periodo frío y cálido, de la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar $\alpha=0.05$). $F=0.58125$

En *M. angustimanus*, el contenido de proteínas (42.0 ± 5.5 y 41.8 ± 1.7 $p > 0.05$) y cenizas (21.3 ± 1.2 y 13.9 ± 0.7 $p > 0.05$) fue mayor en el periodo frío que en el cálido respectivamente. Mientras tanto, en el periodo cálido el contenido de carbohidratos (1.5 ± 0.2 y 2.0 ± 0.2 $p > 0.05$) y lípidos (2.9 ± 0.3 y 24.1 ± 1.2 $p < 0.05$), se observaron en mayor concentración respecto al periodo frío (Fig. 5).

K. averruncus, presentó mayor contenido de lípidos (15.6 ± 2.7 y 5.4 ± 1.1 $p < 0.05$), proteínas (41.8 ± 0.8 y 33.3 ± 1.5 $p > 0.05$) y carbohidratos (4.1 ± 0.8 y 1.8 ± 0.4 $p > 0.05$) en el periodo cálido que en el frío, respectivamente. Solamente el contenido de cenizas fue mayor en el periodo frío (24.5 ± 2.8) respecto al cálido (16.9 ± 2.1 $p > 0.05$) (Fig. 6).

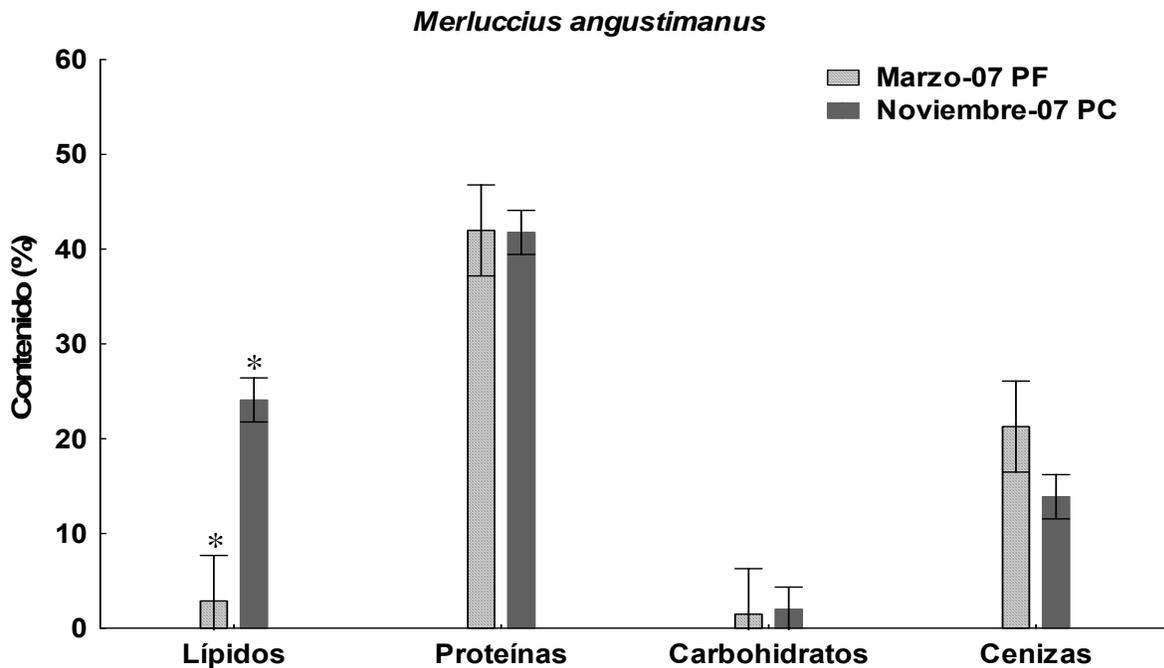


Figura 5. Composición química (PS) de *Merluccius angustimanus* para el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar, $\alpha=0.05$, * $p<0.05$).

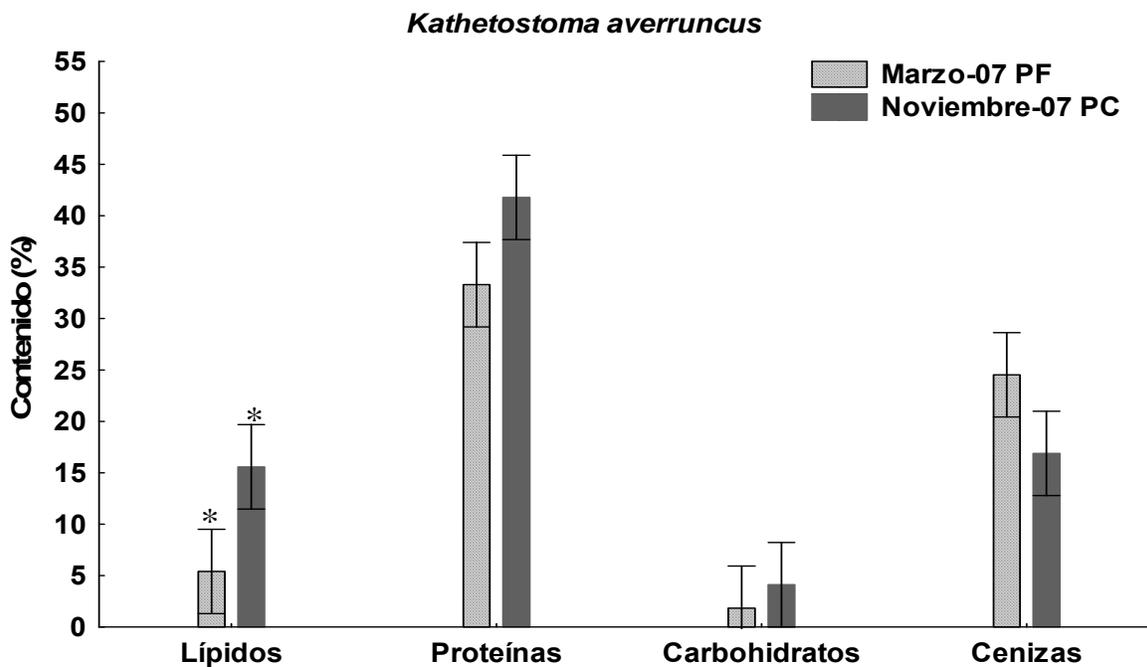


Figura 6. Composición química (PS) de *Kathetostoma averruncus* para el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar, $\alpha=0.05$, * $p<0.05$).

En langostilla *P. planipes*, también se observó variación en su composición química entre los dos periodos del año, observándose mayor contenido de lípidos (14.1 ± 1.9 y 10.7 ± 0.8 $p > 0.05$) y cenizas (26.4 ± 1.0 y 20.7 ± 0.7 $p > 0.05$) en el periodo frío cuando las tallas fueron más pequeñas (fase pelágica), con respecto al cálido, cuando las tallas fueron más grandes (fase bentónica). En contraste el contenido de proteínas (19.6 ± 1.1 y 42.1 ± 2.9 , $p < 0.05$) y carbohidratos (2.3 ± 0.3 y 9.4 ± 0.7 , $p < 0.05$), se encontró en menor concentración en el periodo frío y mayor en el periodo cálido respectivamente (Fig. 7).

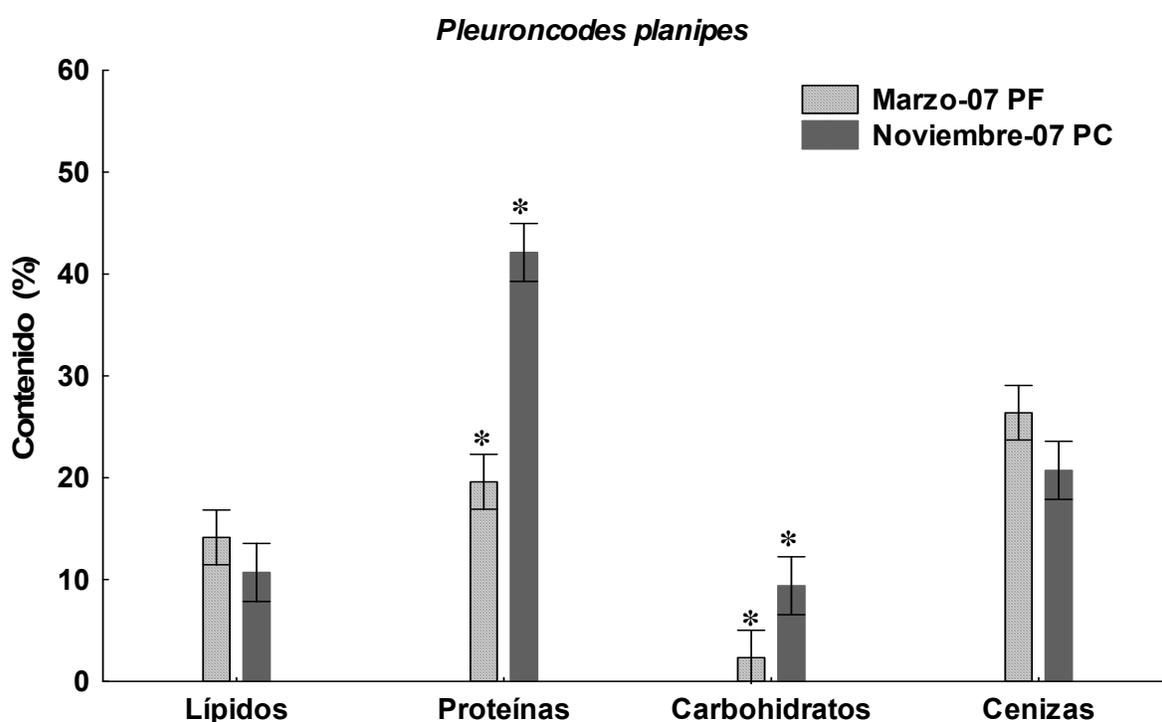


Figura 7. Composición química (PS) de *Pleuroncodes planipes* para el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio \pm Error Estándar, $\alpha = 0.05$, * $p < 0.05$).

3.2 Contenido de Kcal de las presas principales de *Z. californianus*

Una vez determinada la composición química de las presas principales de lobo marino de California (*S. sagax*, *M. angustimanus*, *K. averruncus* y *P. planipes*), se calculó la cantidad de gramos de lípidos, proteínas y carbohidratos que se tendría

por kilogramo (g/Kg) en peso seco (PS) de los organismos de marzo (periodo frío) y noviembre (periodo cálido) del 2007. Considerando que un gramo de lípidos aporta 9.3 Kcal y un gramo de proteínas o de carbohidratos aportan 4.1 Kcal (Randall *et al.*, 1997), se estimó el contenido total de Kcal/Kg en PS de los organismos para ambos momentos del año.

En la Tabla 3 se observa que la sardina Monterrey es la especie que presentó mayor contenido calórico Kcal/Kg en PS entre el periodo frío y cálido (4,539±1097.0 y 4,250±983.3), mientras que la merluza enana (2,053±425.0 y 4,058±517.9, $p<0.05$), pez miracielos (1,949±353.4 y 3,347±561.1, $p<0.05$) y langostilla (2,232±737.2 y 3,117±644.9, $p<0.05$), tuvieron una diferencia opuesta entre el periodo frío y cálido respectivamente. Cabe resaltar que tanto la merluza enana, el pez miracielos y la langostilla presentaron diferencias significativas en el contenido calórico Kcal/Kg PS ($p<0.05$), y la sardina no presentó ($p>0.05$).

Tabla 3. Contenido de Kcal/Kg en PS de *Sardinops sagax*, *Merluccius angustimanus*, *Kathetostoma averruncus* y *Pleuroncodes planipes* en el periodo frío y cálido, de la región adyacente a Bahía Magdalena (Promedio ± DE $\alpha=0.05$).

Especie Presa	Marzo-07 PF	Noviembre-07 PC
	Kcal/Kg PS	Kcal/Kg PS
<i>S. sagax</i>	4,539±1097.0	4,250±983.3
<i>M. angustimanus</i>	2,053±425.0 ^a	4,058±517.9 ^b
<i>K. averruncus</i>	1,949±353.4 ^a	3,347±561.1 ^b
<i>P. planipes</i>	2,232±737.2 ^a	3,117±644.9 ^b

a, b= Diferencia significativa ($p<0.05$)

PS= Peso Seco

PF= Periodo frío

PC= Periodo cálido

3.3 Contenido energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS) de las presas principales y del *Z. californianus*

Se realizó la conversión de Kcal a KJ para las cuatro especies, con la finalidad de conocer el contenido energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS) de las presas principales del lobo marino en los distintos momentos del año.

En la Fig. 8, se observa que el contenido energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ en PS) de las presas principales del lobo marino fue diferente entre periodos. Siendo la sardina Monterrey, la especie con mayor contenido energético en ambos periodos del año de las presas del lobo marino evaluadas. Se observa que en el periodo frío la sardina presentó mayor contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS ($18,989 \pm 1,325$) que en el periodo cálido ($17,781 \pm 1,455$, $p > 0.05$). En contraste, *M. angustimanus* ($8,589 \pm 1,889$ y $16,980 \pm 526$, $p < 0.05$), *K. averruncus* ($8,154 \pm 661$ y $14,004 \pm 1.050$, $p > 0.05$) y *P. planipes* ($9,338 \pm 727$ y $13,043 \pm 2,675$, $p < 0.05$) presentaron menor contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS en el periodo frío que en el cálido respectivamente.

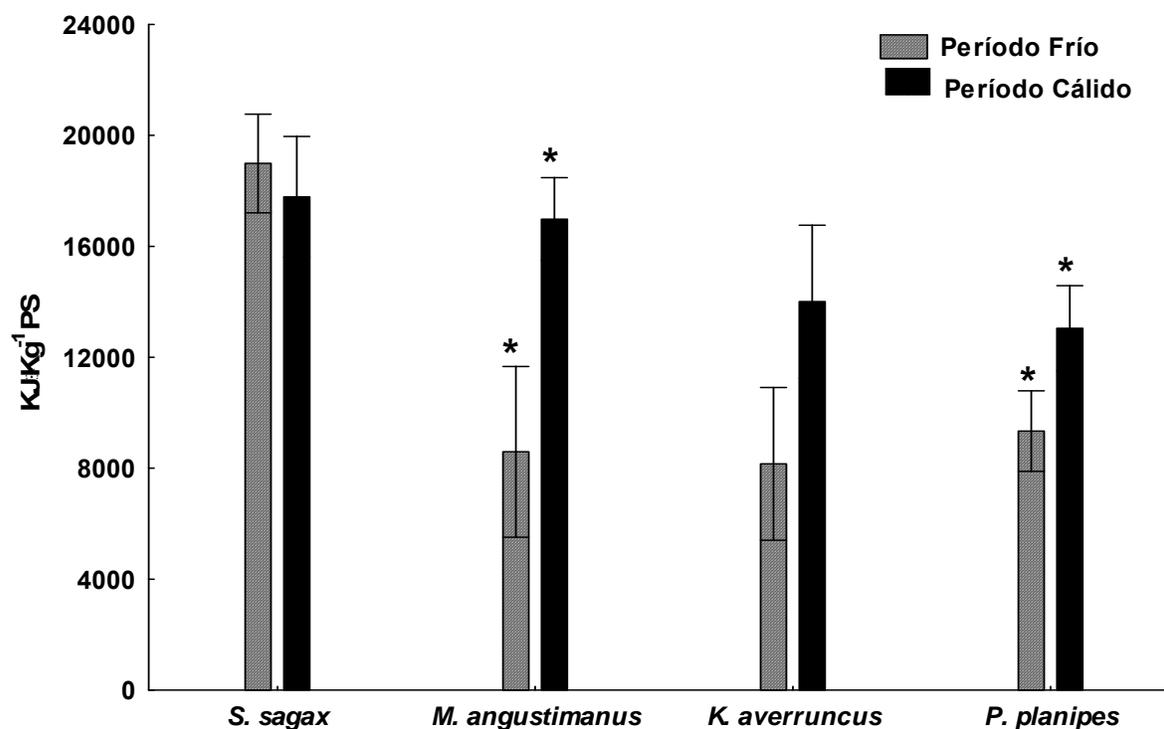


Figura 8. Contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS de *Sardinops sagax*, *Merluccius angustimanus*, *Kathetostoma averruncus* y *Pleuroncodes planipes* en el periodo frío y cálido en la región adyacente a Bahía Magdalena (* $p < 0.05$).

En el caso de fitoplancton, zooplancton, detritus (sedimento) y grasa de lobo marino (enseguida se describe el análisis del tejido graso de hembras de lobo marino), debido a que no se determinó el contenido de proteínas y carbohidratos, solo se estimó el contenido de lípidos. Mediante éste constituyente químico se calculó el contenido de KJ que se tendría por kilogramo en PS (Fig. 9). En la grasa de hembras de lobo marino, se observó mayor contenido de energía ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS) en el periodo frío ($9,801 \pm 2,950$) que en cálido (764 ± 392 , $p < 0.05$). En fitoplancton ($1,071 \pm 166$ y $1,827 \pm 244$), zooplancton ($2,025 \pm 778$ y $3,257 \pm 307$) y detritus del sedimento (97 ± 18 y 109 ± 25), no se observaron diferencias significativas entre ambos periodos.

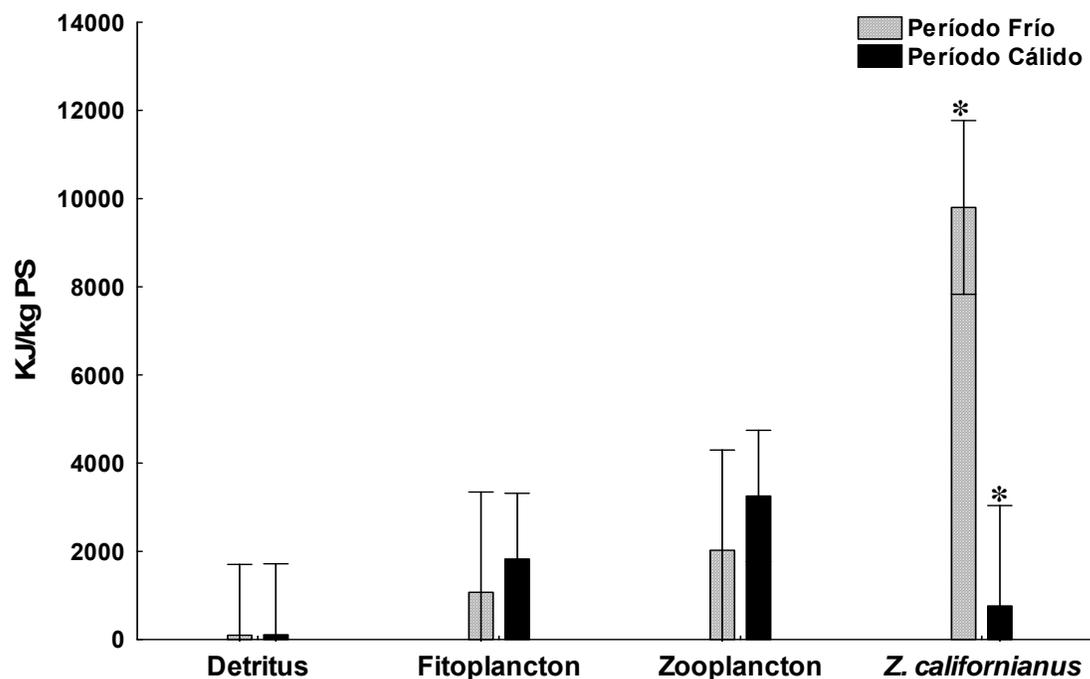


Figura 9. Contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS aportado por los lípidos en fitoplancton, zooplancton, detritus en sedimento y grasa interna de hembras de *Zalophus californianus* del periodo frío y cálido, en la región adyacente a Bahía Magdalena. * Diferencia significativa ($p < 0.05$).

3.4 Análisis de lípidos en la grasa de hembras de *Z. californianus*

Este estudio se enfocó particularmente en las hembras de lobo marino ya que al ser filopátricas (fidelidad al sitio de nacimiento debido al cuidado materno que dura aproximadamente 1 año) (Hernández-Camacho *et al.*, 2008), restringen su residencia a una área relativamente reducida (Kuhn *et al.*, 2004) por lo que se convierten en buenos indicadores de las condiciones locales. En este sentido y dado que las hembras se alimentan de presas de la región a lo largo del año, a diferencia de los machos que migran (Fry, 1939; Bartholomew y Boolootian, 1960; Bigg, 1973; Mate, 1975; Odell, 1975; Auriolles *et al.*, 1983), estas deberán mostrar más la influencia de las variables ambientales, incluyendo la cantidad y calidad de las presas locales.

Se realizó un análisis del contenido de lípidos del estrato de grasa interno (cercano al músculo) y externo (cercano a la piel) de las hembras de *Z. californianus*, con la finalidad de elegir el estrato más conveniente para el análisis de ácidos grasos. En la Fig. 10 se observa un traslape entre el contenido de lípidos del estrato de grasa interno y externo en ambos periodos del año. Aunque no se hayan observado diferencias significativas ($p > 0.05$, $p = 0.63$) entre ambos estratos, se eligió el estrato de grasa interno ya que presentó mayor contenido de lípidos tanto en el periodo frío (17.52 ± 4.85 y 11.11 ± 4.85 , estrato interno y externo respectivamente), como en el cálido (4.10 ± 6.86 y 3.60 ± 6.86). Además, en estudios previos de mamíferos marinos, se ha reportado que en el estrato de grasa interno ocurre más rápidamente el depósito y movilización de los lípidos, lo que ofrece información de la alimentación más reciente en términos de semanas o meses (Aguilar y Borrell, 1990), a diferencia del estrato externo cuyo papel en el almacenamiento de reservas de energía es menor.

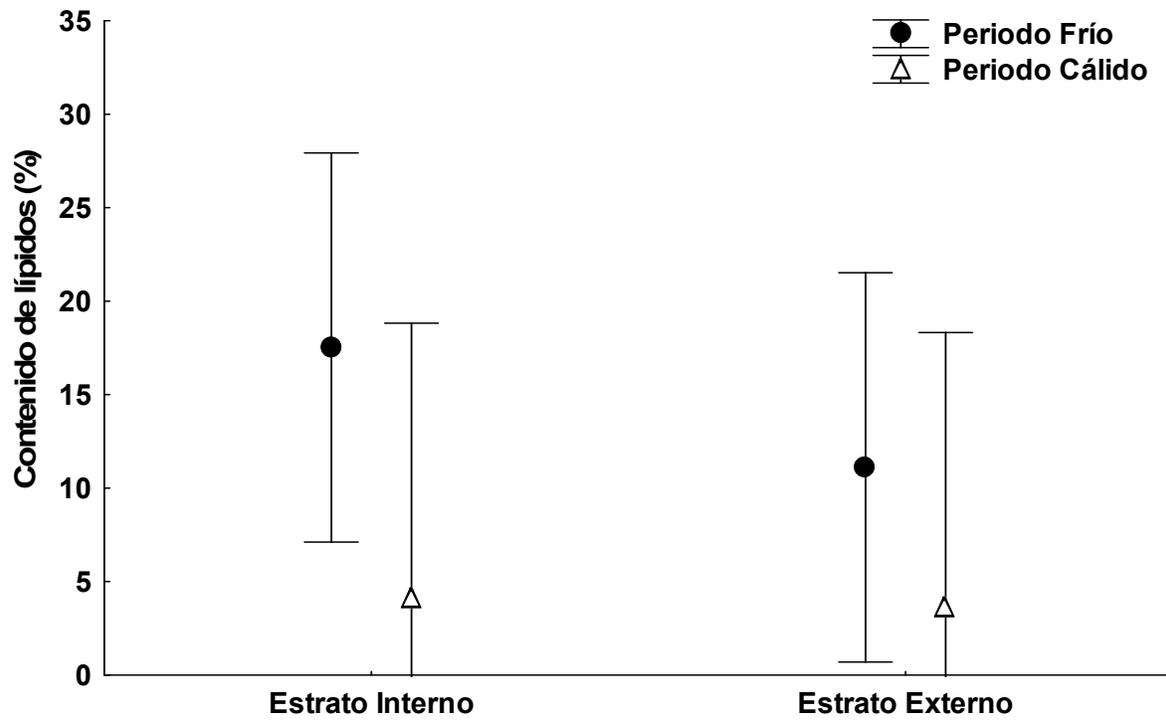


Figura 10. Análisis del contenido de lípidos del estrato de grasa interno y externo en hembras de *Zalophus californianus*, del periodo frío y cálido. (Media±Error Estándar).

IV. DISCUSIONES

Composición química de las presas principales de *Z. californianus* del BAC de Bahía Magdalena

Las biomoléculas que mayoritariamente constituyen a los organismos y les proporcionan energía son principalmente los lípidos o grasas, proteínas y carbohidratos. El análisis de estas biomoléculas, permite conocer la composición química de los organismos, que está estrechamente relacionada con sus cambios fisiológicos, los cuales involucran diversos factores endógenos, como la reproducción y estado de salud. Estos a su vez, dependen de factores exógenos como la disponibilidad de alimento, las características físicas y químicas del medio entre otros (Munro, 1990). La reproducción utiliza la energía que ha sido obtenida y almacenada a partir de la alimentación, pero cuando los organismos son aún inmaduros, toda la energía adquirida se reparte entre el crecimiento y la actividad destinada a la supervivencia (Sargent *et al.*, 1997).

La composición química analizada en las presas del lobo marino (*S. sagax*, *M. angustimanus*, *K. averruncus* y *P. planipes*), fue diferente entre las especies así como en los dos periodos del año (marzo y noviembre 2007). A menudo la fracción lipídica es el constituyente que muestra la mayor variación entre las especies y entre temporadas (FAO, 1998), debido a que es la reserva que primeramente se utiliza para obtener energía. Esta variación se observó en las especies analizadas.

Se ha reportado que la fracción proteica es más constante en la mayoría de las especies (debido a que primero se utilizan las reservas de lípidos que de proteínas FAO, 1998). En este estudio se corrobora esa observación en la sardina Monterrey y merluza, cuyo contenido de proteínas presentó poca variación entre periodos del año. Sin embargo, en algunos peces se han observado variaciones muy drásticas, durante las largas migraciones por desove como en los salmones (Ando *et al.*, 1985; Ando y Hatano, 1986), generando una reducción de la condición biológica del pez. Este tipo de variación drástica se observó en el contenido de proteínas del pez miracielos y del crustáceo langostilla de un periodo con respecto al otro.

Sardina Monterrey, Sardinops sagax

La sardina Monterrey, presentó mayor contenido de lípidos que el resto de las especies. Estos organismos pelágicos son considerados *especies grasas*, ya que almacenan lípidos en varios tejidos del cuerpo. Esto se explica cuando el contenido de lípidos excede el nivel máximo que puede ser metabolizado para propósitos energéticos, por lo que el remanente es depositado en los tejidos (por ejemplo, tejido subcutáneo, en los músculos del vientre y en los músculos que mueven las aletas y la cola). Esto da como resultado un pez con muy alto contenido de lípidos (FAO, 1998), a diferencia de las *especies magras* que almacenan sus lípidos solo en el hígado y por tanto su contenido lipídico es mucho menor.

Durante el crecimiento de los animales, una parte de la energía es almacenada como proteína y otra parte como lípidos, pero cuando el animal se aproxima a su madurez una porción creciente de la energía retenida se almacena en forma de grasa (Cho y Dominique, 1997). Es posible que en la sardina, la mayor concentración de lípidos observados en el periodo frío, indique que los organismos empiezan a almacenar reservas para el desarrollo de sus gónadas, constituidos principalmente de lípidos (Mayer *et al.*, 1988; FAO, 1998), ya que la mayor actividad reproductiva de sardina se presenta de marzo a agosto en Bahía Magdalena (Allen *et al.*, 1990). Esta estrategia de acumular reservas y emplearlas al momento de la reproducción, se observa regularmente en peces, permitiéndoles atenuar los efectos del ambiente (Radovich, 1962; Munro, 1990; Crim y Glebe, 1990).

En algunas especies de peces se ha observado que la relación peso-longitud y el factor de condición decrecen cuando los organismos alcanzan los periodos de mayor actividad reproductiva y la mejoran conforme concluye dicha actividad. Tal es el caso de *Trachurus mediterraneus* (Šantić *et al.*, 2006), *Engraulis encrasicolus* (Sinovčić, 2004), *Scomber japonicus* y *Engraulix mordax* (Parrish y Mallicoate, 1995). Estas características también se han observado en sardina Monterrey de Bahía Magdalena (Rodríguez-Valenzuela, 2004), y se explica ya que al madurar sexualmente gran parte de la energía es dedicada a la producción de gametos (gónadas), a diferencia de los estadios inmaduros en que toda la energía adquirida

se reparte entre el crecimiento y la supervivencia y se refleja en la acumulación de biomasa (Sargent *et al.*, 1997). A esto se le puede atribuir el mayor contenido de proteínas y cenizas en sardina para el periodo cálido.

Merluza enana, Merluccius angustimanus

En merluza enana, se ha documentado que existe una fuerte actividad reproductiva entre febrero y mayo en la costa occidental de Baja California Sur (Balart, 2005). También MacGregor (1971), registró en enero frente a Santo Domingo BCS (26° 07' N), cerca de un 50% de las hembras en pre-desove, sugiriendo que el desove de esta especie ocurre durante los primeros meses del año en esta región. En el presente estudio la composición química de merluza fue muy contrastante entre periodos del año, donde los lípidos alcanzaron una mayor concentración en el periodo cálido. Esta evidencia indica que los organismos se encontraban almacenando gran cantidad de energía en forma de lípidos como anticipación al período reproductivo, o bien que los organismos se encontraban en un momento de pre-desove (conteniendo altas cantidades de lípidos en sus huevos) considerando que la mayor actividad reproductiva de la merluza en Bahía Magdalena, se presenta en los primeros meses del año (MacGregor, 1971; Balart, 2005).

El contenido de proteínas y carbohidratos fue muy similar en ambos periodos del año, pero se presentó una relación inversa con el contenido de cenizas y lípidos en el periodo cálido; cuando los organismos presentaron mayor contenido de lípidos mostraron menor contenido de cenizas.

Pez miracielos, Kathetostoma averruncus

El pez miracielos es una especie poco estudiada, con escasa o nula información sobre su biología y dinámica poblacional. De la Cruz (1997), menciona que el miracielos habita en zonas de fondos arenosos hasta profundidades cercanas a los 400 metros y se distribuye desde la parte central de California a Perú, incluyendo las Islas Galápagos y la parte baja del Golfo de California. En Baja

California Sur se localiza en Isla Margarita, Bahía Almejas, Bahía Magdalena y Bahía de La Paz.

Recientemente, como parte del proyecto del que origina esta tesis (SEPCONACYT 2004-C01-46086), se estudiaron los hábitos alimentarios de peces demersales en el BAC de Bahía Magdalena entre marzo y noviembre 2006 y 2007, incluyendo al pez miracielos. Se encontró que *K. averruncus* presenta un patrón alimenticio de tipo especialista al consumir principalmente langostilla *P. planipes* en ambos momentos del año (Camalich-Carpizo, Datos sin publicar). De acuerdo al presente estudio, la composición química de *K. averruncus* presentó mayor contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos en el periodo cálido, por lo que se infiere que en este periodo la población de este pez estaba en mejor condición nutrimental y representa una presa más valiosa energéticamente para el lobo marino.

Langostilla, Pleuroncodes planipes

Dentro del sistema de la Corriente de California, la langostilla *P. planipes*, es el alimento de un gran número de organismos como tortugas, aves y mamíferos marinos, además de muchas especies de peces donde la merluza enana es uno de sus depredadores más importantes (Auriolles, 1992; Auriolles, 1995; Balart y Castro-Aguirre, 1995; Auriolles *et al.*, 2003). No se conoce si el lobo marino consume de manera directa a la langostilla, pero Bautista-Vega (2002) la reporta como presa importante ya que en los meses que analizó los copros de lobo marino (julio y diciembre 1999 y marzo 2000), este crustáceo ocupó los porcentajes más altos junto con algunas especies de peces y cefalópodos. La presencia de langostilla ocurrió cuando la merluza enana no fue consumida por el lobo marino, lo que aclara que no necesariamente aparece en las excretas como parte de la dieta de merluza. La langostilla no se considera tampoco un indicador de momentos en el que las presas comunes de lobo marino disminuyen como lo mencionan Lowry y Oliver (1986), ya que se encontró junto con la sardina Monterrey *S. sagax*, otra especie principal la cual no se alimenta de langostilla (Bautista-Vega, 2002).

Se ha observado que la composición química de la langostilla es variable según la zona de captura, la estación del año y la edad de los organismos entre otros factores (Aurioles *et al.*, 2004). Sin embargo, se ha reportado por diversos autores que los componentes más abundantes de la langostilla son las proteínas (21.2-54.7%), las cenizas (12.8-35.9%), la quitina (4.76-21.6%) y los lípidos (4.7-14%) (Aurioles-Gamboa *et al.*, 1994; Castro-González *et al.*, 1995).

En este estudio, las langostillas del periodo frío fueron de tallas pequeñas (11.5 a 24.0 mm LC), encontrándose mayor cantidad de lípidos (14.1 ± 1.9) y cenizas (26.4 ± 1.0) en este periodo. Cabe resaltar que estos valores de lípidos y cenizas son muy similares a los encontrados por Aurioles-Gamboa *et al.* (1994), de langostillas colectadas en marzo de 1990 en Bahía Magdalena. Debido a que el período de reproducción de las langostillas es de diciembre a mayo, es posible que los lípidos reflejen el inicio del desarrollo gametogénico, o bien que presenten la masa ovígera a pesar de ser tallas pequeñas, como se observó en algunos organismos durante este estudio. Se ha reportado que las langostillas de un año de vida (14.2 mm LC), ya inician con su actividad reproductiva (Rodríguez-Jaramillo *et al.*, 1995).

En el periodo cálido se analizaron tallas de langostillas más grandes (25.0 a 34.5 mm LC), siendo las proteínas y los carbohidratos los constituyentes químicos con mayor concentración (más del doble que en el periodo frío). Es factible pensar que por tratarse de tallas más grandes, los organismos presenten mayor biomasa y por lo tanto reflejen mayor concentración proteica. Estas diferencias en la concentración de los constituyentes químicos entre organismos de tallas pequeñas y grandes se ha reportado en muchas especies de decápodos (Herring, 1973; Morris, 1973).

Contenido energético de las presas principales de Z. californianus

Los animales requieren de energía para mantener los procesos vitales y sostener la actividad física. Una definición completa de los requerimientos de energía depende del conocimiento de la distribución de los componentes dietarios (proteínas, carbohidratos y lípidos) que producen energía entre el catabolismo (como

combustibles) y el anabolismo (como reservas en los tejidos). La parte más importante en estos requerimientos de energía, es la cantidad de energía necesaria para mantener el proceso de vida, dado que si no es suficiente el consumo de nutrientes productores de energía en la dieta, los tejidos del cuerpo son catabolizados para cubrir su requerimiento energético (Cho y Dominique, 1997).

Se conoce que las especies presas pueden ser muy diferentes de acuerdo al contenido de lípidos y de energía que presenten, lo que ha originado la discusión sobre la “calidad” de las presas, y si el contenido de lípidos determinan su “densidad de energía” (Rosen y Trites 2002; Winship y Trites 2003). Si bien, es sabido que el valor energético es una medida global de la calidad del alimento, y el valor nutricional hace referencia a otro criterio de calidad que constituye la composición química del alimento (por ejemplo, los aminoácidos que conforman a las proteínas, y los ácidos grasos que constituyen a los lípidos), lo que brinda información más específica acerca de la calidad del mismo (Ojasti y Dallmeier, 2000).

En este capítulo, se analizó el contenido energético de las presas principales de lobo marino (sardina Monterrey, merluza enana, pez miracielos y langostilla) del BAC de Bahía Magdalena. También se analizó el contenido energético de la capa de grasa interna de hembras de lobo marino en marzo y noviembre 2007, con la finalidad de conocer el valor energético de cada presa, y explorar cuál representa una mayor contribución energética para el lobo marino en cada periodo del año.

La sardina Monterrey *S. sagax*, fue la especie que presentó el mayor contenido energético tanto en el periodo frío como en el cálido, variando ligeramente su contenido de energía entre periodos. Esta característica de alto contenido energético y mínima variabilidad temporal indica que la sardina es una presa de alto valor nutricional a lo largo del año para el lobo marino. En contraste el contenido de energía de merluza enana, pez miracielos y la langostilla, varió considerablemente en los dos periodos del año (siendo mayor el contenido energético en el periodo cálido) lo que las convierte en presas energéticamente atractivas en ese periodo, especialmente cuando la sardina no tiene su mayor disponibilidad en esa región (Melo-Barrera *et al.*, 2008).

En el periodo cálido disminuye la productividad primaria del ecosistema del BAC de Bahía Magdalena (Martínez-López y Verdugo-Díaz, 2000), por lo que se espera una menor disponibilidad y abundancia de especies presa para el lobo marino, entre ellas la sardina Monterrey, una de las presas preferenciales (Bautista-Vega, 2002). Sin embargo, otras especies como el pez miracielos o la merluza, pueden igualar el suministro de energía, cuando su presa preferencial no se encuentra en abundancia. Trumble *et al.* (2003), mencionan que los pinnípedos al parecer poseen un sistema digestivo flexible que puede aumentar la eficacia de asimilación de proteínas y de lípidos para mantener una tasa elevada en la asimilación de energía, especialmente cuando están disponibles solo presas de baja densidad de energía. Esta habilidad fisiológica les confiere a los pinnípedos una ventaja adaptativa para superar periodos de escasez y/o disminución en la calidad de alimento.

Análisis de la grasa en hembras de Z. californianus

Se analizaron las hembras de lobo marino, ya que a diferencia de los machos son filopátricas (Hernández-Camacho *et al.*, 2008), y ejercen un alto cuidado materno sobre sus crías, debido a esto, se alimentan todo el año en la región adyacente a la colonia de reproducción generando hábitos alimentarios con base en recursos locales, lo que las convierte en mejores indicadores de las condiciones del BAC de Bahía Magdalena.

Los mamíferos marinos, almacenan grandes cantidades de lípidos en una capa de grasa subcutánea en forma de triglicéridos y ácidos grasos libres principalmente, así como de esteroides y monoacilglicéridos en menor proporción (Lockyer *et al.*, 1984). En pinnípedos, el análisis de la grasa es quizás el método más directo de todos los mamíferos marinos, ya que los lípidos consisten casi completamente de triglicéridos (Budge *et al.*, 2006). La capa de grasa cubre la superficie externa del animal y representa entre un 15-43% de su peso total (Aguilar y Borrell, 1990). La variación en el grosor de la capa de grasa se ha relacionado con el estado nutritivo de los organismos. Los cambios en la condición nutritiva no

únicamente afectan el grosor de la capa de grasa sino también su composición, en particular su riqueza lipídica, es decir, el perfil de ácidos grasos (Aguilar y Borrell, 1990).

La grasa de cetáceos, particularmente de odontocetos, exhiben una mayor estratificación, que la grasa de los pinnípedos, pero el grado en que ocurre es propio de cada especie (Koopman, 2001). Budge *et al.* (2006), mencionan que la estratificación puede variar entre y dentro de las especies, por lo tanto es importante seleccionar los tejidos y la apropiada localización del muestreo para resolver adecuadamente las preguntas de la investigación. Se ha reportado que el mejor sitio para muestrear tejido adiposo subcutáneo es donde la grasa mayoritariamente es almacenada. En otáridos, el sitio de mayor de almacenaje o la parte más gruesa de grasa es la región torácica (cuello). Siendo esta región del cuerpo de los lobos marinos donde se muestreo para el presente estudio.

En pinnípedos, el estrato de grasa cercano a la superficie de la piel (estrato externo), aparentemente es de naturaleza estructural (fosfolípidos), con altas concentraciones de ácidos grasos endógenos (biosíntesis de *novo*), y probablemente experimentan bajas tasas de recambio, por lo tanto son independientes de la dieta inmediata. Inversamente, la grasa más cercana a la base del cuerpo, cercana al músculo (estrato interno), es metabólicamente más activa y tiene una tasa de recambio más rápida (Cooper, 2004). En algunos casos, la estratificación de los ácidos grasos es tan extrema que solamente la capa interna se puede utilizar para deducir la dieta, a esta la constituye mayoritariamente AGPI que en su mayoría son de origen alimenticio.

En este estudio, se analizó el estrato de grasa externo (cercano a la piel) y el interno (cercano al músculo), encontrándose un mayor contenido de lípidos en el estrato de grasa interno para el análisis de ácidos grasos. En algunos mamíferos marinos, se ha reportado que el estrato de grasa externo puede tener un papel menor en el almacenamiento de reservas de energía, a diferencia del estrato interno donde ocurre más rápidamente el depósito y movilización de lípidos. Esto permite obtener información de la alimentación más reciente como lo hicieron Aguilar y Borrell (1990), que diferenciaron la capa de grasa de la ballena de aleta en tres

estratos (interno, medio y externo), los cuales variaron en el contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Observaron también que en el estrato más interno de la grasa y adyacente al músculo, se presentó un depósito elevado de ácidos grasos poliinsaturados, lo que podría estar relacionado con la dieta reciente. Lo cual indica que en esta zona ocurre rápidamente la movilización de reservas almacenadas debido a que es catabólicamente más activa que el estrato más externo, en relación con la necesidad de cambios metabólicos ocasionados por el estado reproductivo del animal y por inanición entre otros.

El estrato más externo es bioquímicamente más estable y se relaciona más con el aislamiento y la termorregulación, aunque también puede variar en el contenido de lípidos y yodo según el estado fisiológico de los organismos a lo largo del cuerpo del animal. Cabe mencionar que en algunas especies de ballenas, las diferencias en el contenido de yodo varían según los cambios en la composición de ácidos grasos, prácticamente los poliinsaturados incrementan el contenido de yodo en la capa de grasa de los organismos (Ackman *et al.*, 1965; Lockyer *et al.*, 1984).

Contenido energético en la capa de grasa interna de hembras de Z. californianus

Las variaciones estacionales en la disponibilidad de alimento, además de la capacidad del animal para almacenar reservas de energía, imponen una serie de limitaciones a la reproducción de varias especies de mamíferos marinos. Estas variaciones ejercen presión a la población entera y en particular a las hembras preñadas y lactantes debido a que los costos energéticos de estos animales son más elevados, es por ello, que previo al período reproductivo, regularmente los organismos exhiben una intensa alimentación con la única finalidad de almacenar lo mayor posible de energía. Se conoce que los requerimientos energéticos de las hembras lactantes, sólo pueden ser sostenidos en áreas altamente productivas como las regiones de surgencias donde las presas están concentradas y son predecibles (Costa, 1993), tal es el caso del BAC de Bahía Magdalena.

En el presente estudio, se observó un mayor contenido energético en la capa de grasa de hembras de lobo marino durante el periodo frío. Este resultado es importante, ya que coincide cuando el ecosistema es más productivo y se presentaron condiciones mas favorables para que los organismos se preparen para su período de reproducción (principios de mayo a finales de julio) (Odell, 1975). Esta preparación consiste en almacenar la mayor cantidad de reservas lipídicas en el tejido graso. Por otro lado, el bajo contenido energético que se observó en el periodo cálido, puede reflejar el desgaste energético impuesto por el intenso periodo de reproducción y lactancia para las hembras adultas.

V. CONCLUSIONES

- La composición química de las presas principales de *Zalophus californianus* (*Sardinops sagax*, *Merluccius angustimanus*, *Kathetostoma avarruncus* y *Pleuroncodes planipes*), fue diferente entre las especies así como en los periodos analizados (frío y cálido), siendo los lípidos el constituyente químico que mostró la mayor variación.
- La sardina Monterrey *S. sagax*, fue la especie presa que presentó el mayor contenido energético (KJ/Kg^{-1} PS) en los dos periodos analizados, por lo tanto es una presa de alto valor nutricional a lo largo del año, esto podría explicar el porqué es una de las presas preferenciales de *Z. californianus*.
- El contenido energético (KJ/Kg^{-1} PS) de *M. angustimanus*, *K. avarruncus* y *P. planipes*, varió considerablemente en los dos periodos del año, presentando mayor contenido de energía en el periodo cálido, convirtiéndolas en presas energéticamente atractivas en ese periodo, cuando *S. sagax* no tiene su mayor disponibilidad en la región.
- El estrato de grasa interno (cercano al músculo), presentó mayor contenido de lípidos en los dos periodos del año, por consiguiente resultó ser el estrato de grasa apropiado para el análisis de ácidos grasos en *Z. californianus*.
- Las hembras *Z. californianus*, presentaron mayor contenido energético (KJ/Kg^{-1} PS) durante el periodo frío, previo al periodo de reproducción (principios de mayo a finales de julio). Es posible que este alto contenido energético refleje la mayor cantidad de reservas lipídicas en su capa de grasa que los organismos almacenan como preparación para la reproducción.

CAPITULO II

ÁCIDOS GRASOS BIOMARCADORES RASTREADOS EN DOS RUTAS TRÓFICAS QUE LLEGAN A *Zalophus californianus*, DEL BAC DE BAHÍA MAGDALENA.

I. INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos poseen una cadena hidrocarbonada con un grupo carboxilo terminal, cuando la cadena hidrocarbonada no presenta ningún doble enlace se les denomina saturados (AGS), un doble enlace se les denomina monoinsaturados (AGMI) y cuando tienen dos ó más dobles enlaces se les conoce como poliinsaturados (AGPI). Dentro de los AGPI, se encuentran los ácidos grasos esenciales AGE (ácido linoléico 18:2 ω 6 y ácido linolénico 18:3 ω 3), llamados así porque los animales son incapaces de sintetizarlos. Solamente los organismos fototróficos, tanto procariotas y eucariotas, sintetizan *de novo* el 18:2 ω 6 y 18:3 ω 3, a partir del ácido esteárico 18:0 (Gurr y Harwood, 1991), por tal motivo, los animales deben de adquiridos a través de la dieta para su óptimo crecimiento y desarrollo (Lehninger, 1978; Sargent, 1997; Bell y Henderson, 1995; Elvevoll y James, 2000). Estos ácidos grasos a su vez, son precursores de otros ácidos grasos de cadena larga como el 20:4 ω 6, 20:5 ω 3 y 22:6 ω 3, aún cuando los organismos pueden sintetizar estos ácidos grasos a partir de sus precursores, la velocidad de su síntesis es muy baja (en especial en mamíferos marinos), por lo que diversos autores los consideran de igual manera como AGE. Su presencia o altas concentraciones de estos AGE en los organismos son el reflejo de buena condición fisiológica, ya que estos intervienen en importantes funciones metabólicas (Ackman, 1994), además, pueden ser el reflejo de que el alimento existente en el medio es de buena calidad (Sargent, 1995; Pazos *et al.*, 1997; Simopoulos, 1991).

Durante las últimas tres décadas, se ha observado el uso de los ácidos grasos como herramienta potencial para trazar redes tróficas (Ackman y Eaton, 1966), así como una técnica de gran alcance para la evaluación cuantitativa y cualitativa de las

dietas de los depredadores (Dahl *et al.* 2000; Iverson *et al.*, 2004; Falk-Petersen *et al.* 2004). Estos estudios han sido posibles debido a la gran diversidad y restricciones de síntesis que presentan los ácidos grasos en los organismos. Por tal motivo, se pueden encontrar ácidos grasos específicos de un considerable número de organismos del nano y microplancton, incluyendo bacterias, protozoarios y especies autotróficas y heterótrofas (Bottino, 1974; Claustre *et al.*, 1989; *et al.*, 1990; Scribe y Bourdier, 1995). Además, los ácidos grasos consumidos por depredadores monogástricos (un solo estómago), son depositados en el tejido adiposo con pocas modificaciones o con un patrón predecible, proporcionando así un registro integrado de la ingesta dietética en el tiempo.

El uso potencial de los ácidos grasos como biomarcadores en las cadenas tróficas acuáticas, se ha examinado principalmente en ecosistemas marinos (Ackman *et al.*, 1968; Sargent y Gamble, 1983; Claustre *et al.*, 1989).

En el ecosistema adyacente a Bahía Magdalena, el uso de ácidos grasos como biomarcadores para investigar flujos de energía en rutas tróficas, es nuevo y oportuno ya que esta zona es de alta relevancia ecológica (Lluch-Belda *et al.*, 2000). Este es el primer estudio que utiliza al lobo marino de California (*Z. californianus*), como organismo bioindicador de este ecosistema templado-tropical, donde se analiza y rastrea ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton y detritus, a lo largo de dos rutas tróficas que llegan a este depredador tope, en dos momentos del año que difieren en condiciones de productividad.

II. METODOLOGÍA

Previamente a la determinación de ácidos grasos, se realizó la extracción de lípidos totales en los organismos de la ruta trófica 1 (RT1: fitoplancton, langostilla pelágica *P. planipes*, sardina Monterrey *S. sagax*, merluza enana *M. angustimanus* y el lobo marino de California *Z. californianus*), y la ruta trófica 2 (RT2: detritus en sedimento, langostilla bentónica, pez miracielos *K. averruncus* y lobo marino de California. La metodología de extracción de lípidos totales fue descrita en el Capítulo I sección 2.4.

Para la comparación en la calidad de ácidos grasos (AGPI y AGE) entre el periodo frío (marzo) y cálido (noviembre) en sardina Monterrey, se utilizó un análisis de ácidos grasos en músculo realizado en marzo 2004, para la misma zona de estudio. Fue posible utilizar ese análisis ya que Garrido *et al.* (2008), reportan que es posible detectar variación espacial de los ácidos grasos de la dieta de sardina en la composición de los ácidos grasos del músculo.

2.1 Determinación de los ácidos grasos

Una vez obtenido el extracto lipídico de las muestras, se procedió a la determinación de los ácidos grasos. Se realizó un paso previo que consiste en la derivatización analítica de los lípidos por dos razones: a) para incluir en el análisis los compuestos que son volátiles e inestables y que por su naturaleza no se encuentran directamente disponibles, y b) para mejorar la detección de los compuestos durante el análisis cromatográfico (Nyberg, 1986). Los derivados de ácidos grasos más comunes son los metil-ésteres obtenidos por el método de Sato y Murata (1988).

En derivatización los lípidos totales se sometieron a metanólisis adicionándole 2.5 ml de mezcla de HCl:CH₃OH 5:95, durante 2.5 h a 85°C. Los metil-ésteres que se obtuvieron de la reacción de metanólisis se extrajeron con 1 ml de hexano (C₆H₁₂, grado HPLC), repitiendo dos veces hasta su total extracción. Al extracto resultante se le adicionó agua destilada; originando la formación de dos capas, una inferior de agua destilada y la superior con hexano y metil-ésteres. El agua destilada se separó

con una pipeta Pasteur por dos o tres veces, con la finalidad de quitar las impurezas que posiblemente quedaron de la derivatización. El extracto de hexano con los metil-ésteres se secó con una corriente de nitrógeno gaseoso. Para cada muestras de ácidos grasos se resuspendieron con un valor conocido de C_6H_{12} y se colocaron en un inserto dentro de un vial con 250 μ L (a una concentración de 500 μ g/mL).

Estos viales con los 250 μ L de muestra se inyectaron automatizadamente en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) Hewlett Packard serie G1800B, acondicionado con una columna Agilent Technologies DB-23 de 60 m x 0.25 mm de diámetro interno y 0.25 μ m de tamaño de la partícula. El gas acarreador fue Helio (He) de alta pureza con un flujo de 1.0 mL/min. Las condiciones de corrida fueron: temperatura del inyector 110°C manteniéndose 3.3 min. La rampa de temperatura que presentó la columna fue: inicialmente aumento a 165°C a una tasa de 30°C/min, manteniéndose a 165 °C por dos min, enseguida aumentó a 210°C a una tasa de 10°C/min manteniéndose a esa temperatura por dos min, finalmente aumentó hasta 240 °C a una tasa de 3 °C/min, manteniéndose a esa temperatura por 10 min. La temperatura del detector y del inyector fue de 250°C.

La identificación de cada ácido graso presente en las muestras se realizó mediante la comparación de los tiempos de retención (tiempo que transcurre después de la inyección de la muestra para que el pico del analito alcance el detector) de los picos de los ácidos grasos de las muestras con los de un multiestándar de 37 ácidos grasos comerciales (Supelco-47885-U) y abundantes en organismos marinos. Esta identificación se confirmó con el software HP Chem Station, mediante la interpretación de los espectros de masas generados y su comparación con los espectros contenidos en la biblioteca NIST02 y NBS75K.

La cuantificación de los ácidos grasos presentes en las muestras se realizó mediante la interpolación con una curva de calibración que relaciona el área bajo los picos con concentraciones conocidas de 37 estándares de ácidos grasos. Los resultados se presentan en porcentaje con respecto al total de ácidos grasos basados en μ g/mg de los organismos.

Los AG fueron nombrados según la nomenclatura abreviada la cual consiste en una C seguida de dos números, separados por dos puntos. El primer número indica

la longitud de la cadena hidrocarbonada, mientras que el segundo indica el número de dobles enlaces que contiene.

2.2 Tratamiento estadístico de los datos

Los valores de ácidos grasos se obtuvieron en porcentaje respecto al total de ácidos grasos y no presentaron una distribución normal. Por tal motivo, fueron tratados utilizando la transformación angular arcoseno ($\sqrt{(\%/100)}$) como lo sugiere Zar, (1999), y así poder realizar las pruebas estadísticas (Sokal y Rohlf, 1981). Después de probar la normalidad (Kolmogorov-Smirnoff) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) de los valores de porcentaje, se aplicó según el caso un ANDEVA FACTORIAL (donde la variable dependiente fue el valor del porcentaje y las variables independientes fueron los períodos y/o los ácidos grasos). Posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey para encontrar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las especies y temporadas de muestreo.

Análisis multivariado

El análisis multivariado se ha utilizado eficazmente en el análisis de ácidos grasos para examinar interacciones tróficas y diferencias espaciales y temporales entre distintos grupos de animales (Budge *et al.*, 2006).

Para obtener información de todos los ácidos grasos encontrados simultáneamente en todos los componentes tróficos de las dos rutas analizadas (RT1 y RT2), se utilizó el análisis de componentes principales (ACP). Este método utiliza correlaciones lineales que suman los datos, existiendo muy poca pérdida de información. Cada muestra es posicionada en un espacio multidimensional descrito por las variables (ácidos grasos) los dos ejes (componentes principales, CP) que describen la más grande (CP1) y segunda más grande (CP2) variancia entre las muestras. Además, se utilizó un análisis de clasificación (*cluster analysis*), para examinar la similitud que habría entre las rutas tróficas (RT1 y RT2). Para realizar

este último análisis, se usaron los porcentajes promedio de cada ácido graso. Se utilizó la distancia euclidiana para medir la similitud entre los grupos y como regla de ligamiento se utilizó el método de Ward. El nivel de corte de los dendograma así como la formación de los grupos se basó en un criterio que formara las agrupaciones mayores ó más generales, en lugar de la obtención de varios grupos menores ó pequeños.

Para todas las pruebas estadísticas se utilizó el software STATISTICA versión 7.0, y un valor de $p < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización de los ácidos grasos biomarcadores de la base de las dos rutas tróficas

Con la finalidad de conocer que ácidos grasos se utilizarían como biomarcadores de las rutas tróficas elegidas: del periodo frío la RT1; fitoplancton, *P. planipes* (fase pelágica), *S. sagax*, *M. angustimanus*, y del periodo cálido la RT2; detritus en sedimento, *P. planipes* (fase bentónica), *K. averruncus*, donde ambas rutas tróficas tienen a *Z. californianus* como depredador tope. Primeramente, se realizó un análisis de componentes principales para explorar los perfiles de ácidos grasos de la base de las dos rutas tróficas (fitoplancton de la RT1 y detritus de la RT2).

En la Fig. 11, se presenta la distribución espacial de los perfiles de ácidos grasos del fitoplancton y detritus, los dos primeros componentes explican el 77% de la varianza total del sistema, contribuyendo con 65% y 13% respectivamente. Se observa claramente una separación entre el fitoplancton y detritus. Los ácidos grasos que contribuyeron significativamente a esta separación fueron: con valores negativos que corresponden al fitoplancton (14:0, 16:0, 16:2 ω 4, ai17:0, 18:1 ω 9c, 18:3 ω 3, 18:4 ω 3, 20:2 ω 6, 20:3 ω 3, 20:5 ω 3, 22:3 ω 6, 22:3 ω 3, 24:1 y 22:6 ω 3), cabe señalar, que éstos ácidos grasos en su mayoría son ácidos grasos poliinsaturados (AGPI). Y para el detritus con valores positivos (13:0, i13:0, 14:1 ω 5, i14:0, ai14:0, i15:0, 16:1 ω 9, i16:0, ai16:0, 16:0 TM, 18:1 ω 9t, 18:1 ω 11, 18:1 ω 7, 18:1 ω 3, i18:0, 20:0, 20:1 ω 7, i21:0, 22:1 ω 9, 24:0 y 26:0) que en su mayoría son ácidos grasos saturados y ramificados (RAM, iso y anteiso).

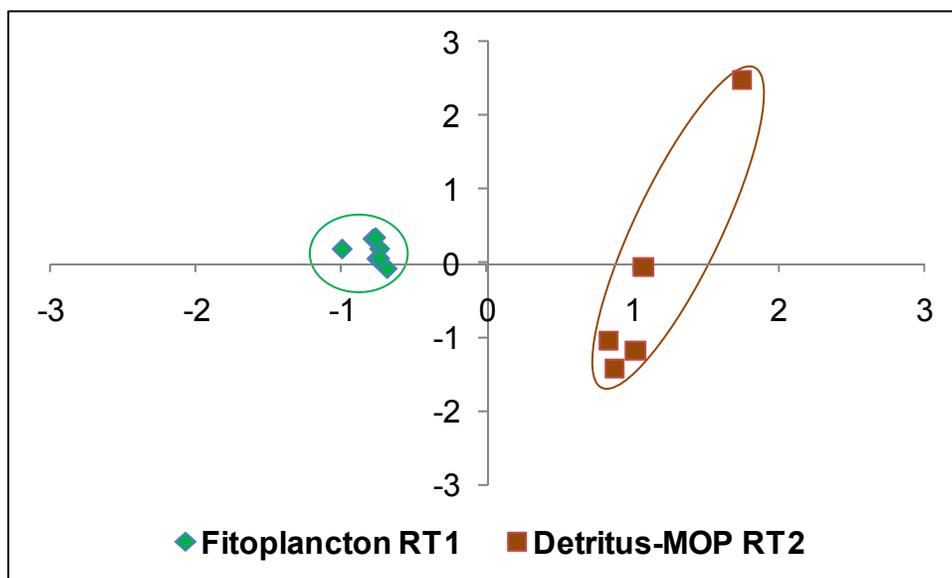


Figura 11. Análisis de componentes principales del perfil de AG de fitoplancton y detritus-MOP en sedimento. Los círculos representan la separación entre estos componentes.

Considerando la separación entre los perfiles de ácidos grasos del fitoplancton y detritus mediante el análisis de componentes principales, se graficaron los perfiles de ácidos grasos realizando una ANOVA y una prueba *a posteriori* de Tukey, con la finalidad de observar los ácidos grasos característicos de cada base trófica y observar diferencias significativas ($p < 0.05$).

En fitoplancton se encontraron un total de 51 ácidos grasos, de los cuales 16 fueron poliinsaturados (AGPI), 14 monoinsaturados (AGMI), 13 saturados (AGS) y 8 ramificados (RAM), y en el detritus de sedimento se identificaron 45 ácidos grasos en total, de los cuales 15 fueron AGMI, 14 AGS, 10 RAM, y solo 6 AGPI (Anexo, Tabla 6).

El fitoplancton fue caracterizado principalmente por AGPI que son particulares de diatomeas como el 20:5 ω_3 (EPA) y de dinoflagelados y flagelados como Isochrysis, el 18:4 ω_3 y 22:6 ω_3 (DHA). En el fitoplancton el ácido graso 20:5 ω_3 se detectó en mayor concentración (5.59 ± 1.16) (% de cada ácido graso con respecto al total de ácidos grasos), que en el detritus (0.48 ± 0.22 , $p < 0.05$), mientras que los

ácidos grasos 18:4 ω 3 (1.15 ± 0.30) y 22:6 ω 3 (17.02 ± 2.26), característicos de flagelados, no se presentaron en el detritus (Fig. 12).

El detritus fue caracterizado principalmente por la presencia de ácidos grasos indicadores de bacterias (como los ramificados RAM, iso y anteiso del 13:0 al 21:0), o indicadores de actividad bacteriana como el ácido fitánico 16:0 tetrametilo TM (Fig. 12). Ya que los ácidos grasos RAM (i 13:0, i 14:0, ai 14:0, i 15:0, i 16:0, ai 16:0, i 20:0, i 21:0,) se encontraron en mayor concentración en el detritus, incluso en fitoplancton los ácidos grasos 16:0 TM, i18:0 y i21:0 no se detectaron. Dentro de los ácidos grasos RAM en el detritus, el que presentó mayor concentración fue el ai 14:0 con 4.82 ± 1.69 %.

Estos resultados son muy importantes, debido a que esta composición de ácidos grasos poliinsaturados se esperaba observar en fitoplancton y de ácidos grasos ramificados en el componente detritus (Fig. 12).

En ambientes marinos, existe el interés de determinar la contribución del material alóctono (por ejemplo, el de plantas terrestres). Los ácidos grasos de cadenas largas como el 24:0 (1.81 ± 0.52) y 26:0 (1.30 ± 0.56) son a menudo usados como indicadores de plantas superiores terrestres y se encontraron en el detritus del sedimento, sugiriendo que la región adyacente a Bahía Magdalena tiene entrada de material terrígeno proporcionado por las plantas terrestres.

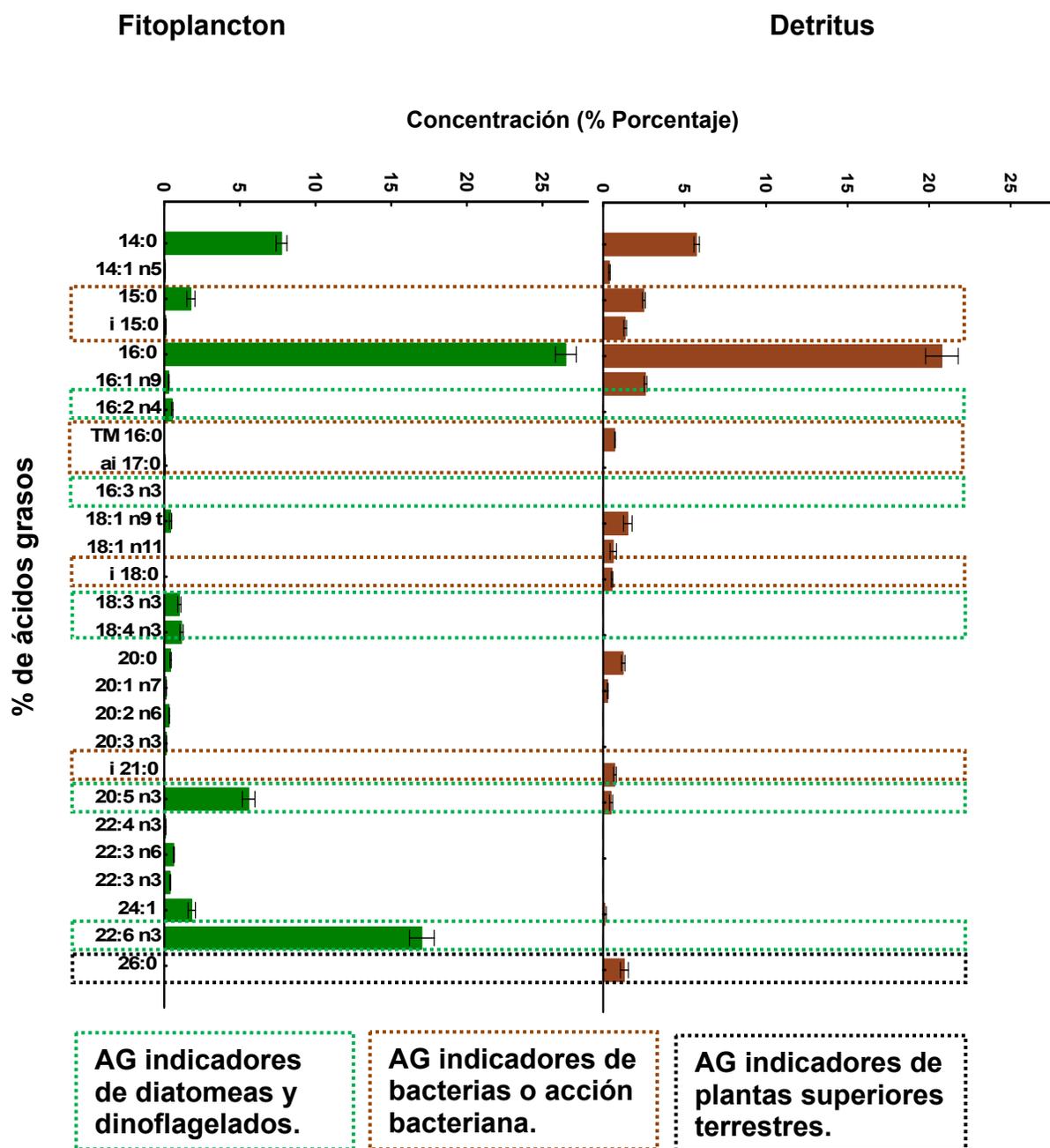


Figura 12. Perfil de ácidos grasos de fitoplancton (n=3) y detritus en sedimento (n=5), con sus respectivos ácidos grasos biomarcadores. * Diferencia significativa.

3.2 Ácidos grasos biomarcadores rastreados a través de las dos rutas tróficas

Se realizó un análisis exploratorio de componentes principales con los perfiles de ácidos grasos de cada nivel trófico de las dos rutas tróficas elegidas en este estudio (Fig. 13), con la finalidad de observar si se mantenía la separación prevista desde la base de las rutas tróficas (fitoplancton y detritus), en el resto de los niveles tróficos. En el **NT1** (fitoplancton RT1 y detritus RT2), los dos primeros factores explican el 77% de la varianza total del sistema, contribuyendo con 65% y 13% respectivamente; **NT2** (*S. sagax* RT1 y *P. planipes* bentónica RT2), los factores 1, 2 y 3 explican el 73 % de la varianza total del sistema, contribuyendo con 36%, 21% y 16% respectivamente; **NT3** (*M. angustimanus* RT1 y *K. averruncus* RT2), los dos primeros factores explican el 81% de la varianza total del sistema, contribuyendo con 63% y 18% respectivamente y el **NT4** (*Zalophus californianus* de periodo frío RT1 y cálido RT2), los factores 1, 2 y 3 explican el 79 % de la varianza total del sistema, contribuyendo con 35%, 28% y 16 % respectivamente.

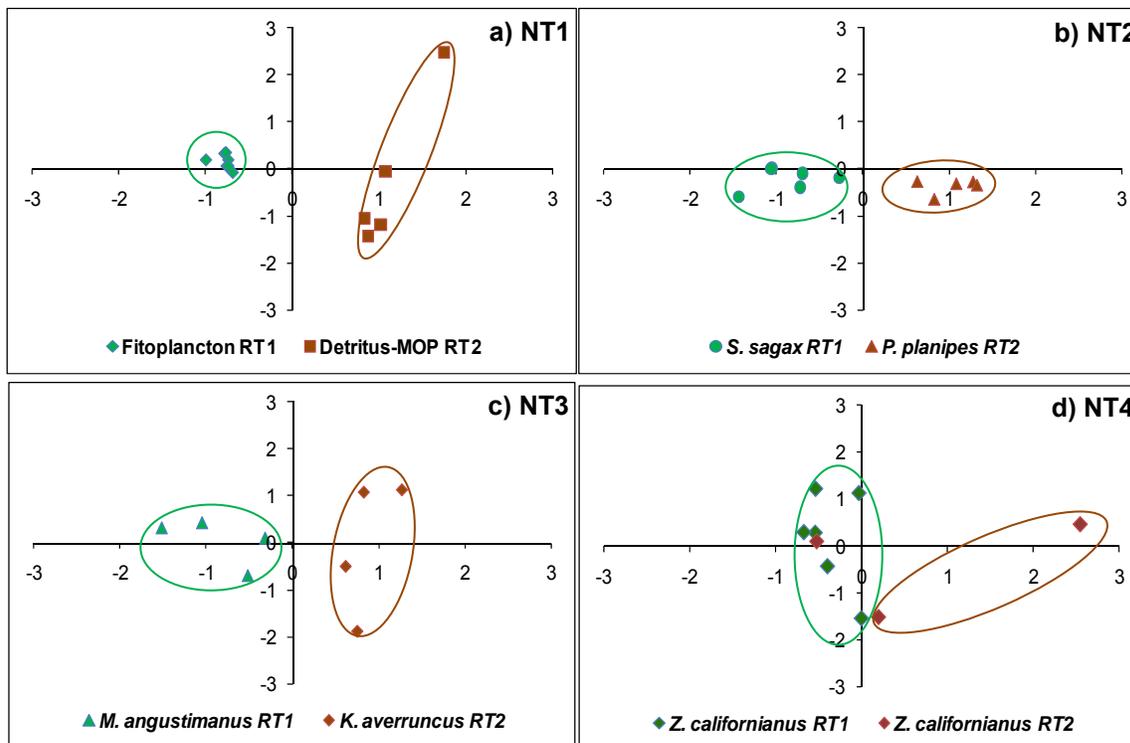


Figura 13. Análisis exploratorio de componentes principales de los perfiles de ácidos grasos. **a) NT1** (fitoplancton RT1 y detritus RT2), **b) NT2** (*S. sagax* RT1 y *P. planipes*

bentónica RT2), **c) NT3** (*M. angustimanus* RT1 y *K. averruncus* RT2), y **d) NT4** (*Zalophus californianus* de periodo frío RT1 y cálido RT2). En todos los casos, los círculos representan la separación entre cada componente trófico.

Los ácidos grasos que contribuyeron significativamente a la separación entre los componentes tróficos (Fig. 13), coincidieron desde la base de las rutas tróficas hasta el depredador tope, con valores negativos para la RT1, que en su mayoría fueron ácidos grasos poliinsaturados, y con valores positivos para la RT2 con ácidos grasos que en su mayoría fueron ramificados (iso y anteiso) y monoinsaturados. Sin embargo, cabe señalar que en el NT4 donde se encuentra el lobo marino de California, no fue tan clara la separación entre *Z. californianus* de la RT1 y la RT2, ya que existió un lobo marino del periodo cálido que presentó similitud con el perfil de ácidos grasos de los lobos marinos del periodo frío.

Un análisis más detallado es el que se observa en la Fig. 14, donde los ácidos grasos biomarcadores de diatomeas (20:5 ω 3 y 22:6 ω 3), que se encontraron en fitoplancton y de bacterias en detritus (ácidos grasos ramificados, iso y anteiso), se rastrearon en cada nivel trófico a lo largo de las dos rutas tróficas hasta el depredador tope, *Z. californianus* (Fig. 14; **a, b, c y d**). Observándose que los ácidos grasos indicadores de fitoplancton se encontraron en mayor abundancia en casi todos los niveles tróficos de la RT1 (ruta trófica del periodo frío), que en los niveles tróficos de la RT2 (periodo cálido). En algunos componentes tróficos de la RT2, estos incluso no se presentaron: (**20:5 ω 3**; NT1 5.59 \pm 1.16 y 0.48 \pm 0.22 p <0.05, NT3 5.67 \pm 0.48 y 2.02 \pm 0.74 p <0.05, NT4 3.76 \pm 1.07 y 1.85 \pm 0.88 p <0.05, y el **22:6 ω 3**; NT1 17.02 \pm 2.26 y -ausente-, NT3 25.90 \pm 1.00 y 3.90 \pm 2.24 p <0.05, NT4 13.73 \pm 3.97 y 13.70 \pm 5.95, RT1 y RT2 respectivamente).

Los ácidos grasos indicadores de bacterias en el componente detritus, se encontraron en mayor concentración en la RT2 que en la RT1, considerando incluso que algunos ácidos grasos no se presentaron en la RT1 (**16:0 TM**; NT1-ausente- y 0.72 \pm 0.06, NT3 0.77 \pm 0.18 y 2.05 \pm 0.99, NT4 0.43 \pm 0.20 y 1.21 \pm 1.06, RT1 y RT2 respectivamente).

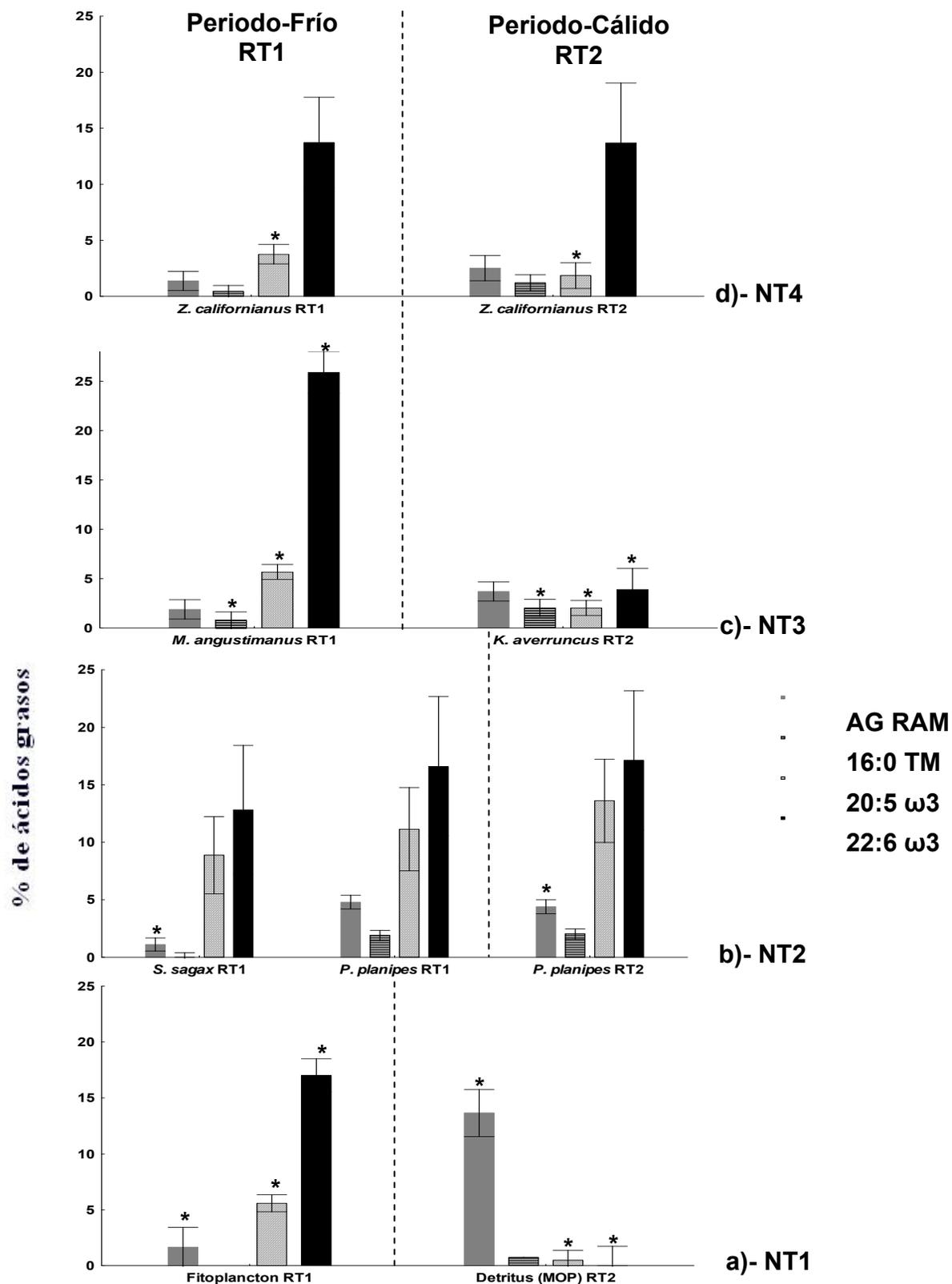


Figura 14. Porcentaje de los ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton (20:5 ω3 y 22:6 ω3) y bacterias (AG RAM y 16:0 TM) en los niveles tróficos de la RT1 y RT2 hasta *Zalophus californianus*, en el BAC de Bahía Magdalena. * Diferencia significativa (p<0.05).

Finalmente, para detectar alguna similitud más generalizada de todos los componentes tróficos, y observar alguna conexión entre los componentes de cada rutas tróficas (RT1 y RT2), se realizó un análisis de clasificación (*cluster análisis*), utilizando los AG que marcaron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre fitoplancton y detritus tras el análisis de componentes principales. El nivel de corte de los dendogramas así como la formación de los grupos se basó en un criterio que genera las agrupaciones mayores ó más generales, en lugar de la obtención de varios grupos menores ó pequeños (Fig. 15).

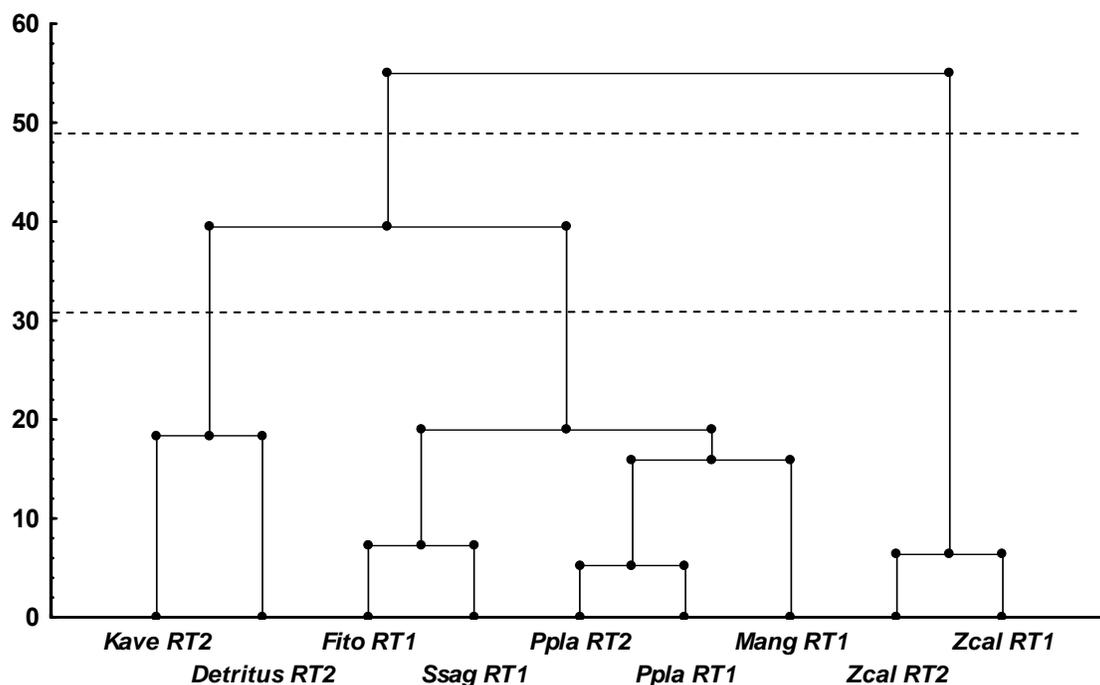


Figura 15. Dendrograma de clasificación basado en los ácidos grasos biomarcadores de la base de ambas rutas tróficas (fitoplancton y detritus). (*Kave*) *K. averruncus*, (*Fito*) *fitoplancton*, (*Ssag*) *S. sagax*, (*Ppla*) *P. planipes*, (*Mang*), *M. angustimanus*, (*Zcal*) *Z. californianus*). La línea punteada representa la línea de corte para la formación de los grupos.

De manera general se obtuvo la formación de 2 grupos: Uno que corresponde al lobo marino de la RT1 y RT2, y el otro que corresponde al resto de los componentes tróficos incluyendo las bases de las cadenas tróficas (fitoplancton y detritus). Al realizar un segundo corte se pueden identificar 3 grupos: 1) el de lobo marino; 2) fitoplancton con sardina: merluza con langostilla pelágica y bentónica y 3) detritus con pez miracielos. Cabe mencionar que este análisis unió a los perfiles de

ácidos grasos que presentan un vínculo biológico a nivel de especie; 1) el lobo marino de ambas rutas tróficas y 2) la langostilla ya sea pelágica o bentónica. También el análisis unió a los componentes tróficos que tienen mayor relación respecto a su dieta, por ejemplo en el grupo a la langostilla la agrupó con merluza enana y al fitoplancton con sardina.

3.3 Calidad de los AG a través de los niveles tróficos hasta *Z. californianus*

Los AGPI de cadena larga (principalmente de la familia $\omega 3$ y $\omega 6$), son nutrientes esenciales, debido a la incapacidad de muchos animales marinos para sintetizarlos, por lo que se requieren en la dieta para su óptimo crecimiento y supervivencia. En la Fig. 16 se observa que en la RT1, el fitoplancton presenta mayor abundancia de ácidos grasos poli-insaturados AGPI (30.5 ± 4.2) que el detritus de la RT2 (4.6 ± 1.2 , $p < 0.05$). Estos AG se observan a lo largo de la RT1 en mayor abundancia (excepto en el NT2) hasta el lobo marino, encontrándose en algunos casos diferencias significativas (NT1 y NT3 $p < 0.05$). Esto sugiere que el fitoplancton es una fuente importante de estos ácidos grasos de cadena larga y que su transferencia es eficiente hacia el resto de los componentes de las rutas tróficas, hasta llegar a los depredadores tope. Los AG monoinsaturados AGMI, se observan en mayor concentración en el detritus (31.2 ± 4.1) que en el fitoplancton (17.8 ± 1.1 , $p < 0.05$), y se encuentran de igual forma en mayor abundancia a lo largo de los niveles tróficos de la RT2 que en la RT1 (NT2: 26.1 ± 6.0 y 28.08 ± 3.3 , NT3: 28.0 ± 0.4 y 41.0 ± 5.1 y NT4: 49.30 ± 4.68 y 53.03 ± 7.94 , RT1 y RT2 respectivamente).

Los ácidos grasos ramificados RAM, se encontraron en mayor concentración en los niveles tróficos de la RT2 (NT1: 1.7 ± 0.1 y 13.7 ± 3.3 , NT2: 1.1 ± 0.5 y 4.39 ± 0.7 , NT3: 1.9 ± 0.5 y 3.7 ± 1.0 , NT4: 1.38 ± 0.36 y 2.52 ± 1.64 , RT1 y RT2 respectivamente), (Fig. 16). En el segundo semestre del año cuando existen condiciones oligotróficas, el detritus toma mayor importancia como fuente de energía para las cadenas tróficas del BAC de Bahía Magdalena, observándose su influencia en los distintos niveles tróficos hasta llegar al lobo marino.

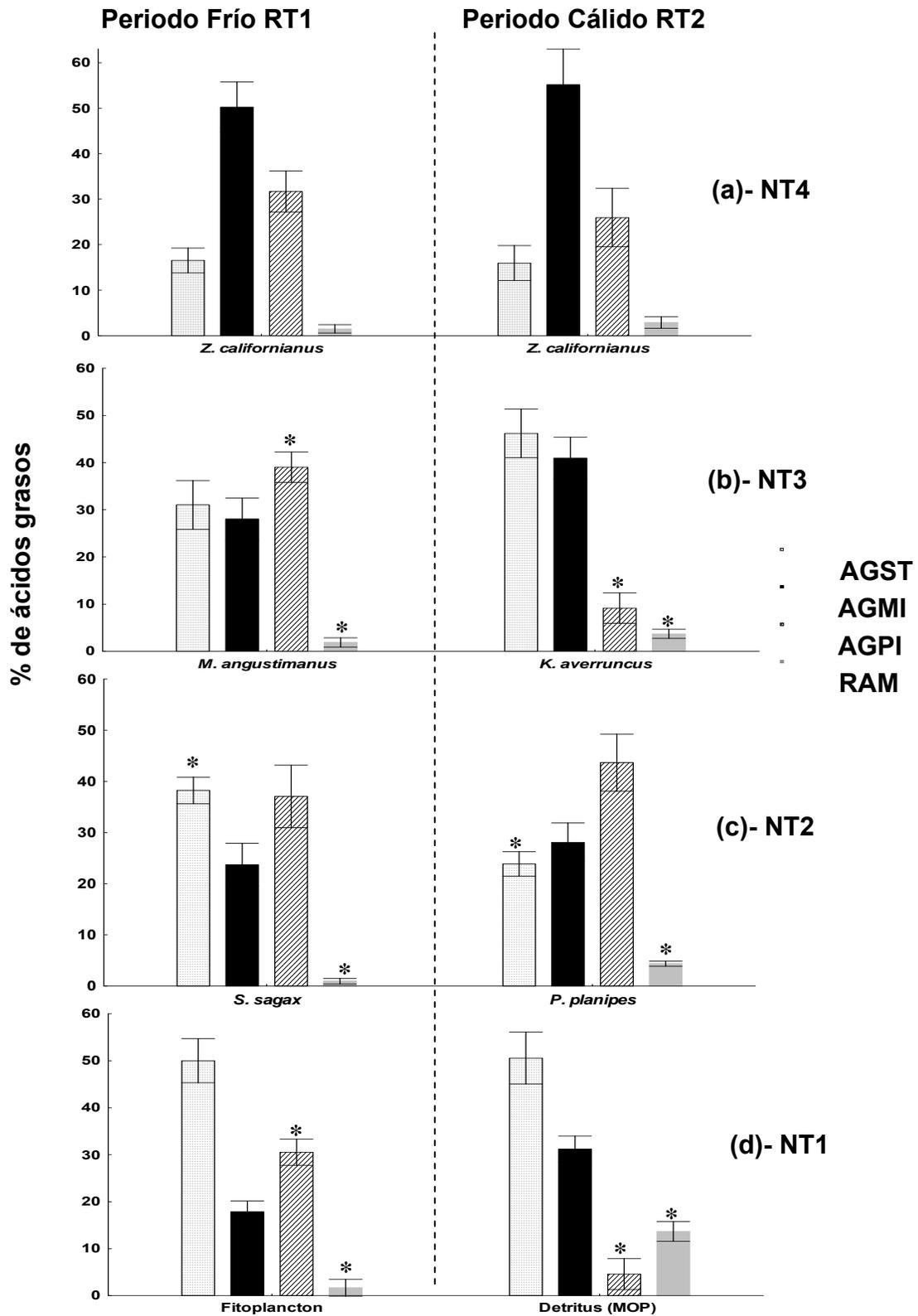


Figura 16. Porcentaje de los AGS, AGMI, AGPI y RAM en los niveles tróficos de la RT1 y RT2 hasta *Zalophus californianus*, en el BAC de Bahía Magdalena. * Diferencia significativa ($p < 0.05$).

En la Fig. 17, se muestra de forma resumida la suma del contenido de los AGPI y AGE en todos los niveles de cada ruta trófica, observándose que en la RT1, se encontraron en mayor porcentaje tanto los AGPI (33.4 ± 1.25) como los AGE (28.3 ± 1.12), que en la RT2 (21.5 ± 1.36 y 17.1 ± 1.22 , AGPI y AGE respectivamente), observándose diferencia significativa en todos los casos (ANOVA; $p < 0.05$).

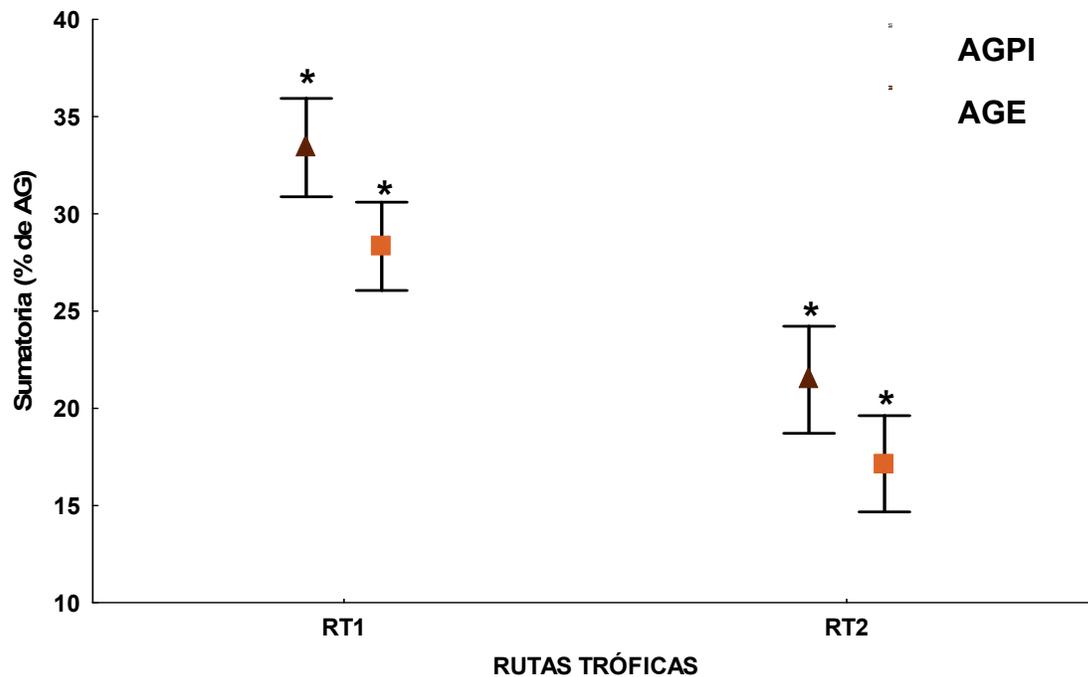


Figura 17. Suma del porcentaje de los AGPI y AGE en cada una de las rutas tróficas (RT1 y RT2). Los * marcan diferencia significativa $p < 0.05$.

En la Fig. 18 se presenta el porcentaje de los AGPI y AGE de las presas principales de *Z. californianus* (*S. sagax*, *M. angustimanus*, *K. averruncus*), incluyendo a este depredador para ambos periodos del año. Observándose en todos los organismos, mayor concentración (%) de los AGPI y AGE en el periodo frío que en el cálido: sardina Monterrey (AGPI; 34.7 ± 1.9 y 32 ± 3.5 , AGE; 31.2 ± 1.9 y 27 ± 3.4 periodo frío y cálido, respectivamente), merluza enana (AGPI; 30.0 ± 4.3 y 8.1 ± 2.1 , AGE; 36.1 ± 4.1 y 5.4 ± 2.0 periodo frío y cálido, respectivamente, $p < 0.05$), pez miracielos (AGPI; 29.5 ± 3.8 y 9.2 ± 4.3 , AGE; 25.7 ± 3.7 y 7.6 ± 4.1 periodo frío y cálido, respectivamente, $p < 0.05$) y en *Z. californianus* (AGPI; 31.7 ± 3.5 y 26.0 ± 4.9 , AGE; 23.9 ± 3.4 y 17.8 ± 4.8 periodo frío y cálido, respectivamente).

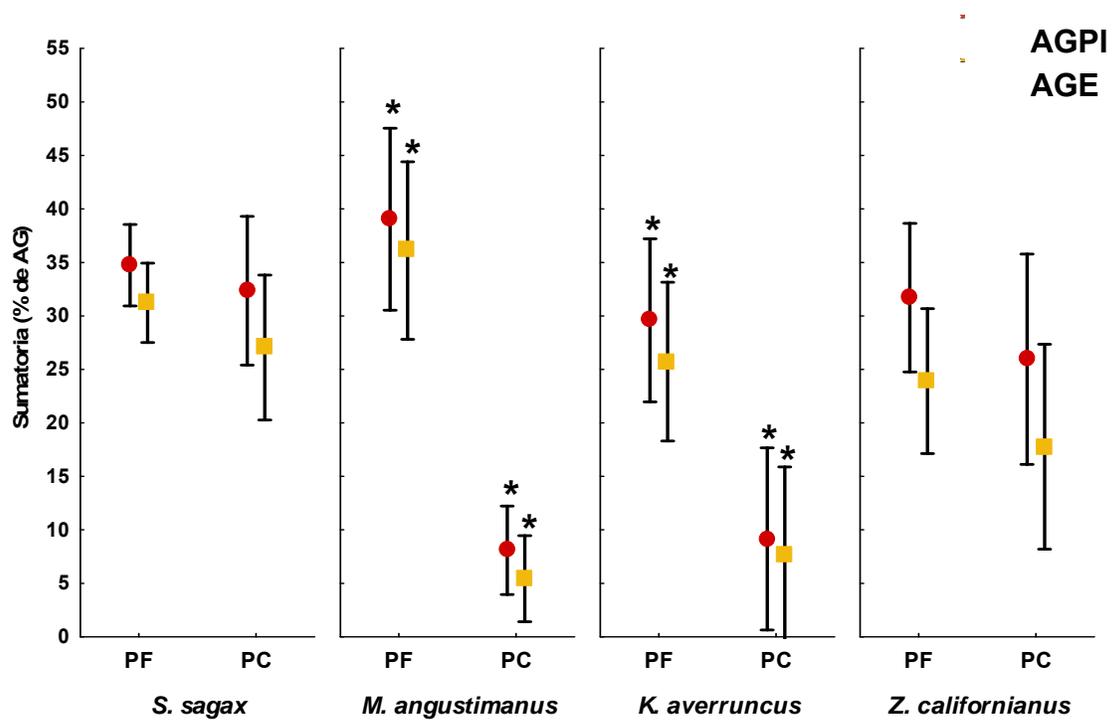


Figura 18. Suma del porcentaje de los AGPI y AGE en las presas principales de lobo marino de California, *Zalophus californianus* del periodo frío y cálido, en el BAC de Bahía Magdalena. Los * marcan diferencia significativa $p < 0.05$.

IV. DISCUSIONES

Caracterización de los ácidos grasos biomarcadores de la base de las dos rutas tróficas

En este capítulo, primeramente fue necesario caracterizar a los ácidos grasos del fitoplancton y del detritus. Parrish *et al.* (2000), mencionan que usando ácidos grasos biomarcadores en muestras marinas, es posible determinar la fuente de origen (es decir la contribución del fitoplancton, zooplancton o de bacterias, etc.). Por tal motivo, se han usado ampliamente como marcadores tróficos en ambientes pelágicos marinos (Budge *et al.*, 2001; Dalsgaard *et al.*, 2003; Bergué y Barnathan, 2005).

El fitoplancton se caracterizó por ácidos grasos que son particulares de diatomeas como el 20:5 ω 3 (EPA) y de dinoflagelados como el 18:4 ω 3 y 22:6 ω 3 (DHA), y fue notable observar que los AGPI se presentaron en mayor número y concentración, ocupando una tercera parte del total de los ácidos grasos del fitoplancton, quedando en menor número y cantidad los ácidos grasos ramificados. Estos resultados son explicables dado que los organismos fototróficos, sintetizan *de novo* los ácidos linoléico 18:2 ω 6 y linolénico 18:3 ω 3 (Gurr y Harwood, 1991), y mediante estos dos ácidos grasos se sintetizan ácidos grasos de cadenas más largas como los AGPI (20:4 ω 6, 20:5 y 22:6 ω 3), concentrándose en sus células (Sargent *et al.*, 1995; Cook, 1991).

El detritus del sedimento fue caracterizado por la presencia de ácidos grasos indicadores de bacterias como los ácidos grasos ramificados (iso y anteiso del 13:0 al 21:0), o indicadores de acción bacteriana como el ácido fitánico, 16:0 TM (Dalsgaard *et al.*, 2003), con mayor número y cantidad de ácidos grasos monoinsaturados y menor número y cantidad de AGPI. Es posible que los AGPI encontrados en el detritus, provengan de la micro y meiofauna o de la nieve marina y no de bacterias, ya que estas solo producen ácidos grasos ramificados, saturados y monoinsaturados pero no poliinsaturados (Leghinger, 1981).

Estos resultados son importantes y que esta composición de ácidos grasos característicos de bacterias, se esperaba encontrar en mayor concentración en el material detrítico del sedimento, puesto que las bacterias además de los hongos, son el componente microbiano más importante del detritus como organismo que descomponen la materia orgánica en la base de las cadenas tróficas (Newell, 1993). Se corrobora que la composición de ácidos grasos de bacterias es muy diferente a la composición de ácidos grasos encontrados en eucariotas acuáticos, como los organismos que componen el fitoplancton (Erwin, 1973; Cranwell, 1974; Delong y Yayanos, 1986; Sargent *et al.*, 1987; Fredrickson y Cappenberg, 1987; Guezennec, 1995).

En ambientes marinos existe siempre el interés en determinar la contribución del material detrítico alóctono (por ejemplo material de plantas terrestres). Esta materia orgánica puede ser trazada en el detritus por la detección de ácidos grasos saturados de cadena larga (>24 carbonos) que conforman a las ceras y constituyen la cutícula de sus hojas (Scribe y Bourdier, 1995). Estos marcadores se encontraron en el componente detritus del sedimento, sugiriendo que la región adyacente a Bahía Magdalena presenta aporte de material alóctono proporcionado por las plantas terrestres, probablemente del manglar de Bahía Magdalena-Almejas, constituyendo otra fuente energética para el BAC de Bahía Magdalena.

Ácidos grasos biomarcadores rastreados a través de las dos rutas tróficas hasta *Z. californianus* en el BAC de Bahía Magdalena

El uso de ácidos grasos como biomarcadores fue aplicado desde que Lee *et al.* (1971), demostraron que los ácidos grasos del fitoplancton se transferían a través de los copépodos al resto de las cadenas tróficas.

En este estudio, los ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton y bacterias en el detritus se rastrearon exitosamente en cada nivel trófico de las dos rutas tróficas (RT1 periodo frío y RT2 periodo cálido) hasta llegar al depredador tope *Z. californianus*. Los ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton que en su mayoría fueron AGPI (20:5 ω 3, 18:4 ω 3 y 22:6 ω 3), se presentaron en mayores abundancias

en casi todos los niveles tróficos de la RT1 (excepto en el NT2, sardina y langostilla pelágica *versus* langostilla bentónica). Estos resultados son congruentes debido a que generalmente a bajas temperaturas los organismos incrementan su nivel de AGPI en sus membranas celulares (Ackman *et al.*, 1968; Pohl y Zurheide, 1979). Se puede decir que durante el periodo frío en el BAC de Bahía Magdalena (cuando se presenta producción nueva basada en los nutrientes aportados por los fenómenos de surgencias), la vía energética que toma mayor importancia es la que proporciona el fitoplancton al resto de los organismos del ecosistema.

Por su parte, los ácidos grasos ramificados (iso y anteiso incluyendo al 16:0 TM) indicadores de bacterias del componente detritus, también fueron rastreados en los niveles tróficos a lo largo de las dos rutas tróficas, observándose según lo esperado, mayor concentración en casi todos los niveles tróficos de la RT2 (periodo cálido) incluyendo al lobo marino de California. Es en este periodo cálido cuando la producción regenerada basada en los productos del ciclo microbiano, toman mayor relevancia en el ecosistema del BAC de Bahía Magdalena (Martínez *et al.*, 1995; Silverberg *et al.*, 2004). Esto es probablemente ocasionado por el patrón de circulación que del BAC de Bahía Magdalena, siendo estacional y con una fuerte alternancia entre condiciones eutróficas y oligotróficas (Longhurst *et al.*, 1967; Walsh *et al.*, 1977). Las condiciones oligotróficas entre septiembre y diciembre, están vinculadas con la presencia de aguas de mayor salinidad provenientes del sudeste (Contracorriente costera) y con una menor actividad de surgencias. Es en éste periodo cálido cuando la actividad del fitoplancton disminuye (0.36 mgClam^{-3} , Gaxiola y Álvarez, 1986; Hernández, 1993) y la materia orgánica, principalmente en forma detrítica, es relativamente importante en este periodo (Martínez *et al.*, 1995) propiciando que predominen cadenas tróficas con mayor influencia del detritus.

Calidad de los ácidos grasos a través de los niveles tróficos hasta Z. californianus.

Los AGPI de cadena larga (20:4 ω 6, 20:5 ω 3 y 22:6 ω 3), son nutrientes esenciales debido a la incapacidad que tienen muchos animales marinos en sintetizarlos, siendo requeridos en sus dietas para su óptimo crecimiento y supervivencia (Langdon y Waldock, 1981; Witt *et al.*, 1984). Por tal motivo, se ha demostrado que son biomarcadores muy útiles, a diferencia de los (AGS y AGMI), que pueden ser sintetizados cuando los organismos están consumiendo una baja cantidad de grasa y altas cantidades de carbohidratos en la dieta (Budge *et al.*, 2006).

El fitoplancton presentó mayor abundancia de AGPI que el detritus, sugiriendo que el fitoplancton es nutricionalmente más importante, ya que su valor nutricional puede ser evaluado por la composición de los ácidos grasos totales, pero en particular por el contenido y la presencia de AGPI como el 20:5 ω 3 y de 22:6 ω 3 (Viso y Marty, 1993). Así mismo, Torres-Ruiz *et al.* (2007), analizaron la composición de ácidos grasos en productores primarios *versus* materia orgánica bentónica, encontrando mayores concentraciones de ácidos grasos de cadena larga como el 18:2 ω 6, 18:3 ω 3, 20:5 ω 3, 20:4 ω 6 en los productores primarios que en materia orgánica bentónica.

A su vez, estos AGPI se observaron en mayor abundancia en los niveles tróficos de la RT1 (excepto en el NT2, sardina *versus* langostilla bentónica) hasta el lobo marino, mostrando que el fitoplancton contribuye eficientemente en la transferencia de los AGPI para el resto de los componentes de las rutas tróficas hasta llegar a depredadores tope.

En otros ecosistemas como el de Trinity Bay en Canadá, examinaron detalladamente la composición de los ácidos grasos de muestras de plancton y sedimento, observándose claramente mayores flujos de los ácidos grasos marcadores de diatomeas (20:5 ω 3) a través de la columna de agua, cuando el ecosistema presentó el máximo florecimiento de fitoplancton (Parrish *et al.*, 2000).

Dentro de los AGPI, se encuentran los ácidos grasos esenciales AGE como el 18:2 ω 6, 18:3 ω 3, que son elementales para la supervivencia y el crecimiento satisfactorio de algunos animales marinos (Kanazawa *et al.*, 1979), pero la presencia de ácidos grasos de cadenas de C20 y C22 átomos de carbono como el 20:4 ω 6, 20:5 ω 3 y 22:6 ω 3 también aumenta la tasa de crecimiento y supervivencia. En este estudio, los AGPI y AGE se encontraron en mayor concentración en la mayoría de los organismos de la RT1 que representa el periodo frío, indicando mayor disponibilidad de estos ácidos grasos en el ecosistema en ese momento, a diferencia del periodo cálido. Esta mayor concentración de los AGPI y AGE (que conforman a los fosfolípidos) se han observado en otros ecosistemas durante primavera, indicando mayor flujo de estos AG en la columna de agua, y también se han encontrado en menor concentración a finales de otoño-principios de invierno (Parrish *et al.*, 2000), tal y como ocurrió en nuestra área de estudio.

Los AGPI y AGE de las presas principales (*S. sagax*, *M. angustimanus*, *K. averruncus*) del lobo marino de California *Z. californianus*, se observaron en mayor concentración durante el periodo frío en el BAC de Bahía Magdalena. Esto sugiere una transferencia más eficiente a lo largo de la ruta trófica. Siendo los AGPI y AGE esenciales para la estructura y funcionamiento normal de las membranas celulares, son particularmente importantes para la supervivencia y crecimiento de los animales, especialmente en condiciones de baja temperatura (Ackman *et al.*, 1968). Al menos en peces, se conoce que los AGPI a diferencia de los AGMI, tienen un papel más importante en la regulación de la temperatura del cuerpo del organismo con la del ambiente (Sigurgisladottir y Palmadottir, 1993; Delgado *et al.*, 1994; Dustan *et al.*, 1999; Kamler *et al.*, 2001) probablemente como respuesta adaptativa a las condiciones del periodo frío (Hazel *et al.*, 1991).

V. CONCLUSIONES

- Con base en la alternancia de condiciones eutróficas y oligotróficas en el BAC de Bahía Magdalena, se concluye que los ácidos grasos biomarcadores de las vías energéticas del fitoplancton y del detritus operan en ambos periodos del año, pero con una influencia relativamente mayor en los distintos organismos cuando se encuentran en mayor concentración en el ecosistema, según las condiciones ambientales existentes. Es decir, cuando se presentan condiciones eutróficas los ácidos grasos del componente fitoplancton (20:5 ω 3 y 22:6 ω 3) se encuentran en mayor abundancia, y los ácidos grasos ramificados (iso y anteiso) indicadores de bacterias en menor concentración. En condiciones oligotróficas se observa un aumento de los ácidos grasos ramificados y una disminución de los ácidos grasos marcadores de fitoplancton en los organismos.
- El fitoplancton es nutricionalmente más importante que el detritus, ya que presenta mayor concentración de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI).
- El lobo marino de California, *Zalophus californianus* así como sus presas principales (*S. sagax*, *M. angustimanus*, *K. averruncus*), presentaron mayor concentración de los AGPI y ácidos grasos esenciales (AGE) en el periodo frío del BAC de Bahía Magdalena, indicando una transferencia eficiente a lo largo de las rutas tróficas hasta éste depredador tope.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ALIMENTACIÓN DE *Zalophus californianus*, EN RELACIÓN A SU CICLO ANUAL.

I. INTRODUCCIÓN

La información de la alimentación del lobo marino de California (*Zalophus californianus*), como la de otras especies, es relevante en términos de definir su papel e interacciones tróficas en el ecosistema (García-Rodríguez, 1995). Un aspecto importante es conocer el valor energético de las presas que conforman su dieta, entender su estrategia alimentaria, energética y funcional a lo largo del ciclo biológico (Pitcher, 1990; Trites, 1992; Byrd y Dragoo, 1997).

La dieta de *Z. californianus* está caracterizada por un gran número de especies (Antonelis y Fiscus, 1980; Aurióles-Gamboa et al., 1997), pero pocas (4-5) generalmente constituyen la mayor parte del espectro y la energía ingerida en una estación y localidad geográfica (Lowry et al., 1991; García-Rodríguez y Aurióles, 2004). La alimentación de los lobos marinos se basa principalmente de peces, en especial de aquellos que forman grandes cardúmenes y que poseen un alto contenido calórico como la sardina (*Sardinops sagax*), la anchoveta (*Engraulis mordax*), y en menor proporción de cefalópodos y crustáceos (Fiscus y Baines, 1966; Antonelis y Fiscus, 1980; Antonelis et al., 1984; García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Porrás-Peters et al., 2008). Una característica que comparten los pinnípedos ictiófagos, es la mayor talla de sus presas, como es el caso del lobo marino de California (García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Porrás-Peters et al., 2008). Estas presas pueden contribuir significativamente en el consumo total de energía (Ainley et al., 1982; Frost y Lowry, 1986; Hammond et al., 1994) necesaria para el crecimiento, reproducción y mantenimiento.

En México, el periodo de reproducción de *Z. californianus* inicia a finales de mayo y termina a finales de julio cuando concluye el periodo de cópulas (García-Aguilar y Aurióles, 2003), que es a finales de primavera y comienzo del verano cuando los recursos alimenticios son abundantes en el BAC de Bahía Magdalena

(Hernández-Trujillo *et al.*, 1987; Martínez-López, 1993; Zuria-Jordan *et al.*, 1995). En este periodo las madres pueden encontrar alimento más fácilmente cuando alternan estancias en tierra para alimentar a sus crías y salen al mar en viajes de alimentación (Riedman, 1990; Boness y Bowen, 1996; Kuhn *et al.*, 2006). Se ha registrado que estos viajes de alimentación generalmente se localizan en un radio de 40-50 Km alrededor de la colonia (Kuhn *et al.*, 2004; Melin, 2002), confirmando que las hembras aprovechan y explotan recursos locales (García-Rodríguez y Auriolés, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008).

Las hembras de lobo marino paren una cría por año después de una gestación de 11 meses y se aparean al mes de haber dado a luz (Heath, 1985). La duración del periodo de lactancia es de aproximadamente 12 meses (Riedman, 1990; García-Aguilar y Auriolés, 2003), aunque en ocasiones el destete puede extenderse hasta dos o tres años (Newsome *et al.*, 2006). Esta conducta se asocia con la elevada fidelidad que presentan las hembras al sitio de reproducción (Hernández-Camacho *et al.*, 2008). El periodo de lactancia se relaciona con la disponibilidad de recursos en el medio, ya que rige el tiempo que las madres deberán invertir en la búsqueda y captura de las presas para transferir esa energía a sus crías en la leche (Gentry y Kooyman, 1986; Ferguson, 2006).

Las variaciones estacionales en la disponibilidad y calidad del alimento, además de la capacidad del animal para almacenar reservas de energía, imponen una serie de limitaciones a la reproducción de varias especies de mamíferos, que se relacionan con su condición nutricional. Estas variaciones ejercen presión a la población entera y en particular a las hembras preñadas y lactantes debido a que los costos energéticos de estos animales son más elevados (Trites, 1991; Pitcher, Calkins y Pendleton, 1998).

El valor energético es una medida global de la calidad del alimento, y el valor nutricional hace referencia a otro criterio de calidad que constituye la composición química del alimento (por ejemplo, los aminoácidos que conforman a las proteínas, y los ácidos grasos que constituyen a los lípidos), siendo esta última información más precisa de calidad (Ojasti y Dallmeier, 2000). El lobo marino de California, al igual que la mayoría de mamíferos marinos presenta una capa de grasa subcutánea

(lípidos) que funciona principalmente como almacén de reservas energéticas y aislante térmico, pero es conocido que de la composición lipídica o de ácidos grasos (AG) depende la condición corporal de los organismos (Castro-González *et al.*, 2003).

Bajo este contexto, en este capítulo se relacionó la cantidad de energía y calidad nutricional de la grasa de hembras de *Z. californianus*, con el valor nutricional de sus presas principales en dos momentos del año; periodo frío (marzo) y cálido (noviembre) ambos previo y posterior al periodo de reproducción. Se trata de evaluar la estrategia que presentan las hembras de lobo marino en el almacenaje de la cantidad y calidad de energía como preparación al periodo reproductivo y como recuperación posterior a la energía invertida durante el mismo.

II. METODOLOGÍA

Los aspectos metodológicos que tienen que ver con el contenido energético $\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS y la calidad (AGE) de las presas principales de lobo marino, así como la composición ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS y AGE) de la grasa de hembras de lobo marino, fueron descritos en el capítulo I y II.

Parte de este capítulo intenta determinar la contribución energética que tienen las presas principales para el lobo marino en los distintos momentos del año. Por tal motivo, fue necesario evaluar primeramente la cantidad de biomasa que consume la población de lobo marino de cada especie presa (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*).

2.1 Consumo de alimento por los lobos marinos de Isla Santa Margarita

Se estimó el consumo de biomasa de cada categoría de la población de lobo marino (**CBM_i**) de Isla Santa Margarita (colonia reproductora del BAC regional) para el mes de marzo y noviembre, utilizándose las tasas de ingesta de alimento (tomado de Auriolles-Gamboa *et al.*, 2003), junto con la abundancia de la población de lobos marinos de marzo (censo realizado en marzo-2009 en Isla Margarita, por Asencio-Estrada datos sin publicar) y noviembre (estimado).

$$\mathbf{CBM}_i = \mathbf{ID} \times \mathbf{TP}_i \times 30$$

donde:

CBM_i= consumo de biomasa mensual de cada categoría

ID= tasa de ingestión diaria de cada categoría

TP_i= es el tamaño poblacional promedio para la categoría *i* en cada mes

30= es el número promedio de días por mes

Para la estimación del consumo de biomasa de la categoría hembra, se promediaron los valores de la tasa de ingesta de hembras lactantes (12.12 Kg/día,

Pérez *et al.*, 1990) y no lactantes (6.12 Kg/día, Auriolles-Gamboa *et al.*, 2003), obteniendo un valor de ingesta promedio de 9.12 Kg/día. No se incluyó la categoría cría, debido a que éstas dependen de la leche de sus madres durante el primer año de vida, o al menos hasta que nace la siguiente cría y algunas veces hasta después de esto (Peterson y Bartholomew, 1967).

El número de individuos que habría por categoría de edad y sexo en noviembre, se estimó extrapolando la proporción del número de organismos por categoría de edad y sexo en los meses de marzo y noviembre de años anteriores 1982, 1984, diciembre 1999 y marzo del 2000, con respecto al censo del periodo reproductivo de 2009. Fue posible utilizar esta información, dado que en años normales, la proporción de cada categoría estacionalmente es bastante predecible debido al comportamiento descrito en diversos estudios, independientemente de la abundancia absoluta de la población (Odell, 1975; Le Boeuf *et al.*, 1983; Auriolles-Gamboa, 1988; Auriolles-Gamboa *et al.*, 1983; Auriolles-Gamboa *et al.*, 2003).

Para estimar la biomasa total consumida por la población para cada mes (**BTCP_m**, marzo y noviembre), se realizó la suma del consumo de todas las categorías de la siguiente forma:

$$\mathbf{BTCP}_m = \sum \mathbf{CBM}_i$$

donde:

BTCP_m= biomasa total consumida por la población en el mes

CBM_i= consumo de biomasa mensual de cada categoría

Sin embargo, en esta estimación la biomasa que consume el lobo marino involucra al total de las especies que ingiere. Por lo tanto, para conocer el consumo de biomasa de cada especie principal en la dieta de lobo marino (**CBEP**, *S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*), se utilizó la importancia de la presa (IIMP) en la dieta para cada mes (según el índice de importancia estimado por Bautista-Vega 2002, en la lobera de Isla Santa Margarita), y la información de la biomasa total consumida por la población de lobo marino en ambos momentos del año (**BTCP_m**).

$$CBEP = \sum BTCP_m * IIMP_{ilm}$$

donde:

CBEP= consumo de biomasa de la especie presa

BTCP_m = Biomasa total consumida por la población en el mes

IIMP_{ilm}= Importancia de la presa *i* en la lobera *l* durante el mes *m*.

2.2 Contribución energética de las presas principales para *Z. californianus*

Conociendo el consumo de biomasa mensual de cada especie presa por parte de la población de lobo marino y junto con el contenido energético ($KJ \cdot Kg^{-1}$) en peso húmedo (PH), de las especies presa, fue posible conocer la contribución de energía (**CEEP**) que les provén estas especies presa a la población de lobo marino en ambos momentos del año.

$$CEEP = KJ/Kg PH * CBEP$$

donde:

CEEP= contribución energética de la especie presa

KJ/Kg PH= cantidad de energía por kilogramo en peso húmedo

CBEP= consumo de biomasa por la población del lobo marino de cada especie presa

Cabe mencionar que el contenido de energía ($KJ \cdot Kg^{-1}$) de las especies presa se estimó refiriéndose a peso seco (PS) (los organismos fueron liofilizados previo al análisis químico), sin embargo era necesario conocer la cantidad de energía que contiene cada especie en peso húmedo PH (ya que así son consumidas en el medio natural). Por tal motivo, se utilizó el 70% de humedad que se ha reportado para algunas especies de peces (Rosen y Trites, 1999), con base en la cual se estimó el contenido de $KJ \cdot Kg^{-1}$ en PH para cada especie presa mediante regla de tres.

Se recopiló la información: valor energético ($KJ \cdot Kg^{-1}$ en PH), valor nutricional (ácidos grasos esenciales, AGE) y la contribución energética para la población de

lobos marinos por parte de sus presas principales (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*). Adicionalmente se consideró la composición ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS y AGE) de la grasa de hembras de *Z. californianus* y se elaboró un modelo conceptual que explica la variación de la calidad de su alimentación en los dos momentos en que se basó esta tesis; marzo o periodo frío y noviembre o periodo cálido, incluyendo estimaciones interpoladas para el periodo de reproducción que es entre junio y julio.

III. RESULTADOS

3.1 Consumo de alimento por los lobos marino de Isla Margarita

En la Tabla 4, se muestra la tasa de ingesta (Kg/día) que consume cada categoría de lobo marino (tomado de Auriolles-Gamboa *et al.*, 2003), y datos sobre la abundancia de la población en la Isla Santa Margarita.

Tabla 4. Biomasa (Kg/día) que consume cada categoría de lobos marinos (Auriolles-Gamboa *et al.*, 2003), y censos de la población de Isla Santa Margarita en marzo (Asencio-Estrada, datos sin publicar) y noviembre (extrapolado).

Categoría	Consumo de biomasa (Kg/día)	Abundancia Poblacional	
		Marzo	Noviembre
Juveniles	4.1	117	133
Hembras	9.12	1577	1792
Machos subadultos	13	302	343
Machos adultos	16.2	12	14
Miscelaneos	6.4	185	210
Total		2193	2492

En la Fig. 19 se muestra la biomasa de alimento consumido (t) por cada categoría, y la biomasa total consumida por la población de lobo marino de la Isla Santa Margarita para marzo y noviembre. Observándose que en marzo (605 ton) es ligeramente menor el consumo por parte de la población de lobos marinos respecto a noviembre (688 ton). Las hembras tienen el máximo consumo de alimento que el resto de las categorías con aproximadamente 71% en ambos meses del año.

Estas cantidades corresponden a la biomasa total consumida de cada categoría y la población en general, sin considerar las especies de presas. Adicionalmente, se estimó el consumo de biomasa de las principales presas en la dieta de lobo marino (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*) para Isla Santa Margarita, utilizando la importancia mensual de presa IIMP, estimada por Bautista-

Vega (2002) y la información de la biomasa total consumida por la población de lobo marino en ambos momentos del año (BTCPm) (Tabla 5).

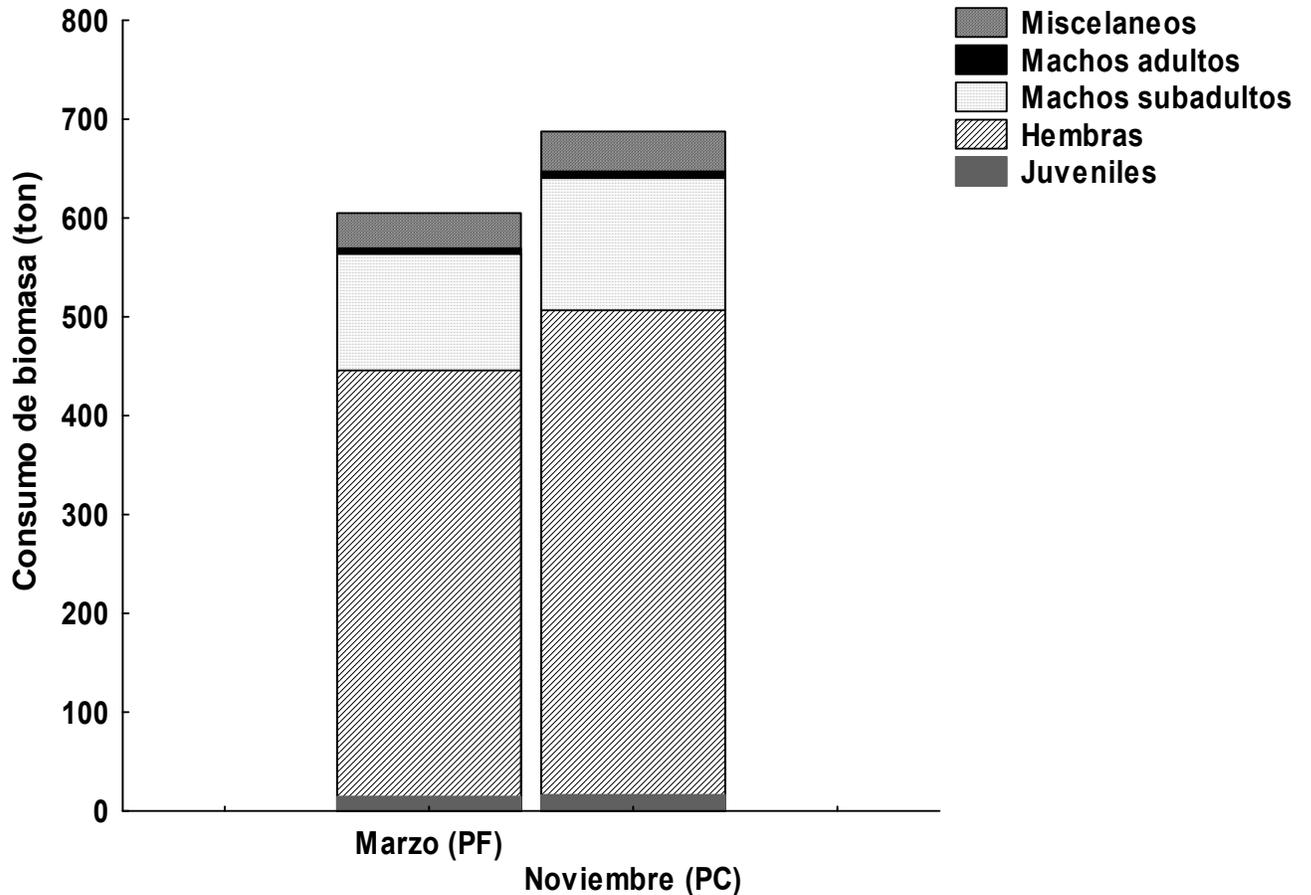


Figura 19. Consumo de biomasa (t) de cada categoría de la población de lobos marinos (**CBM_i**) para el mes de marzo y noviembre de Isla Santa Margarita.

En la Tabla 5, se muestra el contenido de energía ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PH) de cada una de las especies presa (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*), así como la cantidad de biomasa que consume la población de lobo marino de estas especies para cada momento del año. Observándose que la población de lobos marinos consumen mayor biomasa de merluza enana (204,693 y 37,196 Kg, marzo y noviembre respectivamente) que de sardina Monterrey (31,690 y 771 Kg, marzo y noviembre respectivamente) o de pez miracielos (10,147 y 2,817 Kg, marzo y

noviembre respectivamente). También se aprecia que en marzo se presenta el mayor consumo de la población sobre estas presas principales. La especie de mayor valor energético fue la sardina Monterrey ($5697 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ PH}$ en el PF y $5334 \text{ KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ PH}$ en el PC), siendo su contenido de energía muy similar en ambos momentos del año, a diferencia de merluza enana y el pez miracielos cuyo contenido energético aumentó casi el doble en el PC respecto al PF.

Tabla 5. Valor energético ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ PH}$) y consumo de biomasa de cada unas de estas especies presa (CBEP, Kg), por parte de la población de lobo marino de California, estos valores involucran el Índice de Importancia por especie y los valores de biomasa total consumida por la población de lobo marino para marzo y noviembre.

Presa	Marzo PF		Noviembre PC	
	$\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ PH}$	CBEP (Kg)	$\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ PH}$	CBEP (Kg)
<i>M. angustimanus</i>	2577	204693	5094	37196
<i>S. sagax</i>	5697	31690	5334	771
<i>K. averruncus</i>	2446	10147	4201	2817

PF= Periodo Frío
PC= Periodo Cálido

3.2 Contribución energética de las presas principales del lobo marino en cada periodo del año.

Una vez estimado el consumo de biomasa de cada especie presa por parte de la población de lobo marino, se estimó la contribución energética (KJ en PH) que tiene de cada especie presa para la población en ambos momentos del año.

En la Fig. 20 se observa que la merluza enana *M. angustimanus*, es la especie que mayor energía (KJ) le proporciona a la población de lobo marino en ambos momentos del año. La sardina Monterrey, como se mencionó anteriormente contiene un alto valor energético que rebasa al que presenta merluza y pez miracielos (Tabla 6). Sin embargo, la cantidad de biomasa que se consume de merluza en ambos

momentos del año es muy elevada respecto a la que se consume de las otras especies incluyendo sardina.

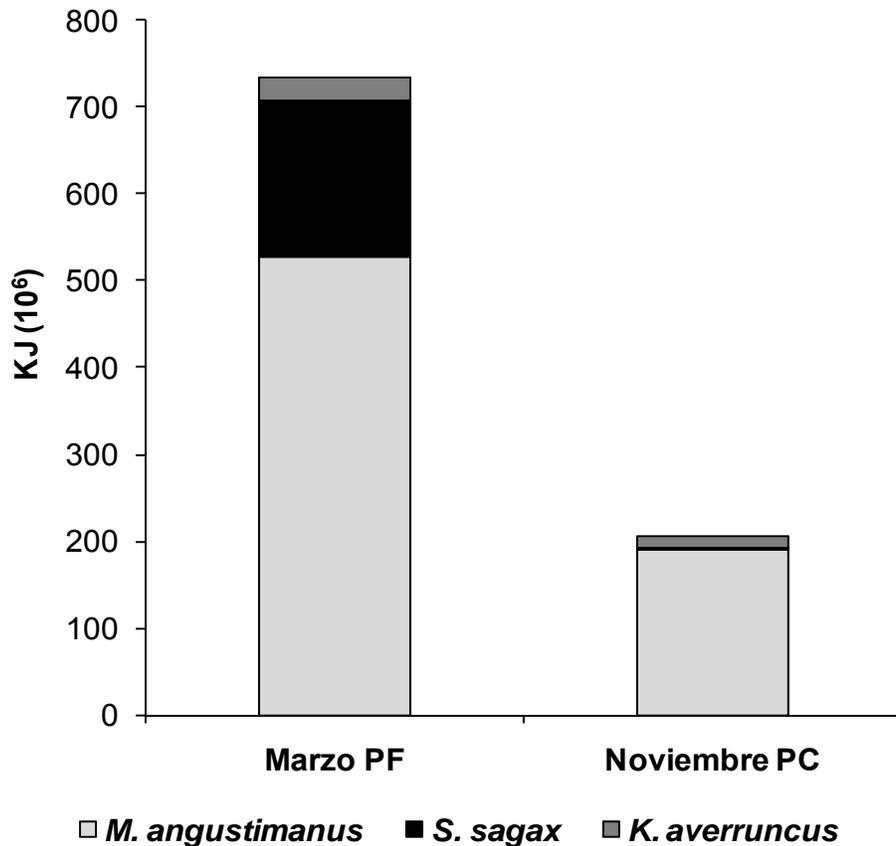


Figura 20. Energía suministrada (KJ) por cada una de las presas principales a la población de lobo marino de California (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*) para el mes de marzo PF y noviembre PC.

En la Fig. 21 se observa el modelo conceptual que explica la variación de la calidad de la alimentación del lobo marino de California, en relación al periodo de reproducción (de principios de mayo a finales de julio), el cual se elaboró con: 1) la información de la composición energética y de ácidos grasos esenciales ($\text{KJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$ PS y AGE, respectivamente) de la grasa de hembras de *Z. californianus* y de las presas principales del lobo marino (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*), y 2) la contribución energética que tienen estas especies presa para la población de lobo marino en los distintos momentos del año (marzo-PF, noviembre-PC). En el cual se manifiesta que previo al periodo de reproducción, las presas de *Z. californianus* le

proporcionan mayor cantidad de energía (KJ) a las población y son de mejor calidad (AGE), y por tanto, las hembras de *Z. californianus*, presentan mayor energía en su tejido graso y abundancia y calidad de AGE en sus reservas de grasa, como preparación para el periodo de reproducción.

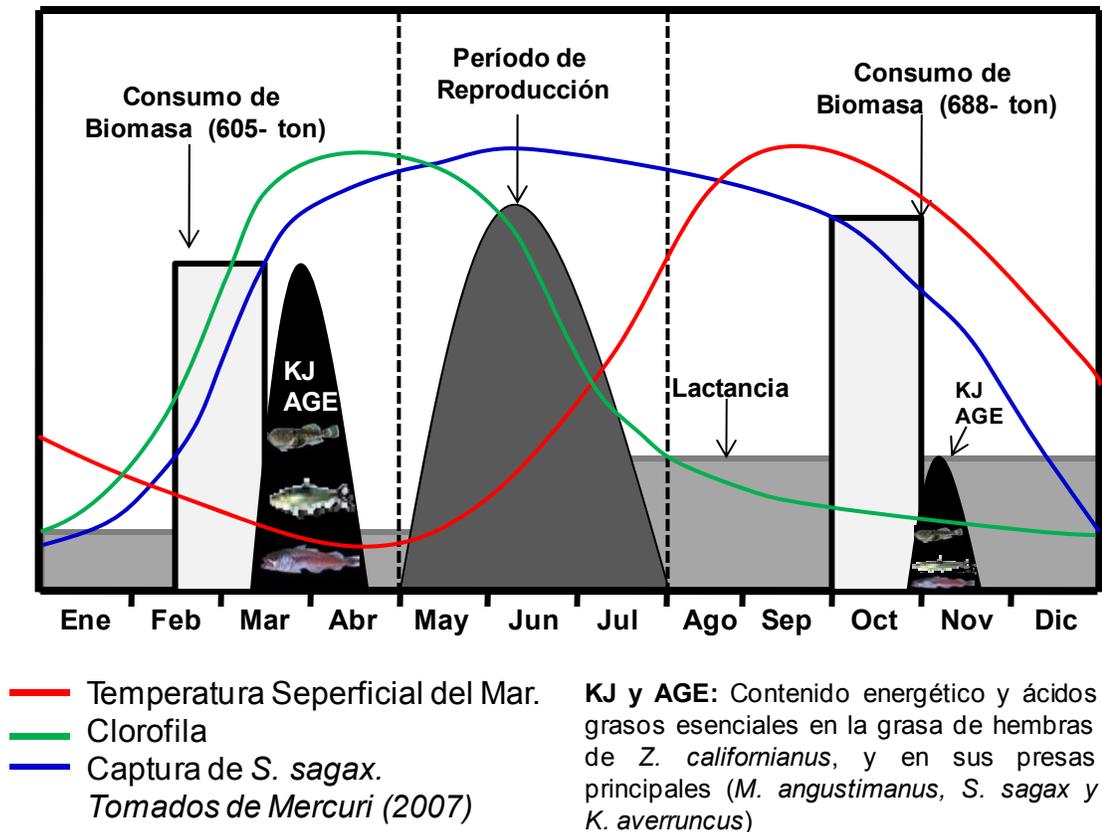


Figura 21. Modelo conceptual que explica la variación de la calidad de la alimentación del *Z. californianus* en un ciclo anual.

IV. DISCUSIONES

La población de lobo marino de Isla Margarita consumió ligeramente menor cantidad de alimento en marzo (previo a la temporada reproductiva), que en noviembre, lo cual puede deberse a que en ese momento la población tiene un bajo número que comienza a incrementarse hacia el periodo de reproducción (García-Aguilar y Auriolés, 2003; Auriolés-Gamboa *et al.*, 2003). Auriolés-Gamboa *et al.* (2003) encontraron que la fluctuación de la estructura de la población fue consistente año con año, y estuvo influenciada principalmente por la estación reproductiva y la incorporación de los machos subadultos a la población en invierno. Comparando la proporción de la estructura de la población de Isla Santa Margarita con la de Los Islotes para el mes de marzo y noviembre, se observa un comportamiento similar, sin embargo, cabe resaltar que la abundancia poblacional de Isla Margarita es aproximadamente siete veces mayor que la de los Islotes. La categoría hembra, presentó el mayor consumo de biomasa (~ 71%) en ambos meses del año, esto es posible ya que en Isla Santa Margarita esta categoría es la más abundante de la población (60-65%) y elevan su metabolismo y consumo de alimento debido a la lactancia.

Tanto en marzo como en noviembre el consumo por parte de la población de lobo marino se concentró en la merluza enana *M. angustimanus*, por encima de *S. sagax* y *K. averruncus*. En este mes se consumió mayor biomasa de las tres presas principales, cuando probablemente existe una mayor disponibilidad y abundancia de estas presas en la región (Balart-Páez, 2005; Mercuri, 2007). Además de esta abundancia, las tres especies presa proporcionan casi cuatro veces más cantidad de energía a la población del lobo marino que en noviembre.

En el modelo conceptual de la variación de la calidad de la alimentación del lobo marino, en relación a su periodo de reproducción, se encontró que tanto en las presas (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*) como en el tejido graso de las hembras de *Z. californianus*, existió alto contenido energético KJ/Kg y alta concentración de AGE en el periodo frío, previo al periodo de reproducción del lobo marino. Este resultado es muy interesante porque podría reflejar una estrategia para

alcanzar una eficiencia alimentaria mayor al aprovechar la máxima calidad y cantidad de sus presas para almacenar energía antes del proceso de reproducción sujeta a un gran gasto energético (Trillmich y Ono, 1991; Trivers, 1972; Millar, 1977).

En el periodo cálido posterior al periodo reproductivo, se observa una pérdida de energía y de AGE en el tejido graso de las hembras. Es posible que esta pérdida, se deba a que las hembras están amamantando a sus crías, siendo estas capaces de mantener por completo las demandas energéticas durante la lactancia mientras ayunan, haciendo uso de las reservas de grasa (Iverson, 1993) para la producción de leche, agotando a su vez, el almacén de reservas energéticas bajando su condición corporal. Otra posible causa es que las hembras están restringidas a alimentarse en un área circundante al sitio de reproducción (promedio de un radio de 30 km) durante la mayor parte del año explotando recursos locales (Kuhn *et al.*, 2004; García-Rodríguez y Aurióles, 2004), y es posible que en el periodo cálido, el alimento no cubre satisfactoriamente los requerimientos necesarios, ya que las presas principales de lobo marino para este periodo fueron de menor condición nutricional y de calidad.

V. CONCLUSIONES

- Las hembras adultas representaron el mayor consumo de biomasa aproximadamente 71% de la biomasa total consumida por la población en ambos periodos del año (frío y cálido).
- En el mes de marzo las tres especies presa (*S. sagax*, *M. angustimanus* y *K. averruncus*), proporcionan cuatro veces más energía a la población del lobo marino que en noviembre.
- A pesar de que *S. sagax* fue la especie de mayor valor energético en ambos momentos del año, *M. angustimanus* proporciona mayor energía (KJ) a la población de lobo marino, debido a la gran cantidad de biomasa que consume de ésta presa en los dos periodos del año analizados.
- El modelo conceptual sobre la variación de la calidad de la alimentación del lobo marino con relación a su período de reproducción, explicó claramente la estrategia que presentan las hembras en aprovechar la cantidad de energía (KJ) y calidad nutricional (ácidos grasos esenciales, AGE) que presentan sus presas principales en el momento previo a su reproducción, almacenando esa energía y nutrimentos esenciales en su tejido graso para posteriormente transferírselos a sus crías durante la lactancia.

8. LITERATURA CITADA

- Ackman, R. G., y C. A. Eaton. 1966. Lipids of the fin whale (*Balaenoptera physalus*) from north Atlantic waters. III. Occurrence of eicosenoic and docosenoic fatty acids in the zooplankter *Meganctiphanes norvegica* (M. Sars) and their effect on whale oil composition. *Canadian Journal of Biochemistry* 44:1561–1566.
- Ackman, R. G., Tocher C.S. y MacLachlan J. 1968. *AI of fisheries Research Board of Canada*, **25**(8), 1603-1620.
- Ackman, R. G., J.H. Hingley, C.A. Eaton, J.C.Sipos y E.D. Mitchell. 1975. Blubber fat deposition in mysticeti whales. *Can. J. Zool.* **53**:427-449.
- Ackman, R. G. 1994. Animal and marine lipids. Pages 292–328 in B. S. Kamel and Y. Kakuda, eds. *Technological advances in improved and alternative sources of lipids*. Chapman and Hall, London, UK.
- Aguilar A. y Borrell A. 1990. Patterns of lipid content and stratification in the blubber of fin whales (*Balaenoptera physalus*). *J. Mammalogy.* **71**: 544-554.
- Aguñiga-García. 2000. Aspectos de la Geoquímica del material orgánico del BAC del Golfo de Ulloa, B.C.S. En Libro: *Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (editores). CIB-NOR (pp. 111-123).
- Ainley, D.G., H.R. Huber, y K.M. Bailey. 1982. Population fluctuations of California sea lions and the Pacific whiting fishery off Central California. *Fishery Bulletin.* **80**: 253 –258.
- Ando, S., M. Hatano y K. Zama. 1985. A consumption of muscle lipid during spawning migration of chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **51**, 1817-1824.
- Ando. S. y M. Hatano (1986). Biochemical characteristics of chum salmon muscle during spawning migration. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **52**, 229-12354.
- Albers C. S., Kattner G. y Hagen W. 1996. *Mar Chem* 55:347.

- Allen, M. J., R. J. Wolotira, Jr., T. M. Sample, S. F. Noel, & C. R. Iten. 1990. West coast of North America coastal and oceanic zones strategic assessment: Data Atlas, Invertebrate and fish. NOAA. Seattle, WA. 145 p.
- Antonelis, G. A. y Fiscus, H. C. 1980. The Pinnipeds of the California Current. CalCOFI Rep. 21:68-78.
- Antonelis, G.A., Fiscus, C. H. y De Long, R. L. 1984. Spring and summer prey of the California sea lions, *Zalophus californianus*, at San Miguel Island, California, 1978-79. Fishery Bulletin. 82 (1): 67-75.
- Aurioles, D. G. 1988. Behavioral ecology of California sea lion in the Gulf of California. Tesis de Doctorado. Universidad de California, Santa Cruz. 175 pp.
- Aurioles G. D. y B. J. Le Boeuf. 1991. Effects of the El Niño 1983 on the California sea lion population in México. 112-118. IN, Pinnipeds and El Niño. Responses to environmental stress. Trillmich F. y K. Ono. Ed. Springer-Verlag, 293 p.
- Aurioles-Gamboa, D. 1992. Inshore-offshore movements of pelagic red crabs *Pleuroncodes planipes*, off the Pacific Coast of Baja California Sur, México. Crustaceana, 62 (1): 71-84.
- Aurioles-Gamboa D., I. Castro-González, y R. Pérez-Flores. 1994. Annual mass stranding of pelagic red crabs, *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Anomura: Galatheidae), in Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Fishery Bulletin 92:464-470.
- Aurioles G. D. 1995. Distribución y abundancia de la langostilla bentónica (*Pleuroncodes planipes*) en la plataforma continental de la costa oeste de Baja California. Capítulo 4: 59-78. IN. La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento. Eds. Aurioles G. D. y E. Balart. Pub. Esp. CIBNOR 233 p.
- Aurioles, G. D., Balart, E. y Castro, J. L. 1995. Recomendaciones para la explotación y aprovechamiento de la langostilla. Capítulo 14: 221-233. IN. La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento. Eds. Aurioles G. D. y E. Balart. Pub. Esp. CIBNOR, 233 p.
- Aurioles, G. D., I. Castro G., F. García R., S. Luque F., C. Godínez R., D. Brousset, J, Montañó H., A. Parás, Sara Montañó y F. Pérez-Gil R. 2000. Estado de salud de las poblaciones de lobo marino (*Zalophus californianus*) en el Golfo de

- California. Memorias del Primer Congreso de Responsables de Proyecto de Investigación en Ciencias Naturales, CONACYT. Veracruz Ver. Oct. 8-11 2000, 11 p.
- Auriolos D., A. Marín y S. Aguiñiga. 2003a. Assimilation of pelagic red crabs (*Pleuroncodes planipes*) by Western gulls (*Larus occidentalis*). *California Fish and Game*, 89(0):145-151.
- Auriolos-Gamboa, A., F. García-Rodríguez, M. Ramírez-Rodríguez y C. Hernández-Camacho. 2003. Interacción entre el lobo marino de California y la pesquería artesanal en la Bahía de La Paz, Golfo de California, México. *Ciencias Marinas* (2003), 29(3):1-14 pp.
- Auriolos, G. D., Koch, P. y Le Boeuf, B. J. 2004. Stable isotope change in sea lion teeth: Relationships to long-term changes in feeding habits and ecosystem perturbations in the Gulf of California. UC-MEXUS. Collaborative proposal 2004-2005. (Proyecto apoyado).
- Bautista-Vega, A. A. 2002. Alimentación del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson, 1828), y su relación con los pelágicos menores en Bahía Magdalena, B.C.S.
- Bartholomew, G. A. y Boolootian, R. A. 1960. Numbers and population structure of the pinnipeds on the California Channel Islands. *Journal of Mammalogy*. 41: 366-375.
- Bergé, J.P. y G. Barnathan. 2005. Fatty Acids from Lipids of Marine Organisms: Molecular Biodiversity, Roles as Biomarkers, Biologically Active Compounds, and Economical Aspects. *Adv Biochem Engin/Biotechnol*. 96: 49–125
- Bigg, M. A. 1973. Census of California sea lion on southern California, Vancouver Island, British Columbia. *Journal of Mammalogy*. 54: 285-287.
- Bligh, E. G. y Dyer, W. J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology* 37: 911-917.
- Bakun, A. y C.S. Nelson. 1977. Climatology of upwelling related processes off Baja. *CalCOFI Rep.*, (19): 107-127.

- Blackburn, M. 1969. Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off Western Baja California. *U.S. Fish. Wildl. Serv. Fish. Bull.* 68: 147-176.
- Blackburn M. y R. E. Thorne, 1974. Composition biomass and distribution of pelagic nekton in a costal upwelling area off Baja California, México. *Tethys* 6(1-2): 281-290.
- Botinno, N.R. 1974. The fatty acids of Antartica phytoplankton and euphasiids. Fatty acid exchange among trophic levels on the Ross Sea. *Marine Biology*, **27**:197-204.
- Bograd, S. J., P.M. Digiacomio, R. Durazo, T.L. Hayard, K.D. Hyrenbach, R.J. Lynn. A. W. Mantyla, F.B. Schwing, W.J. Sydeman, T. Baumgartner, B. Lavaniegos y C.S. Moore. 2000. The state of the California Current, 1999-2000: forward to a new regime? *CalCOFI Reports*, 41, 26-52.
- Boness, D.J. y Bowen, W. D. 1996. Evolution of maternal care in pinnipeds. *Bioscience*. 46 (9): 645-654.
- Boyd, C. M. 1967. Benthic and pelagic habitats of the red crab *Pleuroncodes planipes*. *Pacific Sciences* 21: 394-403.
- Bradshaw, C. J. A., M.A. Hindell, N.J. Best, K.L. Phillips, G. Wilson y P.D. Nichols. 2003. You are what you eat: describing the foraging ecology of southern elephant seals (*Mirounga leonina*) using blubber fatty acids. *Proc. R. Soc. Lond* **270**:1283-1292.
- Brindley, D. N. 1978. Regulation of fatty acid esterification in tissue. Pages 31–39 in R. Dils and J. Knudsen, eds. *Regulation of fatty acid and glycerolipid metabolism*. Pergamon, Oxford, UK.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254 pp.
- Byrd, G.V., y Dragoo, D.E. 1997. Breeding success and population trends of selected seabirds in Alaska in 1996. *U.S. Fish Wildlife Serv. Rep. AMNWR* 97/11.
- Budge SM, Parrish CC, McKenzie CH. 2001. *Mar Chem* 73:285

- Budge, S. M., Iverson S. J y H. N. Koopman. 2006. Studying trophic ecology in marine ecosystems using fatty acids: a primer on analysis and interpretation. *Marine Mammal Science*. 22(4): 759–801.
- Brindley D. N. 1991. Metabolism of triacylglycerols. Pages 171–203 *in* D. E. Vance and J. Vance, eds. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. Elsevier Science, New York, NY.
- Balart-Páez E.F. 2005. Biología y ecología de la merluza bajacaliforniana, *Merluccius angustimanus* Garman, 1899, en la costa occidental de Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. 172 pp.
- Camalich-Carpizo, J. En proceso. Variabilidad entre la base trófica y altos niveles tróficos en condiciones oceanográficas contrastantes en la ZTTT, Bahía Magdalena, B.C.S.: uso de $\delta^{13}C$; $\delta^{15}N$ y contenido estomacal. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN.
- Carreón P. L., Del Ángel R. J., y Arjona L. O. 2005. Memorias del curso: Cromatografía de gases espectrometría de masas aplicada a la identificación y cuantificación de ácidos grasos. Dirección de apoyo técnico. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, B. C. S.
- Casas-Valdez, M. y Ponce-Díaz, G. 1996. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP, Gob. del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, Inst. Nal. de la Pesca & CETMAR.
- Castro-González, M.I., Carrillo-Domínguez, S., Pérez-Gil Romo, F. y Calvo-Carrillo, C. 1995a. Composición Química de la langostilla y procesos tecnológicos. In: Aurióles-Gamboa and Balart (eds.): *La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste pp: 163:177.
- Chávez, F. P., J. T. Pennington, C. G. Castro, J. P. Ryan, R. P. Michisaki, B. Schlining, P. Walz, K. R. Buck, A. McFadyen, and C. A. Collins. 2002. Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in central California waters. *Progress in Oceanography*. 54: 205-232.

- Cho, C. Y. y Dominique P. B. 1997. Reduction of Waste Output from Salmonid Aquaculture through Feeds and Feeding *The Progressive Fish-Culturist* 59: 155-160 pp.
- Claustre H., Marty J., Cassiani L., Dagaut J. 1988–89. Mar Microbial Food Webs 3:51.
- Cook, H. W. 1991. Fatty acid desaturation and chain elongation in eucaryotes. Pages 141–169 in D. E. Vance and J. Vance, eds. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. Elsevier Science, New York, NY.
- Cooper, M. H. 2004. Fatty acid metabolism in marine carnivores: Implications for quantitative estimation of predator diets. Ph.D. thesis, Dalhousie University, Halifax, Canada. 228 pp.
- Cranwell P.A. 1974. Descomposición de acuática biota and sediment formation: organic in detritus resulting from microbial attack on the alga, *Ceratium hirundinella*. *Freshwater Biology*, 6:41-48.
- Dahl, T. M., C. Lydersen, K.M. Kovacs, S. Falk-Petersen, J. Sargentlan-Gjertz y B. Gulliksen. 2000. Fatty acid composition of the blubber in white whales (*Delphinapterus leucas*). *Polar Biol* 23:401-409.
- Dalsgaard J, St John M, Kattner G, Müller-Navarra D, Hagen W (2003) *Adv Mar Biol* 46:227
- De la Cruz, J. 1997. Catálogo de los peces marinos de Baja California Sur. IPNCICIMAR. La Paz, B.C.S. México. 341 pp.
- Del Monte-Luna, P. 2004. Caracterización del Centro de Actividad Biológica del Golfo de Ulloa, BCS, bajo un enfoque de modelación ecológica. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN.
- Delon E.F. y Yayanos A.A. 1986. Biochemical function and ecological significance of novel bacterial lipids in deep-sea prokaryotes. *Applied Environmental Microbiology*, 51:730-737.
- Dubois, M., K.A.Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebes y F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Division of Biochemistry, University of Minnesota, St. Paul Minn.* 28: (3) 350-356 pp.

- Ehrarhdt, N. E. y Ramírez, P. 1982. Evaluación de los recursos demersales accesibles y redes de arrastre de fondo en la Península de Baja California, México durante 1979 y 1980. INP. Serie Científica, 23:10-46.
- Erwin J.A. 1973. Comparative biochemistry of fatty acids in eucariotas microorganisms. *Lipids and Biomembranes of Eukaryotic Micro-organisms* (Ed. J.A. Erwin. Academic Press, New York & London.
- Etnoyer, P., D. Canny, B. Mate y L. Morgan 2004. Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering sea (B2B) Ecoregion. *Oceanography*, 17(1):90-101.
- Falk-Petersen S, Hopkins CCE, Sargent JR (1990) Trophic relationships in the pelagic arctic food web In: Barnes M, Gibson RN (eds) *Trophic relationships in the marine environment*. Aberdeen University Press, Aberdeen, pp 315±333.
- FAO (1998). El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad. *FAO Documento técnico de pesca 348*.
- Felix-Uraga R., 2006. Dinámica poblacional de la sardina del pacífico *sardinops sagax* (jenyns 1842) (clupeiformes: clupeidae), en la costa oeste de la península de Baja California y el sur de California. Tesis Doctoral. CICIMAR-IPN. 87 pp.
- Ferguson, S. H. 2006. The influences of environment, mating habitat, and predation on Evolution of Pinniped Lactation Strategies. *Journal of Mammalian Evolution*. 13 (1):63-82.
- Fiscus, C. H. y Baines, G. A. 1966. Food and feeding behavior of Steller and California sea lions. *Journal of mammalogy*. 47 (2): 195-200.
- Fredrickson, H.L., y Cappenberg T.E. 1987. Acquisition of molecular information contained in microbial polar lipids and its interpretation of an ecological context. Progress Report of the Limnological Institute. Koninklijke Akademie Van Wetenschappen, Amsterdam.
- Frost, K.J., y L.F. Lowry. 1986. Sizes of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, consumed by marine mammals in the Bering Sea. *Fishery Bulletin*. 84:192– 197.
- Fry, D. H. 1939. A winter influx of sea lions from lower California. *California Fish Game Bulletin*. 25: 245-250.

- García-Rodríguez, F.J. 1995. Ecología alimentaria del lobo marino de California, *Zalophus californianus*, en Los Islotes B.C.S., México. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 4p.
- García-Rodríguez, F. J. y Aurióles, G. D. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin*. 102 (1): 47-62.
- Garrido S., R. Rosa, R. Ben-Hamadou, M.E. Cunha, M. A. Chícharo and C. D. van der Lingen (2008). Spatio-temporal variability in fatty acid trophic biomarkers in stomach contents and muscle of Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) and its relationship with spawning. *Marine Biology International Journal on Life in Oceans and Coastal Waters*. 10.1007/s00227-008-0999-7. 18pp.
- Gaskin D.E. 1982. Metabolic rate and energy budget in Cetaceans. Pp. 79-111. En: Heinemann Educational Books (ed). *The Ecology of Whales and Dolphins*. Gran Bretaña.
- Gaxiola, G., S. Nagera y S. Alvarez., 1986. Fitoplancton de invierno del océano Pacífico Mexicano. *Ciencias Marinas*. 13(4): 129-135.
- Gómez-Gutiérrez J. y C. A. Sánchez-Ortiz, 1995. Centros de eclosión y deriva larval y postlarval de la langostilla, *Pleuroncodoes planipes* (Crustacea: Galatheidae), en la costa occidental de Baja California. Capítulo 3: 35-58. *IN. La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. Eds. Aurióles G. D. y E. Balart. Pub. Esp. CIBNOR 233 p.
- Graeve M., G. Kattner and W. Hagen. 1994. Diet-induced changes in the Fatty acids composition of Arctic herbivorous copepods: experimental evidence of trophic markers. *J. Exp. Mar. Biol y Ecol*. **182**: 97-110.
- Grahl-Nielsen, O. y O. Mjaavatten. 1991. Dietary influence on fatty acid composition of blubber fat of seals as determined by biopsy: A multivariate approach. *Marine Biology* 110:59–64.
- Grahl-Nielsen, O., Hammill, M.O., Lydersen, C., y Wahlstrom, S. 2000. Transfer of fatty acids from female seal blubber via milk to pup blubber. *J. Comp. Physiol. B*. 170:277-283.

- Gentry, L. R. y Kooyman, G. L. 1986. Fur seals: Maternal strategies on land and at sea. Princetown University Press. Nueva Jersey, Estados Unidos.
- Guezennec, J. 1995. Approche des ecosystems bacteriens par les lipids: force et faiblesse des marqueurs bacteriens. *Oceanis*, **20**: 75-93.
- Gurr, M. I., y J. L. Harwood. 1991. Lipid biochemistry: An introduction. Chapman and Hall, New York, NY.
- Hammond, P.S., A.J. Hall, y J.H. Prime. 1994. The diet of gray seals around Orkney and other island and mainland sites in northeastern Scotland. *Journal of Animal Ecology*. 31: 340 – 350.
- Harvey H. R. y Macko S. A. 1997. *Org Geochem* 26:531.
- Hayward, T. L., T. R. Baumgartner, D. M. Checkley, R. Durazo, G. Gaxiola-Castro, K.D. Hyrenbach, A. W. Mantyla, M. Mullin, T. Murohree, F. B. Schwing, P.E. Smith y M. J. Tegner. 1999. The state of the California Current in 1998-1999: transition to cool-water conditions. CALCOFI Rep., 40:29-62.
- Heath, C. B. 1985. The effects of environment on the breeding system of the California sea lion (*Zalophus californianus*). In Proceedings of the sixth biennial conference on the biology of marine mammals, Nov. 22 – 26, Vancouver, British Columbia.
- Herring, P.J. 1973. Depth distributions of the carotenoid pigments and lipids of some oceanic animal. 2: Decapod crustaceans. *J. Mar.Biol.Assoc. U.K.* 53:539-562.
- Hooker, S. K., S.J. Iverson, P. Ostrom, y S.C. Smith. 2001. Diet of northern bottlenose whales inferred from Fatty-acid and stable-isotope analyses of biopsy samples. *Can. J. Zool* **79**:1442-1454.
- Hennemann W. 1983. Relationship among body mass, metabolic rate and the intrinsic rate of natural increase in mammals. *Oecologia*. **56**:104-108.
- Hernández-Alfonso, J. R. 1993. Características bioquímicas del material orgánico particulado en una zona de agregados de langostilla, *Pleuroncodes planipes* (Crustacea: Galatheidae) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. Departamento de Biología. UABCS. 73 p.

- Hernández-Camacho C. J., Aurióles, G. D. y Gerber L. 2008. Age-specific birth rates of California sea lions (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*. 24: 664–676.
- Hernández-Trijulio, S., A. Esquivel H. y R. Saldierna. 1987. Biomasa zooplanctónica en la costa oeste de Baja California Sur (1982-1985), 161-170. En: Ramírez, E.M. (Ed). *Mem Simp. Invest. Biol. Ocean. Pesq. Méx. CICIMAR*, La Paz, B.C.S., México. 183 p.
- Hernández-Vázquez, S. 1995. Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina y anchoveta en las costas de California y Baja California y su relación con factores ambientales: 1951-1989. Tesis Doctoral, CICESE, Ensenada, BC.
- Iverson, S. J., K.J. Frost y L.F. Lowry. 1997. Fatty acids signature reveal fine scale structure of foraging distribution of harbor seals and their prey in Prince William Sound, Alaska. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 151:255- 271.
- Kato, S. 1974. Development of the pelagic red crabs (*Galatheididae*, *Pleuroncodes planipes*) fishery in the eastern Pacific Ocean. *Mar. Fish. Rev. NOAA*, 36(10):1-9.
- Kato M.E. 1989. Energética de los ecosistemas. Cuadernos de Biología 4. UNAM, ENEP e IZTACALA. México, D.F. 27 pp.
- Koopman, H. N. 2001. The structure and function of the blubber of odontocetes. Ph. D. thesis, Duke University, Durham, NC. 408 pp.
- Kuhn, C. E., Aurióles, G. D. y Costa, D. P. 2004. Habitat utilization, diving and foraging behavior of adult female California sea lions (*Zalophus californianus*). XXIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, México. 78 pp.
- Kuhn, C. E., Aurióles, G. D., Weise, M. J. y Costa, D. P. 2006. Oxygen stores of California sea lion pups: Implications for diving ability. *Sea lions of the world*. En: *Sea Lions of the World*. Alaska Sea Grant College Program. AK-SG-06-01.
- Langdon, C. J. and Waldock, M. J. (1981) *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 61,431.
- Lavigne D.M., Iness S., Worthy G.A.J., Kovacs K.M., Schmitz O.J. y Hickie J.P. 1986. Metabolic rates of seals and whales. *Can. J. Zool.* **64**: 279-284.

- Laureillard J., Saliot A. (1993. Mar Chem 43:247.
- Lee, R.F., Hirota J. y A.M. Barnett. 1971. Distribution and importance of wax esters in marine copepods and other zooplankton. Deep-Sea Research, **18**:1147-1165.
- Lehninger A. L. 1981, Bioquímica, Biosíntesis de los lípidos. 4ta. Ed. ED. Omega S. A. Barcelona. 24: 671-703 pp.
- Lockyer C. H., McConnell L.C. y Waters T.D. 1984. The biochemical composition of fin whale blubber. Can. J. Zool. **62**: 2553-2562.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota y S. E. Luch-Cota. 2003. Baja California's biological transtion zone: Refuges for the California sardine. Journal of Oceanography, 59:503-513.
- Longhurst, A.R., 1968. Distribution of the larval stage of Pleuroncodes planipes in the California current. Limnol. Oceanogr. 13, 143– 155.
- Longhurst, A.R., C.J. Lorenzen y W.H. Thomas. 1967. The role of pelagic crabs in the grazing of ohytoplankton off Baja California. Ecology, Vol. 48. No. 2 190-200. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. Deep Sea Res., (19): 553-572.
- Longhurst, A.R., C.J. Lorenzen y W.H. Thomas. 1968. The role of pelagic crabs in the grazing of fhytoplankton off Baja California. Ecology, Vol. 48. No. 2 190-200. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. Deep Sea Res., (19): 553-572.
- Lynn, R. J., T. baumgatner, C.A. Collins, J. García, T. L. Hayward, K. D. Hyrenbach, A.W. Mantyla, T. Murphree, A. Shankle, F.B. Scwing, K.M. Sakuma y M. Tegner. 1998. The state of the California Current, 1997-1998: transition to El Niño conditions. CalCOFI Reports, 39, 25-49.
- Lowry, M.S. y C.W. 1986. The fodd habits of California sea lion *Zalophus californianus*, at San Clemente Island, California. September 1981 through March 1983. Southwest Fisheries Center. NMFS. NOAA., Admin. Rept. LJ. 211-249.
- Lowry, M. S. y Folk, R. 1990. Sex determination of the California sea lion, *Zalophus californianus* from the canine teeth. Marine Mammal Science. 6 (1): 25-31.

- Lowry, M. S., Stewart, B. S., Heath, C. B., Yochem, P. K. y Francis, J. M. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of the California sea lions *Zalophus californianus* at San Nicolas Island, California, 1981-1986. Fishery Bulletin. 89 (2): 331-336.
- Lluch-Belda, D. J., Elorduy-Garay, J., Lluch-Cota, E. y Ponce-Díaz, G. 2000. BAC. Centros de Actividad Biológica en el Pacífico Mexicano. CIBNOR-CICIMARCONACYT. 367 pp.
- MacGregor, J.S. 1971. Additional data on the spawning of the hake. Fish. Bull. U.S. 69: 95-98.
- Martínez-López, A. 1993. Distribución especial del fitoplancton asociada con frentes en la costa occidental de Baja California Sur. Inv. Marinas CICIMAR, 8 (2):71-86.
- Martínez-López A. y G. Verdugo-Díaz. 2000. Composición y dinámica del fitoplancton en el BAC de Bahía Magdalena, B.C.S. En Libro: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano. D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz (editores). CIB-NOR (QH 541.5.S32B 2000).
- Mate, B. R. 1975. Annual migrations of the sea lions *Eumetopias jubatus* and *Zalophus californianus* along the Oregon coast. Rapp. P.V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. 169: 455-461.
- Marsh, B. J. y Weinstein, B. D. 1966. Simple charring method for determination of lipids. *Journal of Lipid Research*. 7: 574-576.
- Mayer, I., S. E. Sjakley y P. R. Witthames. 1988. Aspects of the reproductive biology of the sea bass *Dicentrarchus labrax* L. I. An histological and histochemical study of oocyte development. *Journal of Fish Biology*. 409: 313-324.
- Mercuri, M. 2007. Varamiento de mamíferos marinos en Isla Magdalena, B.C.S., México y su relación con factores físicos y biológicos. Tesis de Maestría, CICIMAR IPN, 197 p.
- Millar, J. S. 1977. Adaptive features of mammalian reproduction. *Evolution*. 31: 370-386.
- Morris, R.J. 1973. Relationships between the sex and degree of maturity of marine crustaceans and their lipid compositions. *J.Mar.Biol.Assoc. U.K.* 53:27-37.

- Newell, S.Y. 1993. Decomposition of shoots of a salt-marsh grass. Methodology and dynamics of microbial assemblages. En *Advances in Microbial Ecology*. Vol.13. Jones, J.G. (Ed). Plenum Press. New York.
- Newsome, S. D., Koch, P., Etnier, M. A., Aurioles, G. D. 2006. Using carbon and nitrogen isotope values to investigate maternal strategies in Northeast Pacific Otariids. *Marine Mammal Science*. 22 (2): 1-18.
- Nikolskii, G.V. (1963). *The ecology fishes*. Academic Press. New York and London 1-352.
- Nyberg H. 1986. Modern methods of plant analysis, new series. Vol. 3: Gas Chromatography/Mass Spectrometry, edited by H. F. linskens and J.F. Jackson, Springer-Verlag Berlin Hiedelberg.
- Odell, D. K. 1975. Breeding biology of the California sea lion, *Zalophus californianus*. Rapp. P.-v Reun Cons. Int. Expl. Mer. 169: 374-378.
- Olsen, E., y O. Grahl-Nielsen. 2003. Blubber fatty acids of minke whales: stratification, population identification and relation to diet. *Mar. Biol* **142**:13-24.
- Pabst, D. A. 1996. Springs in swimming animals. *American Zoologist* 36:723–735.
- Papamandjaris A. A., D. E. Macdougall y P. J. H. Jones. 1998. Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: Obesity treatment implications. *Life Sciences* 62:1203–1215.
- Parrish C.C., T. A. Abrajano, S. M. Budge, R. J. Helleur, E. D . Hudson, K. Pulchan, C. Ramos. 2000. Lipid and Phenolic Biomarkers in Marine Ecosystems: Analysis and Applications. *The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 5 Part D Marine Chemistry*. Cap. 8, 193-223 pp.
- Parrish, R.H. y D. L. Mallicoate. 1995. Variation in the condition factors of California pelagic fishes and associated environmental factors. *Fisheries Oceanography*. 4, 2: 171-190.
- Parkes R. J, y Taylor J. (1983). *Estuarine Coast Shelf Sci* 16:173.
- Pazos AJ, Roman G, Acosta CP, Sanchez JL, Abad M (1997) *Comp Biochem Physiol* 117B:393.

- Perez, M.A., McAlister, B.W. and Mooney, E.E. (1990). Estimated feeding rate relationship for marine mammals based on captive animal data. NOAA Tech. Memorandum NMFS F/NWC 184, 30 pp.
- Peterson, R.S. and Bartholomew, A.G. (1967). The Natural History and Behavior of the California Sea Lion. Spec. Publ. No. 1, American Soc. of Mammalogists, 79 pp.
- Ramírez-Rodríguez, M. (1991). Redes agalleras en la Bahía de La Paz, BCS. Rev. Inv. Cient., Univ. Aut. de Baja California Sur, 2(2): 65–74.
- Phillipson J. 1966. Ecological energetics. Edward Arnold Publishers. Gran Bretaña. 57 pp.
- Pitcher, K.W. (1990) Major decline in number of harbor seals, *Phoca vitulina richardsi*, on Tugidak Island, Gulf of Alaska. *Marine Mammal Science*, **6**, 121–134.
- Pitcher, K.W., Calkins, D.G. y Pendleton, G.W. (1998). Reproductive performance of female Steller sea lions: an energetics-based reproductive strategy? *Canadian Journal of Zoology*, **76**, 2075–2083.
- Pohl P. y Zurheide F. 1979. Fatty acid and lipid of marine algae and the control of their biosynthesis by environmental factors. Marine Algae in Pharmaceutical Science (eds H.A. Hoppe, T. Levring & Y. Tanaya). Walter de Gruyter, Berlin.
- Porras-Peters, H. J. 2004. Nivel, amplitud y superposición trófica de las colonias de lobo marino *Zalophus californianus* del Golfo de California, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. 18-23 pp.
- Porras-Peters, H., Aurióles, G. D., Cruz, V., Koch, P. 2008. Trophic level and overlap of California sea lions, *Zalophus californianus* in the Gulf of California. *Marine Mammal Science*. 24 (3): 554-576.
- Radovich, J. 1962. Effects of sardine spawning stock size and environment on year-class production. *Calif. Fish Game* 48: 123-140.
- Ratnayake W. M. y Ackman R.G (1979). *Lipids* 14:795.
- Reynolds J. y S. Rommel. 1999. Biology of marine mammals. Smithsonian. E.U.A. 578 p.
- Riedman, M. 1990. The pinnipeds: Seals, sea lions and walruses. Oxford University Press. Oxford. 440 p.p.

- Rodríguez-Jaramillo, M.C., Serrano-Padilla V. y D. Aurióles-Gamboa. 1995. Biología reproductiva de la langostilla en la costa occidental de Baja California Sur. En libro: *La Langostilla: Biología, Ecología y Aprovechamiento*. D. Aurióles-Gamboa y Balart (editores). CIBNOR.
- Rodríguez-Valenzuela, M.T. 2004. Evaluación de valores proximales y datos merísticos mediante perfiles de ácidos grasos en sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*). Tesis de Licenciatura. CIBNOR. 66pp.
- Ryg, M., T. G. Smith y N. A. Øritsland. 1988. Thermal significance of the topographical distribution of blubber in ringed seals (*Phoca hispida*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45:985–992.
- Roden, G. I. 1971. Aspects of the transition zone in the northeast Pacific. J. Geophys. Res. 76): 3462-3475.
- Rosen, D.A.S. y Trites, A.W. (2002). Digestive efficiency and dry-matter digestibility in Steller sea lions fed herring, pollock, squid, and salmon. *Marine Mammal Research. Can. J. Zool.* **78**: 234–239.
- Rosen, D.A.S. y Trites, A.W. (2002) What is it about food? Examining possible mechanisms with captive Steller sea lions. In: *Steller Sea Lion Decline: Is it Food II* (Ed. by D. DeMaster & S. Atkinson), pp. 45–48. University of Alaska Sea Grant, AK-SG-02–02, Fairbanks, AK.
- Šantić, M., A. Pollaoro e I. Jardas. 2006. Co-variation of gonadosomatic index and parameters of length.weight relationships of Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) in the eastern Adriatic sea. *Journal of Applied Ichthyology.* 22: 214-217.
- Sargent J. R., Bell M.V. y Henderson R.J. 1995. Prostists as sources of (n-3) polyunsaturated fatty acids for vertebrate development. *Protistological Actualities, Proceedings of the IIInd European Congress Protist.*, pp 54-64.
- Sargent, J.R., L.A. McEnvoy, J.G. Bell. (1997). Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture.* 155, 117-127.
- Sato, N. y Murata, N. 1988. Membrane lipids. *Methods and Enzimology* 167: 251-259. *Sci. Congr.*, 3: 324-329.

- Scribe P. y Bourdier G. 1995. La matiere organique lacustre: aproche par les marqueurs moleculaires. Limnologie Generale. Masson ED., Paris.
- Sinovčić, G. 2006. Growth and length-weight relationship of the juvenile anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the nursery ground (Zrmanja River estuary-eastern Adriatic Sea). Journal of Applied ichthyology. 20: 79-89.
- Simopoulos, A.P, R.R. Kifer, R.E. Martin, y S.W. Barlow (1991). *Health effects of ω 3 polyunsaturated fatty acids in seafoods*. Karger, Basel.
- Sokal y Rohlf, 1969. BIOMETRY, The principles and practice of statistics in Biological Research. 3a. Edition. W. H. Freeman an Company. New York. 887 pp.
- Sargent JR (1995). Origins and functions of egg lipids: nutritional implications. In: Bromage NR, Roberts RJ (eds.), Broodstock Management and Egg and Larval Quality. Blackwell Science, Oxford, p 353.
- Sargent, J. R., R. J. Parkes, I. Mueller-Harvey y R. J. Henderson. 1987. Lipid biomarkers in marine ecology. Pages 119–138 in M. A. Sleight, ed. Microbes in the sea. Wiley and Sons, New York, NY.
- Silverberg, N., Martínez, A., Aguíñiga, S., Carriquiry, J.D., Romero, N., Shumilin, E. y Cota, S., 2004. Contrasts in sedimentation flux below the southern California Current in late 1996 and during the El Niño event of 1997-1998. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 59(4): 575-587.
- Thiemann G. W., S. J. Iverson y I. Stirling. 2006. Seasonal, sexual, and anatomical variability in the adipose tissue composition of polar bears (*Ursus maritimus*). Journal of Zoology London 269:65–76.
- Trillmich, F. y Ono, K. A. 1991. Pinnipeds and El Niño: Responses to environmental stress. Trillmich F. y K. Ono. Ed. Springer-Verlag. 293 pp.
- Trites, A.W. (1991) Fetal growth of northern fur seals: life history strategy and sources of variation. *Canadian Journal of Zoology*, **69**, 2608–2617.
- Trites, A.W. (1992) Northern fur seals: why have they declined? *Aquatic Mammals*, **18**, 3–18.

- Trivers, R. L. 1972. Parental investment and sexual selection. En: Sexual Selection and the Descent of Man, (Ed.) B. Campbell. pp. 136–179. Aldine Press, Chicago, USA.
- Trumbles J., Barbozaan P. S. y D. M. A. Castellini. 2003. Digestive constraints on an aquatic carnivore: Effects of feeding frequency and prey composition on harbor seals. *Journal of Comparative Physiology B* 173:501-509.
- Viso A, Marty J (1993) Fatty acids from 28 marine microalgae. *Phytochemistry* 34:1521–1533.
- Volpe, J. J., y P. R. Vagelos. 1973. Saturated fatty acid biosynthesis and its regulation. *Annual Review of Biochemistry* 42:21–60.
- Walsh, J.J., T.E. Whiteledge , J.C. Kelley, S.A. Huntsman y R.D. Pillsbury. 1977. Further transitions state of the Baja California upwelling ecosystem. *Limnology and Oceanography*. **22**(2):264-280.
- Winship, A. y Trites, A.W. (2003) Prey consumption by Steller sea lions in Alaska: How much do they require? *Fishery Bulletin*, **101**, 147–163.
- Witt, U., Quantz, G., Kuhlmann, D. and Kattner, G. 1984. *Aquaculture Engineering* 3, 177.
- Zar J. H., 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, USA. 282p.
- Zuria-Jordan, I.L., S. Alvarez-B., E. Santamaría-D. y F.E. Muller-K. 1995. Estimación de biomasa fitoplanctonica, derivada de datos de satélite, frente a Baja California Sur. *Ciencias Marinas*, 21 (3): 265-280.
- Zaytsev O., R. Cervantes-Duarte, O. Montantey, A. Gallegos-García. 2004. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*, vol 59, pp 489-502.

9. ANEXOS

Curva de Calibración de Proteínas mediante el método de Bradford (1976).

Tabla 6. Curva de calibración para proteínas mediante el método de Bradford (1976), utilizando la Bovine Gama Globulina (IgG) como estándar externo (100 µg/mL), se preparó un gradiente de concentración de 5 a 25 µg/mL.

Tubo	Solución IgG [100 µg/mL]	Agua Destilada (µL)	[µg/mL]	ABS
Testigo 0	0	800	0	0
1	40	760	5	0.056
2	80	720	10	0.136
3	120	680	15	0.234
4	160	640	20	0.326
5	200	600	25	0.393

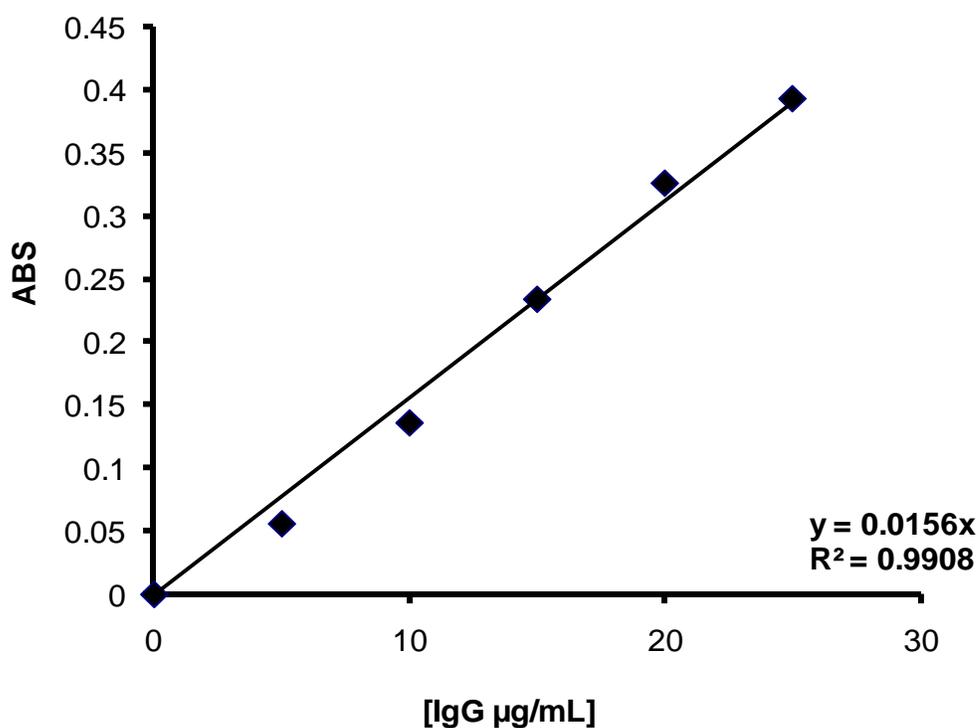


Figura 22. Ajuste de la curva de calibración de proteínas, con un valor de R^2 de .9908 y con el valor de la pendiente (Y) de 0.0156.

Curva de Calibración de Carbohidratos mediante el método de fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956).

Tabla 7. Curva de calibración para carbohidratos mediante el método de de fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956), se utilizó glucosa como estándar externo (160 µg/mL), con un gradiente de concentración de 0 a 64 µg/mL.

# Tubo	Solución de glucosa [160 µg/mL]	Agua Destilada (µL)	[Glucosa µg/mL]	ABS
Testigo 1	0	1000	0	0
2	10	990	1.6	0.006
3	50	950	8	0.054
4	100	900	16	0.123
5	200	800	32	0.2425
6	400	600	64	0.515

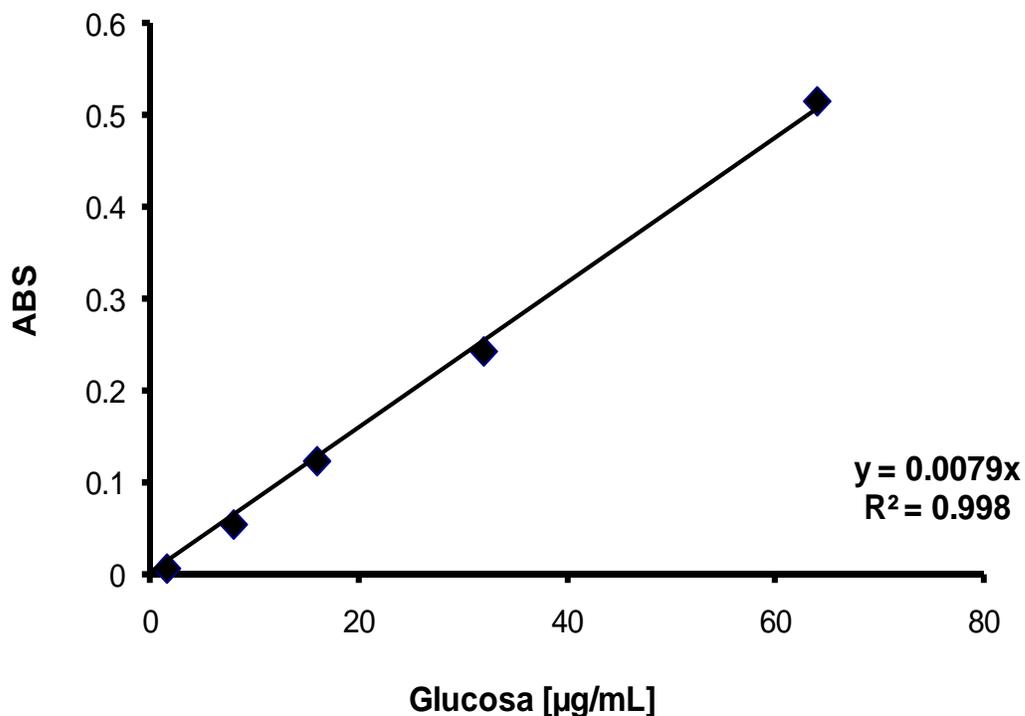


Figura 23. Ajuste de la curva de calibración realizada para carbohidratos donde se obtuvo una $R^2 = .998$ y un valor de la pendiente $Y = 0.0079$.

Tabla 8. Comparación de los perfiles de ácidos grasos de fitoplancton y detritus del sedimento del BAC de Bahía Magdalena.

ÁCIDOS GRASOS	RT1	RT2
	Fitoplancton	Detritus
12:0	0.08±0.03	0.46±0.32
13:0	0.06±0.01	2.34±0.89
14:0	^a 7.75±1.00	^b 5.73±0.39
15:0	^a 1.77±0.73	^b 2.50±0.20
16:0	^a 26.53±1.90	^b 20.78±0.35
17:0	2.37±0.53	2.55±0.70
18:0	8.40±1.36	8.81±2.99
19:0	0.40±0.07	0.33±0.08
20:0	^a 0.42±0.11	^b 1.23±0.25
21:0	0.71±0.98	0.96±0.24
22:0	0.87±1.12	1.42±0.39
23:0	0.22±0.07	0.34±0.21
24:0	0.41±0.11	1.81±0.52
26:0	^a 0	^b 1.30±0.56
Subtotal AGS	50.0±4.2	50.6±7.1
i 13:0	0.08±0.02	0.54±0.21
i 14:0	0.39±0.04	2.53±0.97
ai 14:0	0.20±0.04	4.82±1.69
i 15:0	^a 0.10±0.05	^b 1.35±0.19
i 16:0	0.31±0.06	1.61±0.29
ai 16:0	0.22±0.02	1.90±0.38
16:0 TM	^a 0	^b 0.72±0.06
i 17:0	0.28±0.03	0.26±0.16
ai 17:0	^a 0.07±0.03	^b 0
i 18:0	^a 0	^b 0.55±0.10
i 21:0	^a 0	^b 0.72±0.19
Subtotal RAM	^a1.7±0.1	^b13.7±3.3
14:1 n5	^a 0.07±0.04	^b 0.39±0.11
16:1 n11	0.37±0.07	0.48±0.17
16:1 n9	^a 0.30±0.08	^b 2.60±0.19
16:1 n7	3.71±1.18	6.21±2.71
17:1	0.28±0.06	0.58±0.34
18:1 n9 t	^a 0.42±0.21	^b 1.52±0.61
18:1 n11	^a 0	^b 0.62±0.47

18:1 n9 c	8.03±0.89	4.55±1.41
18:1 n7	1.63±0.25	6.61±2.88
18:1 n3	0.15±0.02	0.54±0.15
20:1 n11	0.27±0.09	0.42±0.16
20:1 n9	0.57±0.07	0.66±0.23
20:1 n7	^a 0.14±0.04	^b 0.28±0.06
22:1 n9	0.06±0.10	4.30±2.13
24:1	^a 1.83±0.67	^b 0.10±0.22
Subtotal AGMI	^a 17.8±1.1	^b 31.2±4.1
16:2 n4	^a 0.53±0.13	^b 0
16:3 n3	^a 0.01±0.03	^b 0
18:2 n6	1.77±0.19	2.52±0.75
18:3 n6	0.50±0.65	0.27±0.40
18:3 n3	^a 1.00±0.30	^b 0
18:4 n3	^a 1.15±0.30	^b 0
20:2 n6	^a 0.33±0.05	^b 0
20:3 n6	0.10±0.03	0.57±0.33
20:4 n6	0.89±0.30	0.60±0.12
20:3 n3	^a 0.14±0.05	^b 0
20:4 n3	0.35±0.09	0.14±0.32
20:5 n3	^a 5.59±1.16	^b 0.48±0.22
22:4 n3	^a 0.09±0.07	^b 0
22:3 n6	^a 0.64±0.10	^b 0
22:3 n3	^a 0.40±0.09	^b 0
22:6 n3	^a 17.02±2.26	^b 0
Subtotal AGPI	^a 30.5±4.2	^b 4.6±1.2

^{a,b} Diferencia significativa (p<0.05).

