



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**DIETA, POSICIÓN TRÓFICA Y VARIACIÓN EN
LA SEÑAL ISOTÓPICA DE *Mobula thurstoni* y
Mobula japanica EN EL SUROESTE DEL
GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

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

PRESENTA

LAURA SAMPSON TENORIO

LA PAZ, B.C.S., 2007



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

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 5 del mes de Noviembre del 2007 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:

"DIETA, POSICIÓN TRÓFICA Y VARIACIÓN EN LA SEÑAL ISOTÓPICA DE *Mobula thurstoni* Y

***Mobula japanica* EN EL SUROESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

SAMPSON

Apellido paterno

TENORIO

materno

LAURA

nombre(s)

Con registro:

A	0	6	0	2	9	3
---	---	---	---	---	---	---

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. FELIPE GALVÁN MAGAÑA

PRESIDENTE

DR. SÉRGIO AGUÍNIGA GARCÍA

SECRETARIO

MC. ROXANA DE SILVA DÁVILA

SEGUNDO VOCAL

DR. ROGELIO GONZÁLEZ ARMAS

TERCER VOCAL

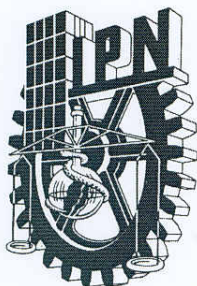
DR. EMILIO JOSÉ BEIER MARTÍN

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



L. P. N.
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 14 del mes Noviembre del año 2007, el (la) que suscribe LAURA SAMPSON TENORIO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A060293 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. FELIPE GALVÁN MAGAÑA y cede los derechos del trabajo titulado: "DIETA, POSICIÓN TRÓFICA Y VARIACIÓN EN LA SEÑAL ISOTÓPICA DE *Mobula thurstoni* Y *Mobula japonica* EN EL SUROESTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA" 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: lausamps@gmail.com galvan.felipe@gmail.com

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

LAURA SAMPSON TENORIO

nombre y firma

Agradecimientos

Agradezco a mi director de tesis, el Dr. Felipe Galván Magaña, por darme la oportunidad de realizar esta investigación, así como por su apoyo y observaciones durante el desarrollo de ésta.

Al comité revisor de la tesis por sus comentarios: Dr. Sergio Aguíñiga García, Dr. Emilio Beier, Dr. Rogelio González Armas y en especial a la M.C. Roxana De Silva Dávila, por sus correcciones y críticas que fueron de gran ayuda en la elaboración de la tesis.

Al proyecto IPN “Isótopos de carbono y nitrógeno en peces de la Familia Mobulidae” Clave CGPI 20050636.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por el apoyo académico brindado, y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por el apoyo económico otorgado.

Al Laboratorios de Peces y Ecología Marina, Laboratorio de Zooplancton y Laboratorio de Química Marina del CICIMAR por facilitar instalaciones y equipo.

A John O’Sullivan del Monterey Bay Aquarium por facilitar la obtención de muestras de mobula. A los pescadores de El Pardito por proporcionarme muestras de mobula y al señor Juan David Flores por su ayuda en la colecta de muestras de mobula y zooplancton de la Bahía de La Ventana.

Al Dr. Jaime Gómez Gutiérrez por darme su tiempo y brindarme información sobre eufáusidos. A Samuel Martínez Gómez por proporcionarme datos sobre la distribución de eufáusidos.

Al M.C. Yassir Torres Rojas por su ayuda técnica, así como a todas las demás personas que de alguna manera ayudaron en la colecta y preparación de las muestras.

A mis amigos en La Paz: Iván, Nelly, Oso, Mauricio y Linda por sus observaciones y ayuda en campo.

Finalmente, a mis padres por apoyarme en todos mis proyectos, y a David.

Índice General

Lista de Tablas	iii
Lista de Figuras.....	iv
Lista de Figuras.....	iv
Glosario	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes	4
3. Justificación.....	7
4. Planteamiento del problema.....	8
5. Hipótesis.....	8
6. Objetivos	9
6.1 Objetivo General	9
6.2 Objetivos específicos	9
7. Área de estudio	10
8. Materiales y Métodos	13
8.1 Trabajo de campo	13
8.2 Trabajo de laboratorio	14
8.3 Análisis de datos	15
9. Resultados	19
9.1 Efecto del método de preservación.....	19
9.1.1 Mobulas.....	19

9.1.2 Zooplancton.....	19
9.2 Valores isotópicos de las mobulas	21
9.3 Valores isotópicos del zooplancton	26
9.4 Variación de la señal isotópica.....	31
9.5 Utilización del área de estudio	35
9.6 Imágenes satelitales	35
10. Discusión.....	37
11. Conclusiones.....	49
12. Recomendaciones.....	51
13. Literatura citada.....	52
Apéndice	61

Lista de Tablas

		No. de página
Tabla 1	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de muestras congeladas y preservadas en etanol de músculo de mobulas en 2006.....	19
Tabla 2	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de muestras congeladas y preservadas en etanol y factor de corrección, para el arrastre de mayo 2006..	20
Tabla 3	Número de muestras, valores isotópicos de nitrógeno y carbono, desviación estándar (D.S.) y localidad de colecta para <i>M. thurstoni</i> en 2002, 2004, 2006 y 2007.....	22
Tabla 4	Número de muestras, valores isotópicos de nitrógeno y carbono, desviación estándar y localidad de colecta para <i>M. japonica</i> en 2002, 2004 y 2006.....	23
Tabla 5	Periodicidad en la colecta de muestras de zooplancton de marzo a septiembre de 2006 y presencia de grupos del zooplancton para análisis de isótopos estables.....	26
Tabla 6	Número de grupos zooplanctónicos obtenidos para análisis isotópico en los arrastres mensuales realizados en el suroeste del Golfo de California en 2006.....	27
Tabla 7	Promedios anuales y desviación estándar (D.S.) de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para el zooplancton colectado en el suroeste del Golfo de California en 2006.....	27
Tabla 8	Fraccionamiento isotópico entre mobulas y grupos del zooplancton determinados para 2006.....	28
Tabla 9	Posiciones tróficas calculadas por medio de análisis isotópico para <i>M. japonica</i> , <i>M. thurstoni</i> y <i>N. simplex</i> en 2006.....	30
Tabla 10	Valores mensuales de temperatura y concentración de clorofila a en el área de estudio para 2006.....	36

Lista de Figuras

		No. de página
Figura 1	Comparación de la región cefálica entre los géneros <i>Manta</i> y <i>Mobula</i>	1
Figura 2	Área de estudio. Los círculos representan las estaciones de muestreo de mobulas, y el triángulo la estación de muestreo de zooplancton.....	12
Figura 3	Número total de muestras de músculo de <i>M. thurstoni</i> y <i>M. japanica</i> , tomadas en: a y b) 2002, c y d) 2004, e y f) 2006, g) 2007, para el análisis de isótopos estables en el suroeste del Golfo de California, BCS.....	24
Figura 4	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ promedio para músculo de <i>M. thurstoni</i> y <i>M. japanica</i> en 2002, 2004 y 2006 en el suroeste del Golfo de California. Barras de error equivalen a una desviación estándar..	25
Figura 5	Promedios anuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para <i>M. thurstoni</i> , <i>M. japanica</i> y grupos de zooplancton en 2006 en el suroeste del Golfo de California. Las barras de error equivalen a una desviación estándar.....	28
Figura 6	Valores mensuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para mobulas y zooplancton durante 2006 en el suroeste del Golfo de California. : mobulas; : <i>N. simplex</i> ; : carnívoros; : herbívoros; : decápodos; : quetognatos.....	30
Figura 7	Variación mensual de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para <i>M. thurstoni</i> y <i>M. japanica</i> en 2004 y 2006 en el suroeste del Golfo de California...	31
Figura 8	Variación mensual de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para <i>M. thurstoni</i> y <i>M. japanica</i> en 2004 y 2006 en el suroeste del Golfo de California...	32
Figura 9	Variación mensual en los valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ para el zooplancton del suroeste del Golfo de California en 2006.....	32
Figura 10	Variación mensual en los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ para el zooplancton del suroeste del Golfo de California en 2006.....	33

Figura 11	Variación mensual en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para mobulas y <i>N. simplex</i> en 2006. Las flechas punteadas indican la transmisión de la señal isotópica de <i>N. simplex</i> a las mobulas.....	34
Figura 12	Variación mensual en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para mobulas y <i>N. simplex</i> en 2006. Las flechas indican la tendencia de cambio isotópico de <i>N. simplex</i> que se ve reflejada en las mobulas.....	34
Figura 13	Anomalías semanales de temperatura y concentración de clorofila a en el área de estudio para el año 2006.....	36

Glosario

$\delta^{13}\text{C}$: proporción de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en la muestra comparada con la proporción $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de un estándar. Valores más bajos quieren decir que esta proporción es menor en la muestra que en el estándar (Fry, 2006).

$\delta^{15}\text{N}$: proporción de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en la muestra comparada con la proporción $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de un estándar. Valores más bajos quieren decir que esta proporción es menor en la muestra que en el estándar (Fry, 2006).

Cadena trófica: flujo de energía transferida sucesivamente de productores primarios a consumidores primarios, secundarios, etc., dentro de una comunidad (Lincoln *et al.*, 1995).

Capa límite: capa de fluido adyacente a un cuerpo en la que el movimiento del fluido se ve afectado en gran medida por su posición; dicho movimiento posee una velocidad media menor que el valor de la corriente libre (Lincoln *et al.*, 1995).

Zona nerítica: zona de agua poco profunda que cubre la plataforma continental (Lincoln *et al.*, 1995).

Isótopos estables: átomos de un mismo elemento con diferente número de neutrones pero igual número de protones, y con propiedades químicas similares (Fry, 2006).

Masa de agua: cuerpo de agua definido por sus características de temperatura, salinidad, profundidad y movimiento (Lincoln *et al.*, 1995).

Oceánico: zona del océano situada más allá de la plataforma continental (Lincoln *et al.*, 1995).

Posición trófica: lugar de la red trófica ocupado por un organismo. Es un valor que refleja el número promedio de niveles (intercambios tróficos) existentes entre los nutrientes en la base de la red trófica y el consumidor, teniendo en cuenta la importancia relativa del aporte de energía a cada nivel (Vander Zanden & Rasmussen, 1999).

Producción nueva: producción de compuestos orgánicos por medio de fotosíntesis o quimiosíntesis, a partir de compuestos inorgánicos que provienen de la zona afótica (Miller, 2003).

Producción regenerada: producción primaria basada en material orgánico reciclado (amonio, exuvias, heces, mucus, etc.) (Miller, 2003).

Razón C:N : razón carbono/nitrógeno de una muestra. Un valor mayor a 3.7 indica que la muestra contiene lípidos (Sweeting *et al.*, 2006).

Red trófica: trama de interacciones alimenticias entre organismos en una comunidad. A diferencia de una cadena trófica, describe las interacciones que ocurren cuando los organismos se alimentan en varios niveles de la trama trófica (Vander Zanden & Rasmussen, 1999).

Surgencia: movimiento de agua profunda costera rica en nutrientes hacia la superficie, con magnitud y duración suficientes para que los nutrientes puedan ser aprovechados por organismos fotosintetizadores (Lincoln *et al.*, 1995).

Tasa de recambio isotópica: tiempo necesario para que el tejido de un organismo refleje la señal isotópica de un alimento nuevo con diferente señal isotópica (Michener & Schell, 1994).

Resumen

Mobula thurstoni y *M. japanica* son las dos especies dominantes en la captura de mantas (Familia Myliobatidae) del Golfo de California. Actualmente están protegidas por medio de la Norma de Pesca NOM-029 en México, ya que es probable que sus poblaciones estén disminuyendo debido a su baja fecundidad, lento crecimiento y madurez sexual tardía. *M. thurstoni* y *M. japanica* son elasmobranquios filtradores que se alimentan de zooplancton. Se han realizado muy pocos estudios sobre su biología, y debido a la alta tasa de estómagos vacíos encontrados en los estudios de alimentación tradicionales, se utilizó la técnica de isótopos estables de nitrógeno y carbono ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$) para establecer su posición trófica y dieta a partir del análisis de zooplancton. Se realizaron 11 arrastres de zooplancton diurnos y nocturnos entre marzo y noviembre 2006. El zooplancton se separó en: *Nyctiphanes simplex*, la presa más común de las mobulas, y en herbívoros, carnívoros y omnívoros. Se obtuvieron un total de 104 muestras de músculo de mobulas: 63 de *M. thurstoni* y 41 de *M. japanica*, para 2002, 2004, 2006 y 2007. Comparando las razones isotópicas de carbono y nitrógeno entre las dos especies de *Mobula*, se encontró que en 2004 *M. japanica* se alimentó en una zona más oceánica que *M. thurstoni*. En 2006 los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para las mobulas fueron mayores que en años anteriores (en promedio 1.23‰ para *M. thurstoni* y 1.11‰ para *M. japanica*), posiblemente por un cambio en la base de la cadena trófica. Se calculó una posición trófica de 3.48 y 3.43 para *M. thurstoni* y *M. japanica* respectivamente, correspondiente a la de consumidores secundarios. La variabilidad en la señal isotópica del zooplancton (desviación estándar de hasta 1.69 para el $\delta^{15}\text{N}$ y 1.11 para el $\delta^{13}\text{C}$) fue significativamente mayor a la de las mobulas (desviación estándar de hasta 0.52 para el $\delta^{15}\text{N}$ y 0.48 para el $\delta^{13}\text{C}$), debido a su menor tamaño y mayor tasa de recambio. Esta variación en la señal isotópica del zooplancton está relacionada con la productividad primaria del área de estudio, con valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ en época de advección de agua profunda y valores más altos al disminuir la concentración de nutrientes en la zona fótica. Valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ en invierno (< -18.60‰) podrían ser debidos a temperaturas bajas. Los valores bajos en verano (-18.89‰) podrían ser debidos a la entrada de una masa de agua con diferente señal isotópica. Se determinó que ambas especies de mobula se alimentaron solamente de *N. simplex* en 2006. La variación estacional de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se vio reflejada en el músculo de las mobulas, con 1-2 meses de retraso para *M. thurstoni* y 3 meses de retraso para *M. japanica*.

Abstract

Mobula thurstoni and *M. japanica* (Family Myliobatidae) are the two dominant species in the mobulid catch of the Gulf of California. They are presently protected by fishing regulations in Mexico (NOM-029) since their populations are probably declining due to their low fecundity, slow growth rate and late age at sexual maturity. *M. thurstoni* and *M. japanica* are filter-feeding elasmobranchs that prey on zooplankton. Very few studies have been carried out on their biology, and due to the high amount of empty stomachs found in traditional stomach contents studies, we decided to use stable isotopes of nitrogen and carbon ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) to establish their trophic position and diet inferred from zooplankton analysis. 11 diurnal and nocturnal plankton tows were carried out between March and November 2006. The zooplankton was separated according to feeding groups: herbivores, carnivores, omnivores and the euphausiid *Nyctiphanes simplex*, their most common prey. We obtained 104 ray muscle samples: 63 from *M. thurstoni* and 41 from *M. japanica* for 2002, 2004, 2006 and 2007. The isotopic comparison between the two ray species showed that in 2004 *M. japanica* fed in an area farther offshore than *M. thurstoni*. In 2006 mobulid $\delta^{15}\text{N}$ values were higher than in previous years (on average 1.23‰ for *M. thurstoni* and 1.11‰ for *M. japanica*), possibly due to a change at the base of the food chain. We calculated a trophic position of 3.48 for *M. thurstoni* and 3.43 for *M. japanica*, corresponding to that of secondary consumers. The variability of the zooplankton's isotopic signal (standard deviation of 1.69 for $\delta^{15}\text{N}$ and 1.11 for $\delta^{13}\text{C}$) was higher than that of mobulid rays (standard deviation of 0.52 for $\delta^{15}\text{N}$ and 0.48 for $\delta^{13}\text{C}$), due to their smaller size and higher tissue turnover rate. The isotopic seasonal variability in zooplankton is linked to the primary productivity in the study area. Lower values of $\delta^{15}\text{N}$ occur when there is advection of deep water and higher values when the nutrient concentration in the euphotic zone decreases. Low values of $\delta^{13}\text{C}$ in winter ($< -18.60\text{‰}$) could be due to lower temperatures, and low values in summer (-18.89‰) could be due to the entrance of a water mass with different isotopic values. We determined that both rays fed only on *N. simplex* in 2006. The seasonal isotopic variability of *N. simplex* was reflected in the mobulid tissue, with a 1-2 month lag for *M. thurstoni* and a 3 month lag for *M. japanica*.

1. Introducción

A nivel mundial la subfamilia Mobulinae (familia Myliobatidae, orden Rajiformes) incluye diez especies: una especie del género *Manta* (*Manta birostris*) y nueve especies del género *Mobula*. Tienen un cuerpo en forma de disco romboidal, aleta caudal larga en forma de látigo en cuya base se encuentra una pequeña aleta dorsal, cabeza ancha y dos aletas cefálicas formadas por modificaciones de las aletas pectorales (McEachran & Notarbartolo-di-Sciara, 1995).

El género *Mobula* se diferencia del género *Manta* por tener la boca en posición ventral y dientes en ambas mandíbulas (Fig. 1) además de tener una cabeza con una amplitud que no rebasa el 17% de la amplitud del disco (Notarbartolo-di-Sciara, 1987a). En el Golfo de California se han identificado cuatro especies de mobula: *Mobula munkiana*, *Mobula japanica*, *Mobula tarapacana* y *Mobula thurstoni*, las cuales han sido objeto desde hace varias décadas de la pesquería artesanal en la Bahía de La Paz y otras zonas del Golfo de California (Notarbartolo-di-Sciara, 1988). El presente estudio sólo incluye a *M. japanica* y *M. thurstoni* ya que estas dos especies parecen tener hábitos alimenticios similares (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Hobro, 2002).

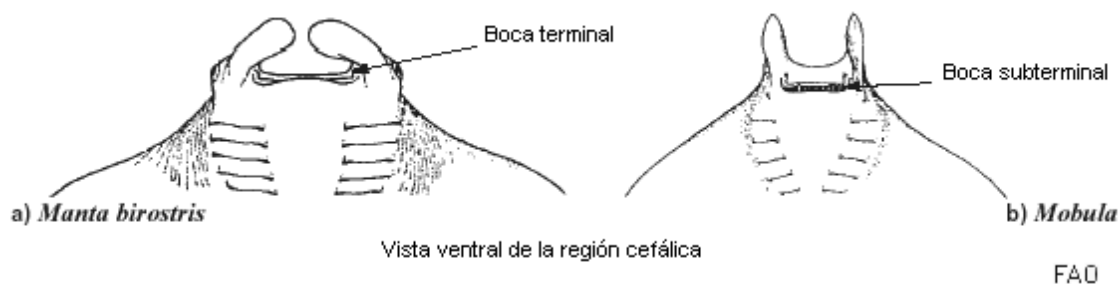


Figura 1 - Comparación de la región cefálica entre los géneros *Manta* y *Mobula*

Todas las especies del género *Mobula* están actualmente protegidas por el gobierno mexicano y es ilegal su captura, comercialización y consumo (NOM-029-PESC-2004). *M. japanica* y *M. thurstoni* han sido incluidas en la lista roja de especies

amenazadas de la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza ya que se desconocen aspectos básicos de su biología (Clark *et al.*, 2005; White *et al.*, 2005).

Los peces batoideos de la familia Myliobatidae son vivíparos aplacentados, pariendo sólo una cría después de un período de gestación largo (1-2 años) (McEachran & Notarbartolo-di-Sciara, 1995). Estas características típicas de los elasmobranquios (crecimiento lento, madurez sexual tardía, vida larga y baja fecundidad), dificultan que sus poblaciones se recuperen rápidamente si son sobre-explotadas (Stevens *et al.*, 2000). La falta de información sobre la abundancia de estas especies, así como su biología, incluyendo el tipo de hábitat que frecuentan, alimento que consumen, y las causas de sus movimientos, dificulta crear planes adecuados de manejo para su conservación (Notarbartolo-di-Sciara, 1997).

A diferencia de otros elasmobranquios filtradores pelágicos como el tiburón ballena *Rhincodon typus*, el cual consume presas diversas (peces, zooplancton, crustáceos), la dieta de las mobulas es más especializada (McEachran & Notarbartolo-di-Sciara, 1995; Ketchum-Mejía, 2003). Por medio de análisis de contenidos estomacales se ha intentado determinar la dieta de estos organismos, encontrando que se alimentan principalmente de eufáusidos (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Hobro, 2002).

El análisis de isótopos estables de nitrógeno y carbono ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ respectivamente) es una herramienta que ha sido utilizada en varios estudios para evaluar interacciones tróficas en peces y en tiburones (Persson & Hansson, 1999; Pinnegar & Polunin, 2000; Vander Zanden & Rasmussen, 2001; Campbell *et al.*, 2003; Estrada *et al.*, 2003; MacNeil *et al.*, 2005). Esta herramienta fue útil para establecer los hábitos alimenticios y nivel trófico de las mobulas en el suroeste del Golfo de California. El cálculo de la posición trófica permite cuantificar el paso promedio de energía de las presas a los consumidores, ya que incorpora la contribución energética relativa de cada nivel trófico a la dieta del consumidor (Chipps & Garvey, 2006). El utilizar isótopos estables para calcular la posición trófica permite obtener

una medida continua que incorpora todos los niveles tróficos de los que se puede alimentar un animal (Post, 2002).

Con el presente estudio se pretende: establecer si existen diferencias en la alimentación de *M. japonica* y *M. thurstoni*; cuál es la posición trófica de estas dos especies con respecto al zooplancton del área de estudio; y si se alimentan en el área de estudio todo el año. Por medio del análisis de los isótopos estables de las mobulas y sus presas se podrá determinar también si hay variación temporal en la señal isotópica de las presas y si esta variación se ve reflejada en la composición isotópica del tejido de las mobulas.

2. Antecedentes

La primera investigación realizada sobre las mobulas del Golfo de California incluyó datos sobre su anatomía, sexo, tamaño y dieta, así como distribución estacional (Notarbartolo-di-Sciara, 1987b; 1988). *Mobula thurstoni* fue la especie más abundante durante el período de 1980 a 1984 y por la variación estacional en su abundancia el autor infirió que los adultos pasaban el invierno en otra área y volvían al sureste de la Bahía de La Paz en la primavera; deduciendo que esta área representa un espacio de alimentación, apareamiento y crianza para la especie. Notarbartolo-di-Sciara (1988) encontró que los individuos de *M. thurstoni* menores a 1.3 m de ancho de disco se alimentaron de eufáusidos y mysidáceos, y los más grandes sólo de eufáusidos. El uso que hizo *M. japanica* del área fue para apareamiento y alimentación; la mayor abundancia de individuos se encontró en primavera y verano aunque también se encontraron algunos individuos en invierno. *M. japanica* se alimentó casi exclusivamente de *N. simplex* (Notarbartolo-di-Sciara, 1988).

En un estudio de los movimientos de *Mobula japanica* en el Golfo de California por medio de telemetría acústica se encontró que los individuos marcados permanecieron la mayoría del tiempo en la capa superficial por encima de la termoclina, tanto de día como de noche, y parecían alimentarse de plancton en la noche (Freund *et al.*, 2000).

Serrano-López (2007) con datos de 2002 y 2004, concluyó que *M. japanica* expulsa sus crías entre mayo y julio en el área de la Bahía de La Ventana, y que la época de apareamiento es durante junio y julio; para *M. thurstoni* la época de apareamiento y expulsión de crías es entre agosto y octubre.

Cuevas-Zimbrón (2007) hizo una descripción de la columna vertebral de *M. japanica* así como un estudio preliminar de edad y crecimiento, encontrando individuos de

hasta 14 años a una talla de 230 cm de ancho de disco (AD). La edad de madurez estimada fue de 5 a 6 años a una talla aproximada de 205 cm AD.

En los últimos 20 años el número de estudios que han hecho uso de isótopos estables para analizar la dieta de animales en su hábitat natural se ha incrementado. Se han utilizado isótopos estables para determinar la posición trófica y dieta de elasmobranquios como *Isurus oxyrinchus*, *Alopias vulpinus*, *Prionace glauca*, *Cetorhinus maximus* (Estrada *et al.*, 2003; MacNeil *et al.*, 2005), *Somniosus microcephalus* (Fisk *et al.*, 2002) y *Potamotrygon motoro* (MacNeil *et al.*, 2006).

El análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno se ha utilizado también para determinar la posición trófica del zooplancton. Por ejemplo, basándose en la proporción de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se ha calculado el nivel trófico de varias especies de eufáusidos y copépodos (Gurney *et al.*, 2001; McCelland & Montoya, 2002; Schmidt *et al.*, 2003). En un estudio de las variaciones espaciales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en copépodos calanoides, eufáusidos herbívoros y quetognatos carnívoros de diferentes regiones de los mares de Bering y Chukchi, se encontraron diferencias significativas en el valor del $\delta^{13}\text{C}$ de estos grupos zooplanctónicos entre regiones de alta productividad primaria y regiones con pocos nutrientes (Schell *et al.*, 1998). También se han encontrado diferencias de $\delta^{13}\text{C}$ entre la plataforma continental y la zona oceánica profunda del suroeste de la Columbia Británica, Canadá, siendo esta última más deficiente en $\delta^{13}\text{C}$. Se propuso que estas diferencias en $\delta^{13}\text{C}$ a través del espacio y de las cadenas tróficas podrían utilizarse para trazar límites en las cadenas alimenticias marinas (Perry *et al.*, 1999). Asimismo, se ha observado un gradiente en $\delta^{13}\text{C}$ en el Ártico, del mar de Bering (costa de Siberia, Rusia), al mar de Beaufort (costa de Alaska, E.U.A.), el cual se observó en toda la cadena alimenticia, desde bivalvos y crustáceos hasta peces (Dunton *et al.* 1989). En el Antártico también se observó un gradiente de variación latitudinal en $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en eufáusidos, copépodos y material orgánico particulado (Schmidt *et al.*, 2003).

En cuanto a variaciones temporales en las señales isotópicas, se han realizado varios estudios. Por ejemplo, Rau *et al.* (2003) registraron las variaciones interanuales en $\delta^{15}\text{N}$ de copépodos y quetognatos durante un período de 51 años en la Bahía de Monterey, E.U.A., encontrando poca variación a lo largo del período de estudio. La variabilidad encontrada fue adjudicada a influencia de eventos El Niño sobre el $\delta^{15}\text{N}$. En un estudio de la variación estacional en $\delta^{15}\text{N}$ del zooplancton del lago Tanganyika en África se observaron valores más altos cuando la concentración superficial de nitratos era menor, ya que había menor discriminación en contra del ^{15}N por parte del fitoplancton (O'Reilly *et al.*, 2002). Esta variación estacional del $\delta^{15}\text{N}$ en el fitoplancton, cuando la concentración superficial de nitratos disminuye, también fue observada en una zona de surgencias del noroeste de España; se encontraron valores mayores de $\delta^{15}\text{N}$ al disminuir las concentraciones superficiales de nitratos, y valores menores de $\delta^{15}\text{N}$ al final de las surgencias, cuando la cadena trófica pasó a estar basada en producción regenerada (Bode & Álvarez-Ossorio, 2004).

La presa principal de *M. japonica* y *M. thurstoni* es *Nyctiphanes simplex* (Notarbartolo-di-Sciara, 1988), el eufáusido más abundante en las aguas neríticas del Pacífico oriental subtropical, incluyendo al Golfo de California y la Bahía de La Paz (Gómez, 1995; De Silva-Dávila, 1997; De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002). Notarbartolo-di-Sciara (1988) reportó que la abundancia de *N. simplex* aumentó en la primavera hasta alcanzar su máxima densidad en el mes de julio en 1980, similar a lo encontrado para 1957, cuando se observaron abundancias máximas en junio (Brinton & Townsend, 1980). En un estudio realizado en 1990, se encontró que esta especie alcanzó un pico de abundancia en abril en la Bahía de La Paz, pero siguió presentándose en abundancias altas hasta el mes de agosto (De Silva-Dávila, 1997; De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002). Para la parte norte del Golfo de California Gómez-Gutiérrez *et al.* (2007) encontraron altas abundancias de *N. simplex* tanto en invierno como en verano (>500 individuos. 1000 m^{-3}), aunque la abundancia de adultos fue menor en verano que en invierno. En todos los muestreos la mayoría de los individuos estuvo presente en los 200 m superficiales.

N. simplex ha sido objeto de estudios de población como los de Lavaniegos-Espejo (1994), Gómez (1995), De Silva-Dávila (1997) y De Silva-Dávila & Palomares-García (1998). Asimismo, Gendron (1992) describió la estructura poblacional de enjambres diurnos de *N. simplex* de hasta 30 m de diámetro en el suroeste del Golfo de California, los cuales estaban compuestos de adultos en estado reproductivo, huevos y larvas. También reporta que se han visto eufáusidos saltando fuera del agua para escapar de mantas, y menciona a *Mobula thurstoni* como un depredador importante de *Nyctiphanes simplex* (Gendron, 1992).

3. Justificación

Aunque el número de investigaciones sobre mobulas ha aumentado en los últimos años, la información recolectada ha sido a veces contradictoria, y falta determinar en detalle la historia natural de estos organismos. Las mantas son animales carismáticos de gran atractivo para la industria turística y aunque están protegidos y ya no es legal su pesca, siguen siendo capturados.

Es importante determinar la dieta de estos animales ya que ésta representa la integración de componentes ecológicos fundamentales como comportamiento, uso del hábitat, interacciones interespecíficas e intraespecíficas, condición del animal y aporte de energía (Chipps & Garvey, 2006). En el caso de *M. japanica* y *M. thurstoni* determinar su fuente de alimento en el suroeste del Golfo de California ayudaría a entender su ecología y movimientos. El uso de isótopos estables permite obtener información integrada de la dieta a partir de muestras de tejido relativamente pequeñas. Al estar los miembros de la familia Mobulidae protegidos en el Golfo de California y ser ilegal su pesca, ya no se pueden obtener muestras de estómagos fácilmente para proceder al análisis de contenido estomacal. El análisis de isótopos estables es una de las formas de obtener información sobre alimentación de las mobulas sin sacrificar animales.

El contenido estomacal refleja sólo el material ingerido en las últimas horas, y es posible que no proporcione una información exacta de la alimentación de los

animales a una escala estacional. La proporción de isótopos estables refleja la alimentación a escalas mayores y en el caso del tejido muscular, de varias semanas a meses (Tieszen *et al.*, 1983; Persson & Hansson, 1999; MacNeil *et al.*, 2005), permitiendo inferir la permanencia de *M. japonica* y *M. thurstoni* en la zona de estudio, así como si se alimentan de las mismas presas a lo largo de año.

4. Planteamiento del problema

Notarbartolo-di-Sciara (1988) menciona que *Mobula thurstoni* y *M. japonica* se alimentan casi exclusivamente de *Nyctiphanes simplex*. Esta conclusión está basada en el análisis de 139 estómagos de *M. thurstoni*, de los cuales el 58.3% estaba vacío, y de 78 estómagos de *M. japonica*, de los cuales el 76% estaba vacío. Los beneficios de usar isótopos estables de nitrógeno y carbono para establecer la dieta de animales es que pueden reflejar el material asimilado que podría pasar desapercibido con un estudio de contenido estomacal tradicional. El análisis de la proporción de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en los tejidos de *M. thurstoni* y *M. japonica* se utilizó para establecer su posición trófica con respecto a *N. simplex* y a otros grupos del zooplancton presentes en el área de estudio. Se determinaron también las variaciones en la composición isotópica del tejido de las mobulas y del zooplancton durante varios meses.

5. Hipótesis

Si la señal isotópica del zooplancton varía a lo largo del año este cambio debería verse reflejado en el músculo de las mobulas. Las diferencias en $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en el tejido de las mobulas debidas a un cambio de área de alimentación deberían ser más marcadas que los posibles cambios en los valores isotópicos de las mobulas a lo largo del año debidos a variaciones en las razones isotópicas de sus presas dentro del área de estudio.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

Determinar la dieta y posición trófica de *Mobula thurstoni* y *Mobula japanica* en el suroeste del Golfo de California por medio del análisis de los isótopos estables de nitrógeno y carbono de su tejido muscular, tomando en cuenta la variabilidad temporal en la señal isotópica.

6.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la preservación en etanol vs. preservación en frío sobre los valores isotópicos de las muestras de mobulas y del zooplancton.
- Establecer si existen diferencias en la alimentación de *M. thurstoni* y *M. japanica*.
- Establecer la posición trófica de *M. thurstoni* y *M. japanica* en el suroeste del Golfo de California.
- Determinar cuál es la variabilidad isotópica del zooplancton en el suroeste del Golfo de California, y si ésta se ve reflejada en el músculo de las mobulas.
- Determinar si el área de estudio es una zona de alimentación estacional para *M. thurstoni* y *M. japanica*.

7. Área de estudio

En el suroeste del Golfo de California se presenta un régimen de vientos de tipo monzónico. Desde el otoño tardío hasta la primavera temprana los vientos en esta zona son fuertes y provienen del noroeste, generando surgencias a lo largo de México continental con el consiguiente transporte de aguas superficiales, lo cual promueve la incorporación de nutrientes y resulta en florecimientos de fitoplancton compuestos principalmente de diatomeas. Durante la época cálida (de junio a octubre), los vientos del sur son débiles, dejando que las aguas superficiales del Pacífico penetren dentro del golfo y generando surgencias débiles en el lado occidental del golfo (Thunnel *et al.*, 1996).

En invierno la temperatura superficial del mar disminuye hasta 15 a 16°C mientras que en verano alcanza los 30 a 32°C. Desde la boca del Golfo hasta el borde norte de la cuenca de Guaymas, las aguas están compuestas por una mezcla de la corriente de California, aguas subtropicales y aguas tropicales (Altabet *et al.* 1999).

La Bahía de La Paz está ubicada entre los 24°06' y 24°47' de latitud norte y los 110°18' y 110°45' de longitud oeste, cubriendo aproximadamente 2635 km² (Fig. 2). La profundidad de la bahía disminuye gradualmente de norte a sur y tiene un régimen de marea mixto semidiurno (Obeso-Nieblas *et al.*, 2002). Se presenta una mezcla de agua y recambio de nutrientes por medio de vientos locales y de corrientes mareales que entran por la boca norte de la bahía y salen por el canal de San Lorenzo, que contribuyen al aumento de biomasa fitoplanctónica y zooplanctónica (De Silva-Dávila, 1997; Reyes-Salinas *et al.*, 2003). Es considerada un área de elevada producción biológica ya que por efecto de isla se generan surgencias frente a las islas cercanas a la bahía, y la producción primaria es transportada al interior de la bahía por corrientes (Reyes-Salinas *et al.*, 2003). La ensenada de La Paz se encuentra separada del resto de la Bahía por una barra de arena llamada El Mogote (De Silva-Dávila *et al.*, 2004) (Fig. 2).

Las islas cercanas a Bahía de La Paz son: la Isla San José, la Isla Espíritu Santo y la Isla Cerralvo (Fig. 2). La Isla San José está ubicada entre los 24°52' y 25°06' de latitud norte y los 110°43' y 110°35' de longitud oeste, formando el límite norte de la Bahía de La Paz. Está separada de la península por el Canal San José; frente a su costa suroriental se encuentra un islote de 0.12 km², llamado El Pardito (Carmona *et al.*, 1996).

La Isla Espíritu Santo está ubicada entre los 24°24' y 24°36' de latitud norte y los 110°18' y 110°27' de longitud oeste. Es la isla de mayor tamaño del archipiélago ubicado 20 km al noroeste de la ciudad de La Paz y está separada de la península por el Canal de San Lorenzo (Carmona *et al.*, 2002). La Isla Cerralvo está ubicada al sureste de la Bahía de La Paz, entre las latitudes 24°08' y 24°23' norte, y las longitudes 109°48' y 109°55' oeste; mide 28 km de largo por 6 km de ancho, y está separada 8 km de la costa por el Canal Cerralvo (Banks, 1963). Este canal está ubicado entre los 24°02' y 24°22' de latitud norte y los 109°22' y 109°48' de longitud oeste, con un ancho en su extremo norte de 33 km, 10 km en el centro y 14 km en su extremo sur. La profundidad mayor del canal se da en su extremo norte, donde alcanza los 720 m, y en su extremo sur llega a 100 m de profundidad (Pérez-Urbiola, 1995).

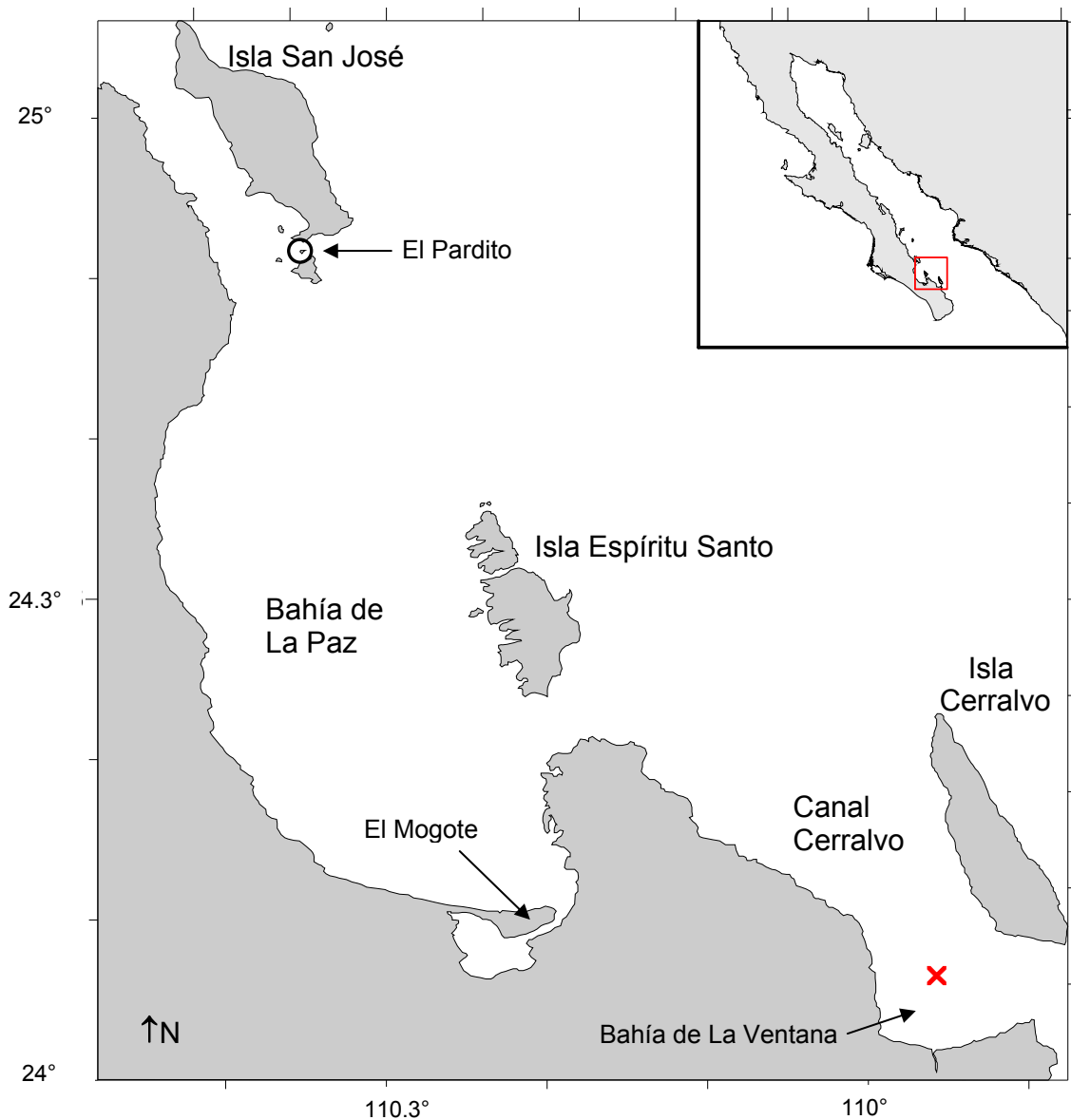


Figura 2 - Área de estudio. **X** representa la estación de muestreo de zooplancton. Se tomaron muestras de mobulas en El Pardito, la Bahía de la Ventana y el Mogote.

Estudios anteriores mostraron que la mayoría de las capturas de mobúlidos se han presentado en los campos pesqueros situados cerca de El Pardito, frente a la punta sur de la Isla San José, y en la Bahía de La Ventana, en las zonas norte y sur del área de estudio respectivamente (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Hobro, 2002). En el presente estudio se colectaron muestras de mobúlidos de estas dos zonas.

8. Materiales y Métodos

8.1 Trabajo de campo

En los meses de mayo a julio, cuando la presencia de mobulas en el área de estudio es mayor (Notarbartolo-di-Sciara, 1988; Serrano-López, 2007), se hicieron búsquedas de mobulas por mar utilizando una panga de 5 m de eslora con motor fuera de borda. Cuando se encontraron mobulas se colectaron muestras de unos 5 g de tejido muscular dorsal por medio de biopsias tomadas con un arpón tipo hawaiano, con puntas modificadas de acero inoxidable. Las puntas fueron previamente quemadas y desinfectadas en etanol para prevenir contaminación de la muestra (Ramírez-Macías, 2005). Los tejidos se preservaron en etanol al 96%. También se obtuvieron muestras por medio de pescadores de los campos pesqueros de El Pardito, La Ventana y El Mogote.

Se realizaron colectas mensuales de zooplancton en el centro del Canal Cerralvo, entre Isla Cerralvo y La Ventana (24°06.323' latitud norte y 109°55.453' longitud oeste) durante los meses de marzo a noviembre 2006. La posición de la estación de muestreo fue determinada utilizando un geoposicionador satelital (GPS) marca Etrex (5 m de precisión). Las colectas se realizaron tanto de noche como durante el día, ya que los adultos de *Nyctiphanes simplex* realizan migraciones verticales diarias y se encuentran en la superficie durante la noche (De Silva-Dávila 1997; Freund *et al.* 2000; De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002).

Las muestras de zooplancton se obtuvieron por medio de arrastres superficiales utilizando una red cónica simple de boca de 60 cm de diámetro y 505 µm de luz de malla, al final de la cual se fijó un copo blando de la misma luz de malla. Los arrastres se realizaron a una velocidad de 2 a 3 nudos durante 5 minutos, en línea recta. Se colocó un flujómetro calibrado al centro de la boca de la red para determinar el volumen de agua de mar filtrado. Las muestras de zooplancton fueron drenadas y preservadas en etanol al 96%. Se observó el estado del mar según la

escala de Beaufort, así como la dirección del viento y se midió la temperatura superficial del mar utilizando un termómetro de cubeta.

Parte de las biopsias de músculo y de las muestras de zooplancton fueron congeladas con el propósito de comparar los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos con las muestras preservadas en etanol. Se calculó un factor de corrección cuando se encontraron diferencias entre los dos métodos de preservación. Se utilizaron también muestras de músculo de mobulas colectadas durante 2002 y 2004 en los campos pesqueros de Punta Arenas y El Pardito. Estas muestras fueron preservadas en congelación y el análisis de isótopos estables se realizó de la misma manera que para las muestras preservadas en etanol. No se cuenta con muestras de 2003 y 2005 ya que en estos dos años no se llevaron a cabo muestreos de mobulas por parte del Laboratorio de Peces del CICIMAR.

8.2 Trabajo de laboratorio

Las muestras de músculo de mobulas fueron secadas por 48 horas en un horno a 58°C. Para la extracción de lípidos, las muestras fueron colocadas en 20 mL de solución cloroformo-metanol 1:1 por 20 minutos en un horno de microondas (modelo MARS5 FALCON), y posteriormente secadas en un horno de caja hasta evaporación total del solvente. Luego fueron molidas en un mortero de ágata hasta obtener un polvo homogéneo, del cual se pesaron 0.001g en una balanza analítica (marca OHAUS). Este polvo se empacó en cápsulas de estaño y fue mandado a analizar en el espectrómetro de masas de flujo continuo (PDZ Europa Hydra 20/20, Norwich, U.K.), del Departamento de Agronomía de la Universidad de California en Davis, E.U.A., siguiendo la metodología descrita por Ruiz-Cooley *et al.* (2006).

A partir de las muestras de zooplancton, se identificaron y separaron *a priori* seis grupos que de acuerdo con sus hábitos alimenticios pueden ubicarse como:

Herbívoros: calyptopis de *Nyctiphanes simplex* y copépodos del género *Acrocalanus* (Yen, 1985; Boxshall, 1981).

Carnívoros: quetognatos, mysidáceos y copépodos de los géneros *Euchaeta*, *Candacia* y *Labidocera* (Raymont, 1983; Schmidt *et al.*, 2003).

Omnívoros: larvas de decápodos y adultos de *N. simplex* (Dalley & McClatchie, 1989).

Se separó en viales (previamente lavados con jabón micro al 10%, y desinfectados con mezcla crómica) el equivalente a 5 mg de peso seco de cada grupo teniendo cuidado de extraer los organismos manteniendo en baño frío las muestras originalmente preservadas en congelación. Las muestras separadas fueron secadas por 24 horas en un horno a 58°C, molidas hasta obtener un polvo homogéneo, pesadas utilizando una balanza analítica y empacadas en cápsulas de estaño para su envío al Departamento de Agronomía de la Universidad de California en Davis, E.U.A., donde se realizó el análisis de isótopos estables de nitrógeno y carbono en un espectrómetro de masas de flujo continuo.

8.3 Análisis de datos

El carbono y el nitrógeno tienen dos isótopos estables (^{12}C y ^{13}C , ^{14}N y ^{15}N respectivamente), los cuales se diferencian por el número de neutrones que contienen, y por lo tanto, por su masa atómica. Los isótopos más ligeros de estos elementos son más abundantes ($^{14}\text{N}=99.63\%$, $^{15}\text{N}=0.37\%$, $^{12}\text{C}=98.89\%$, $^{13}\text{C}=1.11\%$) (Ehleringer y Rundel, 1989).

La dieta de los animales se ve reflejada en la proporción de isótopos estables de carbono y nitrógeno presentes en sus tejidos. Esta proporción da una imagen de los efectos combinados del metabolismo, el crecimiento, la composición proteínica del tejido y la dieta del animal. Los tejidos con una tasa metabólica más rápida como el

hígado reflejarán más rápidamente los cambios isotópicos de la dieta que otros tejidos como músculo o cartílago (Tieszen *et al.*, 1983; MacNeil *et al.*, 2005). Se ha determinado que la señal isotópica del músculo de peces muestra el cambio en su dieta unos tres meses después de ocurrido el cambio de un alimento a otro (Persson & Hansson, 1999). Por lo tanto el tejido de las mobulas presentes en el área de estudio en mayo, al inicio del muestreo, refleja los alimentos ingeridos en los meses anteriores.

La composición isotópica de un tejido se mide a través de la proporción de los isótopos estables ($\delta^{15}\text{N} = {}^{14}\text{N}/{}^{15}\text{N}$) presentes en la muestra. Se determina la diferencia isotópica entre la muestra y un estándar, ya que al basarse en una diferencia en vez de una medida exacta se logra determinar diferencias muy pequeñas en la composición isotópica de dos muestras (Ehleringer & Rundel, 1989). El estándar con el que se compara el carbono es una calcita fósil llamada Pee Dee Belemnita de Viena (VPDB) y el nitrógeno se compara con el gas presente en el aire atmosférico. Las muestras que contienen mayor cantidad del isótopo pesado se dice que están “enriquecidas” y son más “pesadas” que las otras muestras (Lajtha & Michener, 1994).

La cantidad de ${}^{14}\text{N}$, ${}^{15}\text{N}$, ${}^{12}\text{C}$ y ${}^{13}\text{C}$ de las muestras fue determinada usando espectrometría isotópica de masas de flujo continuo. Las proporciones de isótopos estables se expresaron como la diferencia con un material estándar de referencia, en partes por mil (‰), utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta X = (R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}} - 1) \times 1000$$

Donde X es la proporción en unidades delta relativa a un estándar, y R_{muestra} y $R_{\text{estándar}}$ son las proporciones isotópicas absolutas de la muestra y el estándar. Al multiplicar por 1000 los valores, son expresados en partes por mil (‰) (Ehleringer & Rundel, 1989).

Ya que los tejidos se enriquecen poco en $\delta^{13}\text{C}$ al subir la cadena trófica, el $\delta^{13}\text{C}$ se toma como indicador de la fuente de producción (Pinnegar & Polunin, 2000). El $\delta^{13}\text{C}$ ha sido utilizado para diferenciar entre cadenas tróficas basadas en algas bentónicas (enriquecidas en ^{13}C) y cadenas tróficas basadas en fitoplancton (deficientes en ^{13}C) (France, 1995). Los animales que se mueven de una cadena trófica a otra cadena con una señal diferente llevan consigo la señal isotópica de la cadena trófica en la cual se alimentaron anteriormente (Hobson, 1999). El cambio en $\delta^{13}\text{C}$ puede ser útil para diferenciar entre redes alimenticias con valores de $\delta^{13}\text{C}$ diferentes (Perry *et al.*, 1999). Si la señal de $\delta^{13}\text{C}$ es diferente entre dos regiones, en el caso de un animal migratorio se puede estimar el área en donde ingirió su alimento basándose en las señales del $\delta^{13}\text{C}$ de cada región (Schell *et al.*, 1998).

Una aplicación cuantitativa del uso de isótopos estables es poder estimar el nivel trófico de los consumidores (Vander Zanden y Rasmussen, 2001). Si hay un enriquecimiento en ^{15}N (fraccionación isotópica) consistente a cada nivel de la cadena alimenticia, el $\delta^{15}\text{N}$ del organismo se convierte en un índice de su posición trófica relativo al $\delta^{15}\text{N}$ de un consumidor primario cuya posición trófica es conocida (MacNeil *et al.*, 2005). Se estima que con cada nivel trófico el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta 3.4‰ en promedio, y el $\delta^{13}\text{C}$ aumenta entre 0.00‰ y 1.3‰ en promedio (Rau *et al.*, 1983; Post, 2002; Michener & Schell, 1994; Vander Zanden & Rasmussen, 2001).

El nivel trófico de las mobulas se calculó utilizando la ecuación:

$$\text{Posición trófica del consumidor} = [(\delta^{15}\text{N}_{\text{consumidor}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / 3.4] + 2$$

Se consideró a los consumidores primarios (zooplancton herbívoro) como nivel trófico de base y se asumió un nivel de fraccionamiento constante de 3.4‰ (Vander Zanden & Rasmussen, 2001).

Se compararon los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ entre el músculo de las mobulas y los diferentes grupos del zooplancton. Esta comparación permitió establecer el nivel trófico de *M. thurstoni*, *M. japonica* y *N. simplex*, e inferir de qué grupo se alimentaron. Se infirió también el tiempo de alimentación de las mobulas en el área de estudio ya que un valor de $\delta^{13}\text{C}$ diferente al de sus presas indicaría que las mobulas se alimentaron en una cadena alimenticia con una firma isotópica diferente a la del área.

Para comparar los datos isotópicos del zooplancton con variables ambientales, se obtuvieron imágenes del área de estudio, así como datos de temperatura y concentración de clorofila-a tomados por el satélite Aqua Modis de la NOAA con una resolución de 4 km x 4 km, mismos que fueron proporcionados por el Dr. E. Beier del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) en la ciudad de La Paz, B.C.S. Se calcularon los valores mensuales y las anomalías para ambos parámetros.

Se probó la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolgomorov-Smirnoff. Se buscó determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores preservados en etanol y congelados, entre sexos, lugares de colecta, adultos y juveniles, y entre especies para cada año para las mobulas; así como arrastres diurnos y nocturnos para el zooplancton, utilizando los estadísticos de U de Mann-Whitney (Zar,1999). Se calculó la existencia de diferencias significativas entre años para cada especie de mobula y entre datos isotópicos de mobulas y zooplancton utilizando el estadístico de Kruskal-Wallis (Zar, 1999).

9. Resultados

9.1 Efecto del método de preservación

9.1.1 Mobulas

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las muestras de mobulas preservadas en etanol no presentaron diferencias significativas con las muestras congeladas (U de Mann-Whitney, $p>0.05$) (tabla 1). Sólo se pudo comparar una muestra de *M. thurstoni* entre ambos métodos de preservación, pero al ser organismos morfológicamente muy similares a *M. japonica* y presentarse diferencias promedio similares entre los métodos de preservación, se asumió que el efecto del etanol fue el mismo para ambas especies. Al no haber encontrado diferencias significativas entre los métodos de preservación, en los análisis estadísticos se consideraron todos los datos juntos.

Tabla 1 – Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de muestras congeladas y preservadas en etanol de músculo de mobulas en 2006

	Muestras congeladas (Promedio $\pm$ D.S.)	Muestras en etanol (Promedio $\pm$ D.S.)	Diferencia promedio	p
$\delta^{15}\text{N}$				
<i>M. japonica</i>	18.26 $\pm$ 0.3	18.19 $\pm$ 0.27	-0.06 $\pm$ 0.56	>0.05
<i>M. thurstoni</i>	17.75	17.60	0.15	
$\delta^{13}\text{C}$				
<i>M. japonica</i>	-17.19 $\pm$ 0.48	-16.87 $\pm$ 0.51	0.32 $\pm$ 0.06	>0.05
<i>M. thurstoni</i>	-17.11	-17.20	-0.08	

9.1.2 Zooplankton

Las muestras de marzo, abril y mayo fueron congeladas, mientras que las muestras de junio, agosto, septiembre y noviembre fueron preservadas en etanol para facilitar la posterior separación de la muestra. Para el mes de mayo se preservó parte de la muestra en congelación y parte en etanol, para poder comparar el efecto del método

de preservación. En estas muestras, sí se registró una diferencia significativa entre los dos tipos de preservación, tanto para el $\delta^{15}\text{N}$ como para el $\delta^{13}\text{C}$ (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$). En el caso del $\delta^{15}\text{N}$, el etanol incrementó un poco los valores de las muestras (0.72‰ en promedio), mientras que el efecto del $\delta^{13}\text{C}$ fue más marcado (2.00‰ en promedio, tabla 2). Al restarle el valor obtenido para las muestras en etanol a las muestras congeladas (para cada grupo por separado) se obtuvo un factor de corrección, el cual pudo ser aplicado a las demás muestras preservadas en etanol.

Tabla 2 – Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de muestras congeladas y preservadas en etanol y factor de corrección, para el arrastre de mayo 2006.

	Muestras congeladas	Muestras en etanol	Factor de corrección
$\delta^{15}\text{N}$			
<i>N. simplex</i>	15.64	16.21	-0.58
Herbívoros	16.45	13.65	2.80*
Carnívoros	14.73	15.28	-0.55
Quetognatos	14.60	15.88	-1.27
Decápodos	14.29	14.78	-0.49
		Promedio	-0.72
$\delta^{13}\text{C}$			
<i>N. simplex</i>	-19.93	-18.36	-1.56
Herbívoros	-17.68	-17.31	-0.37*
Carnívoros	-20.54	-19.19	-1.35
Quetognatos	-20.60	-17.92	-2.68
Decápodos	-20.35	-17.97	-2.38
		Promedio	-2.00

* estos datos no se tomaron en cuenta para el cálculo del promedio

Para todos los grupos (excepto herbívoros), el etanol aumentó los valores de $\delta^{15}\text{N}$, por lo que se le restó el factor de corrección a las muestras que fueron preservadas en etanol. El valor de $\delta^{15}\text{N}$ para la muestra preservada en etanol de los herbívoros dio un valor muy bajo, y ya que se presentaron problemas en el envío de la muestra y es posible que ésta hubiera sido contaminada, se decidió utilizar el factor de corrección de los carnívoros para el grupo de herbívoros, ya que son organismos similares y se supone que los efectos del etanol serían los mismos.

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de las muestras preservadas en etanol fueron más positivos que los de las muestras congeladas. Esto fue encontrado también por Kaehler &

Pakhomov (2001), quienes propusieron como explicación el hecho de que el etanol es un solvente y extrae los lípidos, los cuales son más enriquecidos en ^{12}C , resultando en un aumento del valor de $\delta^{13}\text{C}$ del organismo (valores más positivos). Esto se vio confirmado al analizar la razón C:N, ya que las muestras preservadas en etanol obtuvieron valores C:N significativamente más bajos (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$). Se busca obtener una razón C:N de aproximadamente 3.7 después de la extracción de lípidos, el cual es el valor de las proteínas puras (Sweeting *et al.*, 2006). Se decidió aplicar el factor de corrección obtenido a las muestras congeladas, para trabajar con valores estandarizados, y poder comparar con los valores obtenidos para las mobulas sin que se presentara un sesgo.

9.2 Valores isotópicos de las mobulas

Se colectaron un total de 104 muestras de *Mobula thurstoni* y *Mobula japanica* para 2002, 2004, 2006 y 2007. De éstas, 63 correspondieron a *M. thurstoni* (tabla 3) y 41 a *M. japanica* (tabla 4). En 2002 todas las muestras fueron colectadas en La Ventana; en 2004 se colectaron muestras en La Ventana y El Mogote; en 2006 se tomaron muestras en La Ventana y El Pardito; y en 2007 se colectaron muestras en El Mogote. La localidad más importante y que contribuyó al mayor número de muestras de mobulas de ambas especies fue La Ventana. Como se mencionó anteriormente, no se cuenta con datos para los años 2003 y 2005 ya que no se realizaron muestreos en estos años.

En las tablas 3 y 4 se presentan el número de muestras así como los promedios y desviaciones estándar de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para cada mes y especie en los cuatro años. No se encontraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ entre localidades, ni entre sexos para los cuatro años (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$), así que de aquí en adelante se analizarán todos los datos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ juntos.

Al comparar entre tallas y suponiendo que los juveniles de *M. thurstoni* son aquellos que miden menos de 150 cm y los de *M. japanica* son aquellos que miden menos de

205 cm (Notarbartolo-di-Sciara, 1988) se encontraron diferencias significativas entre adultos y juveniles solamente para el $\delta^{13}\text{C}$ en 2002 para *M. japonica* (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$). En este año se contó con un tamaño pequeño de muestra para *M. japonica* (9 juveniles y 4 adultos) y es posible que la diferencia en $\delta^{13}\text{C}$ encontrada sea debida a los pocos datos que se tienen.

Tabla 3 – Número de muestras, valores isotópicos de nitrógeno y carbono, desviación estándar (D.S.) y localidad de colecta para *M. thurstoni* en 2002, 2004, 2006 y 2007.

<i>M. thurstoni</i>							
2002	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	3	mayo	16.26	0.47	-16.35	0.71	La Ventana
	1	julio	17.51		-16.88		La Ventana
total	4	Promedio	16.58	0.73	-16.48	0.64	
2004	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	1	febrero	17.42		-16.36		El Mogote
	1	marzo	17.54		-15.40		El Mogote
	1	mayo	16.10		-16.92		La Ventana
	8	junio	17.19	0.38	-16.87	0.38	La Ventana
	1	julio	16.70		-17.23		La Ventana
	4	agosto	15.49	1.45	-16.94	0.67	La Ventana
	11	octubre	17.37	0.64	-16.74	0.38	La Ventana
total	27	Promedio	16.97	0.97	-16.77	0.49	
2006	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	9	mayo	17.60	0.37	-16.68	0.47	El Pardito
	2	junio	18.22	0.01	-16.93	0.28	El Pardito
	1	julio	17.60		-17.20		La Ventana
	2	agosto	17.52	0.58	-17.14	0.13	La Ventana
	14	septiembre	18.19	0.39	-16.75	0.55	La Ventana
	1	noviembre	17.95		-16.73		La Ventana
total	29	Promedio	18.00	0.52	-16.74	0.48	
2007	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	3	enero	18.66	0.72	-16.29	0.31	El Mogote
total	3						
Total	63						

Tabla 4 – Número de muestras, valores isotópicos de nitrógeno y carbono, desviación estándar y localidad de colecta para *M. japonica* en 2002, 2004 y 2006.

<i>M. japonica</i>							
2002	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	3	mayo	17.46	1.13	-16.56	0.83	La Ventana
	6	junio	16.34	0.72	-16.57	0.56	La Ventana
	4	julio	15.95	0.79	-17.29	0.61	La Ventana
total	13	Promedio	16.48	0.96	-16.79	0.68	
2004	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	2	mayo	14.42	2.11	-17.25	0.67	La Ventana
	10	junio	16.31	0.69	-17.68	0.69	La Ventana
	3	julio	16.86	0.63	-16.95	0.82	La Ventana
	2	agosto	16.46	0.16	-17.34	0.40	La Ventana
	5	octubre	16.79	0.62	-17.57	0.24	La Ventana
total	22	Promedio	16.34	1.24	-17.51	0.58	
2006	n	Mes	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.	Localidad
	1	mayo	17.97		-16.33		El Pardito
	3	junio	17.82	0.61	-17.10	0.20	El Pardito
	1	julio	18.29		-16.32		La Ventana
	1	agosto	17.39		-16.71		La Ventana
total	6	Promedio	17.85	0.48	-16.78	0.40	
Total	41						

El número total de muestras (todas las localidades) para cada mes y en cada año se presentan en la figura 3. Para *M. thurstoni* el número máximo de muestras en 2002 se obtuvo durante el mes de mayo (3 muestras), en 2004 el máximo se registró durante el mes de octubre (11 muestras) y para el 2006 el máximo se obtuvo en septiembre (14 muestras). En 2007 sólo se obtuvieron muestras en enero. Para *M. japonica* el máximo número de muestras en los tres años se obtuvo en junio (6 muestras en 2002, 10 muestras en 2004 y 3 muestras en 2006).

Mobula thurstoni

Mobula japanica

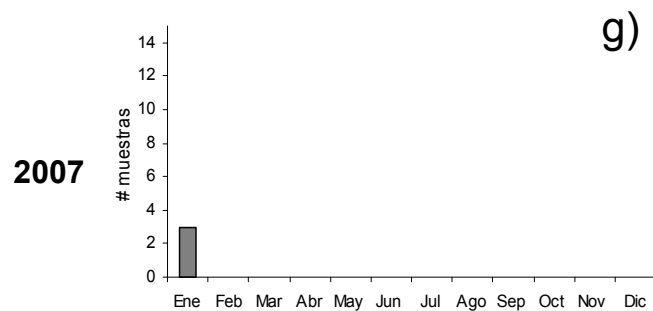
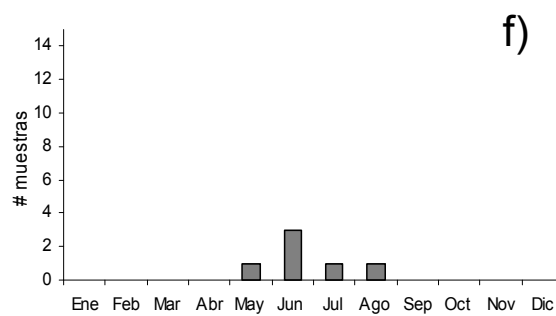
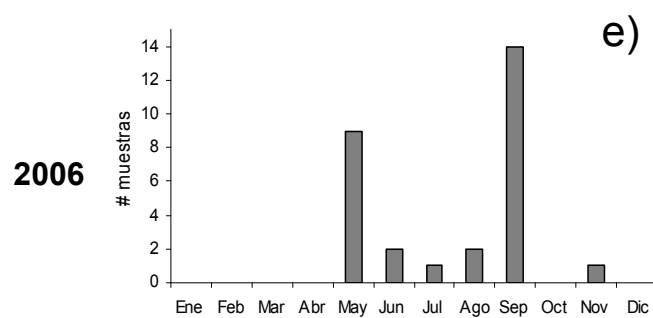
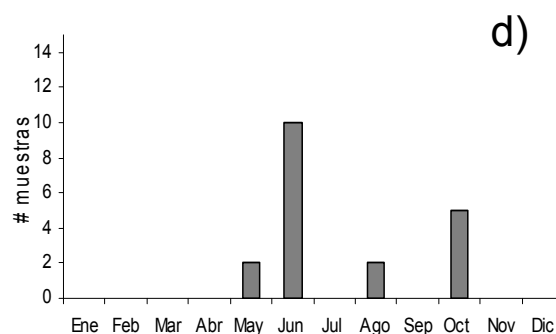
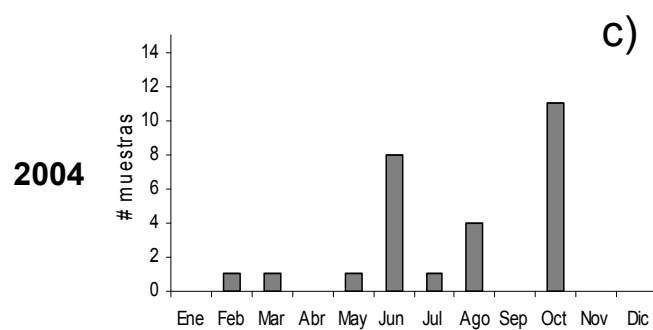
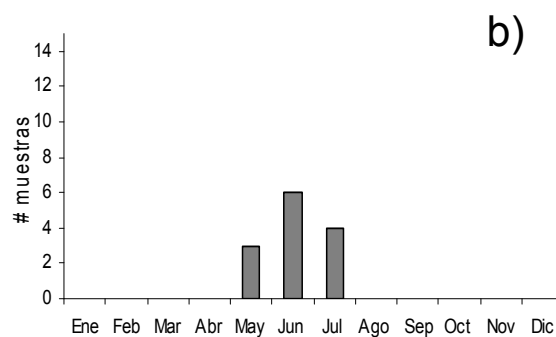
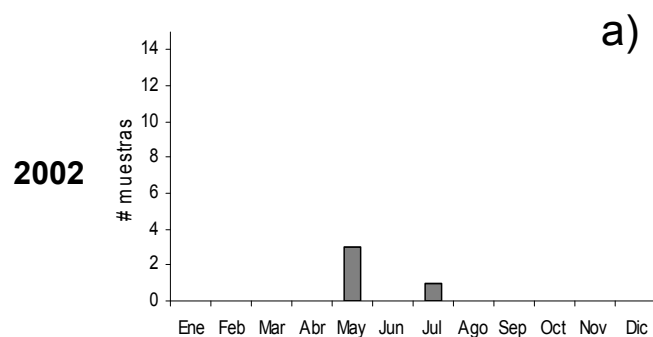


Figura 3 - Número total de muestras de músculo de *M. thurstoni* y *M. japonica*, tomadas en: a y b) 2002, c y d) 2004, e y f) 2006, g) 2007, para el análisis de isótopos estables en el suroeste del Golfo de California, BCS.

En la figura 4 se presentan los promedios anuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para *M. thurstoni* y *M. japonica* en 2002, 2004 y 2006 (se incluyen los datos de enero 2007 en el promedio anual de *M. thurstoni* 2006 para mayor simplicidad). Los datos tuvieron distribución normal solamente en 2006 para *M. thurstoni* y en 2002 para *M. japonica* (Kolgomorov-Smirnov, $p < 0.05$), por lo tanto se aplicó el estadístico de U de Mann-Whitney para comparar los valores entre las dos especies para cada año. Se encontró una diferencia significativa entre las dos especies en 2004, tanto para el $\delta^{15}\text{N}$ como para el $\delta^{13}\text{C}$ (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$).

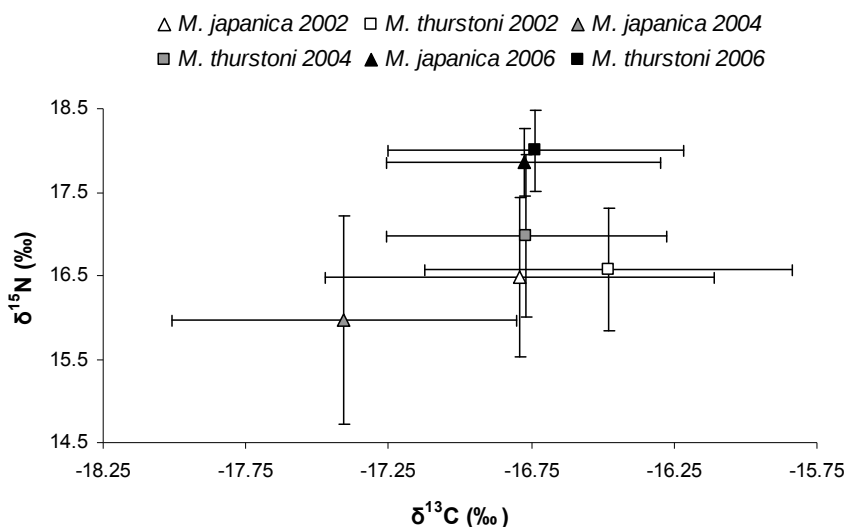


Figura 4 - Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ promedio para músculo de *M. thurstoni* y *M. japonica* en 2002, 2004 y 2006 en el suroeste del Golfo de California. Barras de error equivalen a una desviación estándar.

En particular, la prueba de Kruskal-Wallis aplicada a los promedios de los valores isotópicos para comparar entre *M. thurstoni* y *M. japonica* mostró una diferencia significativa entre 2002 y 2006, y entre 2004 y 2006 para el $\delta^{15}\text{N}$ (Tukey HSD, $p < 0.01$), y se encontró una diferencia significativa para el $\delta^{13}\text{C}$ (Kruskal-Wallis, $p < 0.02$) entre 2002 y 2004 (Tukey HSD, $p < 0.01$).

9.3 Valores isotópicos del zooplancton

Se realizaron un total de 11 arrastres de marzo a noviembre 2006, tanto diurnos como nocturnos. Para los meses de abril (arrastre diurno) y julio no se realizaron los arrastres por causa de vientos fuertes que no permitieron la salida de la embarcación. En la tabla 5 se presenta la periodicidad de los arrastres, así como los grupos de zooplancton obtenidos para los cuales el tamaño de muestra fue lo suficientemente abundante para permitir el análisis de isótopos estables.

Tabla 5 - Periodicidad en la colecta de muestras de zooplancton de marzo a septiembre de 2006 y presencia de grupos del zooplancton para análisis de isótopos estables.

Q= Quetognatos; H= Herbívoros; C= Carnívoros; D= Decápodos; M= Mysidáceos.

Fecha	Tipo de arrastre	Hora	<i>N. simplex</i>	Q	H	C	D	M
24-Mar-06	Nocturno	20:40	X		X	X		
25-Mar-06	Diurno	10:15	X	X	X	X	X	
28-Abr-06	Nocturno	22:44	X	X	X	X	X	
26-May-06	Nocturno	22:47	X	X	X	X	X	
26-May-06	Diurno	17:20		X		X		
27-Jun-06	Nocturno	23:05	X	X	X	X	X	
27-Jun-06	Diurno	14:16						
3-Ago-06	Nocturno	22:56		X		X	X	X
4-Ago-06	Diurno	10:40		X		X		
19-Sep-06	Nocturno	22:58	X	X	X		X	
19-Sep-06	Diurno	14:39				X	X	
1-Nov-06	Diurno	14:29		X		X		
1-Nov-06	Nocturno	22:30	X	X	X	X	X	

Se obtuvieron muestras suficientes de *N. simplex* en todos los arrastres nocturnos excepto para el realizado el 3 de agosto del 2006. Esto podría ser debido a que en esa ocasión se registró luna llena; la luminosidad fue mayor que de costumbre y es posible que *N. simplex* no haya realizado una migración vertical hasta la superficie, donde pudiera ser colectado. Este arrastre fue el único en el que se obtuvieron mysidáceos. Se obtuvo una sola muestra diurna de *N. simplex* en el mes de marzo. El número de grupos zooplanctónicos identificados en cada mes se presenta en la tabla 6. Los géneros de copépodos que se tomaron como representativos de organismos carnívoros fueron *Euchaeta* spp., *Candacia* spp. y *Labidocera* spp.

(Raymont, 1983; Schmidt *et al.*, 2003). Los géneros representativos de herbívoros fueron los copépodos *Acrocalanus* spp. y las larvas calyptopis de *N. simplex* (Yen, 1985; Boxshall, 1981).

Tabla 6 – Número de grupos zooplanctónicos obtenidos para análisis isotópico en los arrastres mensuales realizados en el suroeste del Golfo de California en 2006.

Mes	Tipo de arrastre	Número de grupos analizados
Marzo	Diurno	5
	Nocturno	3
Abril	Nocturno	5
Mayo	Diurno	2
	Nocturno	5
Junio	Diurno	0
	Nocturno	5
Agosto	Diurno	2
	Nocturno	4
Septiembre	Diurno	2
	Nocturno	4
Noviembre	Diurno	2
	Nocturno	5

No se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos entre arrastres diurnos y nocturnos (U de Mann-Whitney, $p > 0.05$), por lo tanto se analizaron juntos los datos diurnos y nocturnos para cada grupo. En la tabla 7 se presentan los promedios anuales en los valores de isótopos estables para el zooplancton colectado en 2006.

Tabla 7 – Promedios anuales y desviación estándar (D.S.) de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para el zooplancton colectado en el suroeste del Golfo de California en 2006.

	$\delta^{15}\text{N}$	D.S.	$\delta^{13}\text{C}$	D.S.
<i>N. simplex</i>	14.75	0.84	-18.25	0.61
Herbívoros	12.99	1.15	-19.20	1.01
Carnívoros	14.13	1.02	-19.07	0.54
Quetognatos	13.81	1.33	-18.08	1.11
Decápodos	13.57	1.69	-17.03	1.02
Mysidáceos	14.37		-17.68	

En la figura 5 se presentan los promedios anuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para *M. thurstoni*, *M. japonica* y los grupos de zooplancton analizados en 2006. Los valores isotópicos de las mobulas, tanto para $\delta^{15}\text{N}$ como para $\delta^{13}\text{C}$ estuvieron más enriquecidos que los del zooplancton. Asimismo, la desviación estándar tanto para el $\delta^{15}\text{N}$ como para el $\delta^{13}\text{C}$ en mobulas fue significativamente menor a la observada en el zooplancton (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$). La variabilidad isotópica por lo tanto parece ser mucho mayor en el zooplancton.

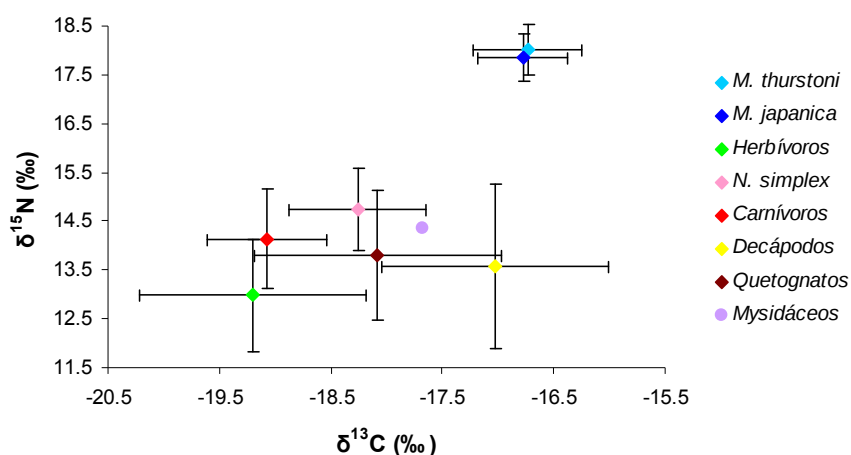


Figura 5 - Promedios anuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para *M. thurstoni*, *M. japonica* y grupos de zooplancton en 2006 en el suroeste del Golfo de California. Las barras de error equivalen a una desviación estándar.

En la tabla 8 se presenta la diferencia promedio ($\Delta\delta^{15}\text{N}$ y $\Delta\delta^{13}\text{C}$) entre los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de mobulas y zooplancton. Se registró un $\Delta\delta^{15}\text{N}$ entre *M. thurstoni* y *N. simplex* de 3.25‰, y entre *M. japonica* y *N. simplex* de 3.10‰. El $\Delta\delta^{13}\text{C}$ fue igual a 1.52‰ entre *M. thurstoni* y *N. simplex*, y a 1.48‰ entre *M. japonica* y *N. simplex*. Comparando entre *N. simplex* y los herbívoros se encontró un $\Delta\delta^{15}\text{N}$ igual a 1.77‰ y un $\Delta\delta^{13}\text{C}$ igual a 0.95‰.

Tabla 8 – Fraccionamiento isotópico entre mobulas y grupos del zooplancton determinados para 2006

	$\Delta\delta^{15}\text{N}$	$\Delta\delta^{13}\text{C}$
<i>M. thurstoni</i> - <i>N. simplex</i>	3.25	1.52
<i>M. thurstoni</i> - Carnívoros	3.87	2.34
<i>M. thurstoni</i> - Quetognatos	4.19	1.34
<i>M. thurstoni</i> - Decápodos	4.43	0.29
<i>M. japonica</i> - <i>N. simplex</i>	3.10	1.48
<i>M. japonica</i> - Carnívoros	3.72	2.30
<i>M. japonica</i> - Quetognatos	4.04	1.30
<i>M. japonica</i> - Decápodos	4.29	0.25
<i>N. simplex</i> - Herbívoros	1.77	0.95

En la figura 5 se observa también que en general, el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ y $\Delta\delta^{13}\text{C}$ obtenidos entre los carnívoros, quetognatos y decápodos y las mobulas son mayores a los obtenidos entre *N. simplex* y mobulas ($\Delta\delta^{15}\text{N}$: 3.79‰ para quetognatos y 3.64‰ para decápodos; $\Delta\delta^{13}\text{C}$: 2.35‰ para carnívoros y 1.55‰ para quetognatos).

En la figura 6 se presenta esquemáticamente la relación trófica entre los diferentes grupos del zooplancton y las mobulas. Los herbívoros (*Acrocalanus* spp. y calyptopis de *N. simplex*) se ubicaron en la posición más baja en cuanto al $\delta^{15}\text{N}$, confirmando que son los consumidores primarios y por lo tanto cercanos a la base de la cadena trófica. Por encima de los herbívoros se encontraron los carnívoros (*Euchaeta* spp., *Labidocera* spp. y *Candacia* spp.). Los decápodos, al ser omnívoros, tomaron una posición intermedia entre los herbívoros y los carnívoros. Los quetognatos son carnívoros (Álvarez-Cadena, 1992), y se ubicaron en la gráfica aproximadamente al mismo nivel de $\delta^{15}\text{N}$ que los copépodos carnívoros, así como de los adultos de *N. simplex*.

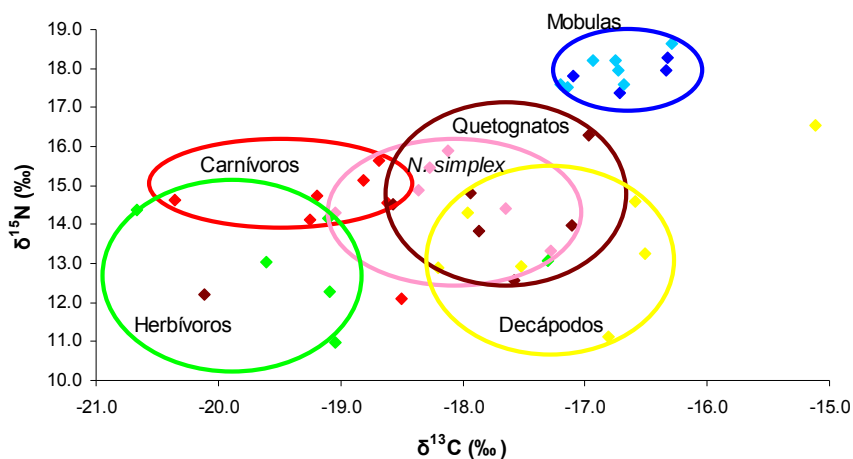


Figura 6 - Valores mensuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para mobulas y zooplancton durante 2006 en el suroeste del Golfo de California. $\blacklozenge$: mobulas; $\blacklozenge$: *N. simplex*; $\blacklozenge$: carnívoros; $\blacklozenge$: herbívoros; $\blacklozenge$: decápodos; $\blacklozenge$: quetognatos.

Utilizando la ecuación propuesta por Vander Zanden y Rasmussen (2001) se calculó la posición trófica de *M. thurstoni*, *M. japanica* y *N. simplex* para el año 2006 (tabla 9). Al utilizar esta ecuación se asumió un fraccionamiento del $\delta^{15}\text{N}$ ($\Delta\delta^{15}\text{N}$) de 3.4‰, ya que no se tiene información sobre el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ entre todos los niveles tróficos del área. En el presente estudio sólo se determinó el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ entre mobulas y *N. simplex*, pero no se puede utilizar este valor en la ecuación ya que para calcular posiciones tróficas se necesita saber el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ promedio entre todos los niveles de la red trófica. Hay que tener en cuenta que aunque se calculó el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ entre *N. simplex* y zooplancton herbívoro, éste no representa un nivel trófico ya que *N. simplex* es un omnívoro y se alimenta a varios niveles de la cadena trófica. Por lo tanto se decidió utilizar el valor de 3.4‰, el cual ya ha sido utilizado en varios estudios para calcular posiciones tróficas (Vander Zanden *et al.*, 1997; Post, 2002; Estrada *et al.*, 2003).

Tabla 9 – Posiciones tróficas calculadas por medio de análisis isotópico para *M. japanica*, *M. thurstoni* y *N. simplex* en 2006

Especie	Posición trófica
<i>M. japanica</i>	3.48
<i>M. thurstoni</i>	3.43
<i>N. simplex</i>	2.52

9.4 Variación de la señal isotópica

En la figura 7 se presenta la variación mensual en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para *M. thurstoni* y *M. japonica* para 2004 y 2006 solamente, ya que para el 2002 no se contó con datos de suficientes meses en los cuales pudiera deducirse un patrón de variación. Se nota que para ambas especies se presenta un patrón de variación similar en 2004 y 2006. Para *M. thurstoni* hay un aumento en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de mayo a junio, una disminución hasta agosto, y un aumento hacia los meses de septiembre y octubre. No se tomaron en cuenta los valores obtenidos para *M. thurstoni* en febrero y marzo, ya que corresponden a un único animal por mes y por lo tanto no parecen ser representativos de la población. Para *M. japonica* se observa un aumento en $\delta^{15}\text{N}$ de mayo a julio para 2004 y de junio a julio para 2006, y una posterior disminución para el mes de agosto en ambos años.

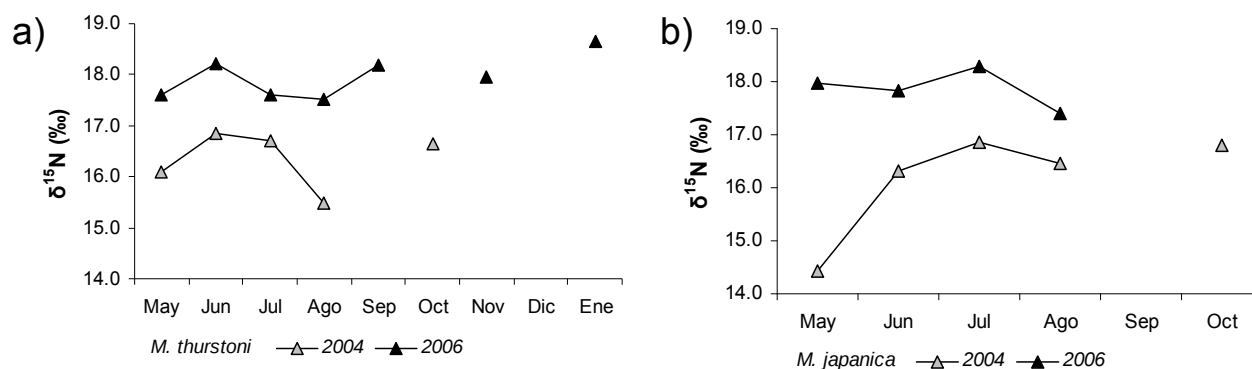


Figura 7 – Variación mensual de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para a) *M. thurstoni* y b) *M. japonica* en 2004 y 2006 en el suroeste del Golfo de California.

En la figura 8 se presentan los valores mensuales de $\delta^{13}\text{C}$ para *M. thurstoni* y *M. japonica* en 2004 y 2006. Para *M. thurstoni* se observó una disminución de mayo a julio (en 2004 se presentó un ligero aumento en junio) y un posterior aumento hasta octubre-enero. Para *M. japonica* en estos dos años el $\delta^{13}\text{C}$ presentó variaciones mensuales con valores altos en los meses de mayo y julio y con valores relativamente bajos en junio, agosto y octubre.

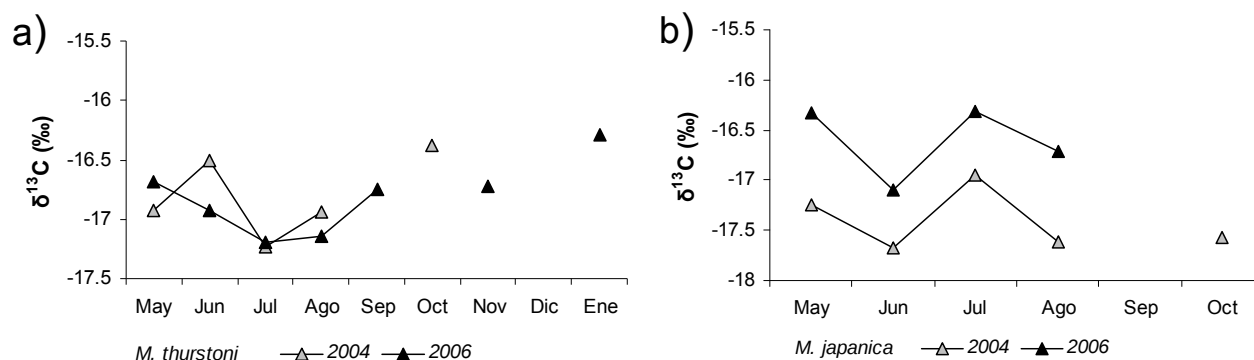


Figura 8 - Variación mensual de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para a) *M. thurstoni* y b) *M. japonica* en 2004 y 2006 en el suroeste del Golfo de California.

En la figura 9 se presenta la variación mensual en $\delta^{15}\text{N}$ del promedio de todos los grupos del zooplancton analizados durante 2006. Se observó un pico en abril y una posterior disminución hasta noviembre, con un pequeño aumento en septiembre.

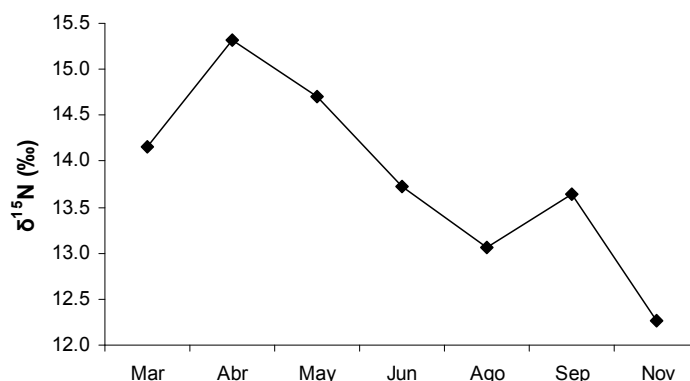


Figura 9 – Variación mensual en los valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ para el zooplancton del suroeste del Golfo de California en 2006.

En la figura 10 se presenta la variación mensual promedio en $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton en 2006. En este caso se observan valores bajos al inicio del muestreo, en marzo, así como en junio y agosto. En abril y septiembre-noviembre se presentan valores más altos.

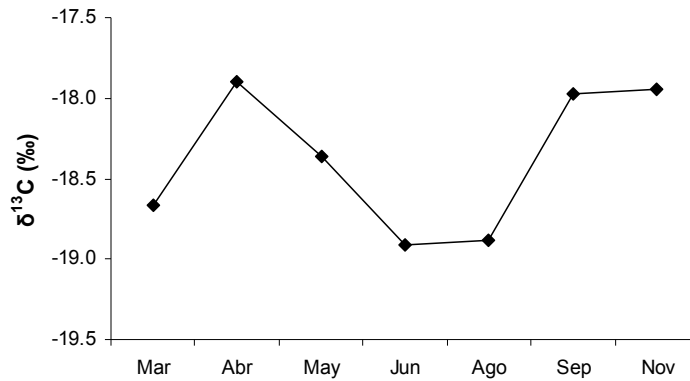


Figura 10 – Variación mensual en los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ para el zooplancton del suroeste del Golfo de California en 2006.

Comparando la variación mensual en $\delta^{15}\text{N}$ para las mobulas y *N. simplex* (Fig. 11) se observa que el patrón de variación de *N. simplex* se refleja en el patrón observado en las mobulas, pero con un cierto tiempo de retraso (patrón de variación indicado por flechas en la figura). El pico que se observa en abril en *N. simplex* se observa en junio en *M. thurstoni* y en julio en *M. japonica*. El aumento de septiembre a noviembre que se observa en *N. simplex* se refleja también en *M. thurstoni* de noviembre a enero 2007, pero no se alcanza a observar este mismo patrón en *M. japonica* debido a la falta de datos de la especie para estos meses. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y el patrón de variación mensual registrado sugieren que *M. thurstoni* presenta un retraso de uno a dos meses con respecto a *N. simplex*, y *M. japonica* posiblemente presenta un retraso de tres meses.

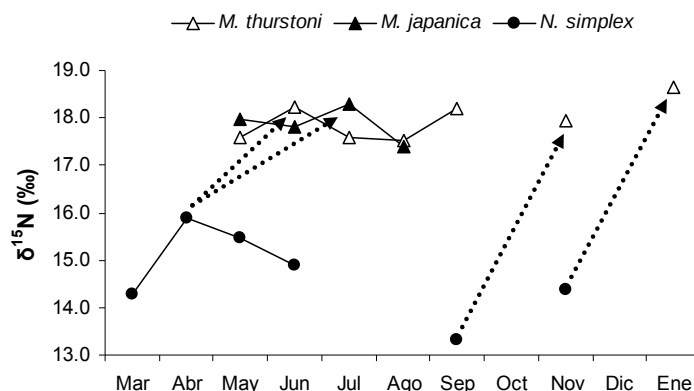


Figura 11 – Variación mensual en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ para mobulas y *N. simplex* en 2006. Las flechas punteadas indican la transmisión de la señal isotópica de *N. simplex* a las mobulas.

En la figura 12 se presentan los valores mensuales de $\delta^{13}\text{C}$ para mobulas y *N. simplex* en 2006. En este caso el patrón de variación de *N. simplex* se presenta con un mes de retraso en *M. thurstoni* y con tres meses de retraso en *M. japonica*. La disminución que se da de abril a junio en *N. simplex* se presenta de mayo a julio en *M. thurstoni*, y de julio a agosto para *M. japonica*.

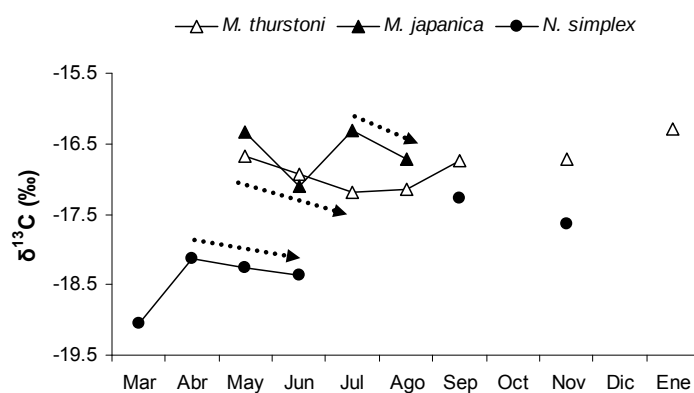


Figura 12 – Variación mensual en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para mobulas y *N. simplex* en 2006. Las flechas indican la tendencia de cambio isotópico de *N. simplex* que se ve reflejada en las mobulas.

9.5 Utilización del área de estudio

Basados en los resultados isotópicos se puede establecer que *M. thurstoni* y *M. japonica* se alimentaron en el área de estudio en la primavera y verano de 2006. *M. thurstoni* se alimentó en el área de estudio probablemente desde marzo hasta enero, y *M. japonica* empezó a alimentarse en el área de estudio a partir de marzo y permaneció hasta agosto. Al no tener datos isotópicos para el *N. simplex* para los meses de invierno (noviembre a marzo), no se puede concluir con certeza si la señal isotópica de *M. japonica* refleja la señal de otra área o si pertenece al área de estudio.

9.6 Imágenes satelitales

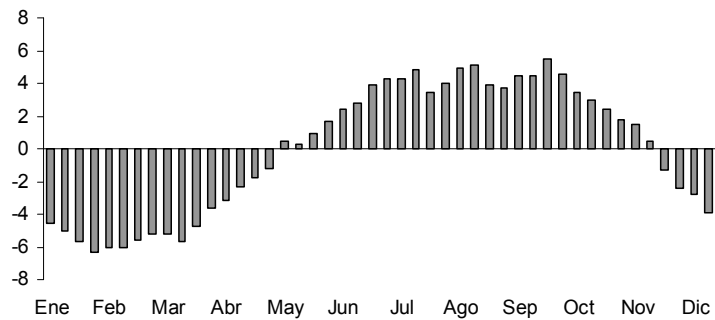
Las imágenes satelitales del área de estudio de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila-a (Clo. a) para el 2006 (enero a diciembre), se incluyen en el apéndice. En la tabla 10 se presentan los promedios mensuales de temperatura y concentración de clorofila a de enero a diciembre 2006. Las temperaturas más bajas se observaron de enero a marzo, y las más altas en julio y agosto. Las menores concentraciones de clorofila-a se observaron en octubre y noviembre y las mayores concentraciones se observaron en marzo.

A partir de los datos satelitales se calcularon las anomalías semanales de temperatura y concentración de clorofila a para el año 2006 (Fig. 13). Se pudo observar el cambio de temperatura a lo largo del año, con valores bajos de enero a abril y temperaturas altas entre julio y octubre. En cuanto a las concentraciones de clorofila a, la figura 13 permitió observar los valores más altos al principio del año, entre enero y marzo, así como valores bajos entre abril y diciembre.

Tabla 10 – Valores mensuales de temperatura y concentración de clorofila a en el área de estudio para 2006

	Promedio mensual	
	Temperatura (°C)	Clo. a (mg.m ⁻³)
Enero	20.77	1.692
Febrero	19.84	1.998
Marzo	20.65	3.718
Abril	23.11	0.922
Mayo	25.96	0.643
Junio	28.14	0.422
Julio	30.21	0.324
Agosto	30.21	0.392
Septiembre	29.99	0.551
Octubre	29.98	0.254
Noviembre	27.74	0.321
Diciembre	23.87	0.793

Anomalías semanales de temperatura (°C)



Anomalías semanales Clo. a (mg/m³)

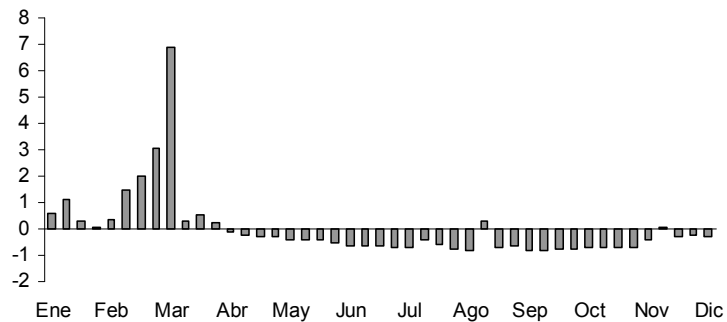


Figura 13 – Anomalías semanales de temperatura y concentración de clorofila a en el área de estudio para el año 2006.

10. Discusión

El uso de isótopos estables permite inferir la dieta de los animales durante un período de tiempo que depende del tejido analizado, mientras que el análisis estomacal muestra el alimento ingerido en las últimas horas (Rau *et al.*, 1983). El análisis isotópico permite evitar los inconvenientes presentados por el análisis estomacal, ya que la rapidez con que son digeridos los alimentos no afecta los resultados (Post, 2002). Asimismo, permite determinar la posición de los animales dentro de las redes tróficas, tomando en cuenta todos los aportes de energía que llegan a un determinado nivel (Vander Zanden & Rasmussen, 1999).

En los estudios realizados anteriormente sobre las mobulas del Golfo de California las desventajas del análisis estomacal fueron evidentes (Notrabartolo-di-Sciara, 1988), por lo que para el presente estudio se decidió determinar por medio de análisis isotópico la dieta de dos de estas especies. Este método nos permitió además inferir los movimientos y permanencia de las mobulas en el área de estudio. Asimismo, al tomar muestras a lo largo de varios meses se pudo tomar en cuenta la variabilidad temporal en la señal isotópica de las presas.

El efecto del método de preservación de etanol sobre los valores isotópicos del músculo de las mobulas fue poco notable, mientras que para el zooplancton fue más marcado (tablas 1 y 2). El factor de corrección calculado permitió estandarizar los valores del zooplancton y de esta manera se pudo comparar entre los valores del zooplancton y de las mobulas. Cabe señalar que todas las muestras (músculo de mobulas y zooplancton) estuvieron preservadas en etanol un máximo de 10 días antes de ser procesadas y es probable que el efecto del método de preservación hubiera sido mayor con el tiempo (Kaehler & Pakhomov, 2001).

Leggett (1998) observó un efecto mínimo del etanol sobre el $\delta^{15}\text{N}$ de un mysidáceo, *Mysis relicta*; mientras que para el $\delta^{13}\text{C}$ el efecto del etanol fue equivalente a una extracción de los lípidos. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos por Leggett para muestras

preservadas en etanol fueron muy similares a los obtenidos al someter las muestras a una extracción de lípidos tradicional (método sohxlet) y esto fue corroborado por medio del cálculo de la razón C:N (Legget, 1998). Hay que mencionar que una extracción tradicional de lípidos afecta los valores $\delta^{15}\text{N}$, por lo cual en el presente estudio fue posible corregir los valores alterados por el efecto del etanol debido a que se tenían muestras congeladas y preservadas en etanol del mismo organismo para su comparación.

En 2004 los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de *M. japonica* fueron significativamente más negativos (promedio de -17.51‰) que los de *M. thurstoni* (promedio de -16.77‰), y los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de esta última especie fueron significativamente más altos (promedios de 16.97‰ y 16.34‰ para *M. thurstoni* y *M. japonica* respectivamente). Esto podría ser debido a que durante 2004 *M. japonica* se alimentó en una zona más oceánica que *M. thurstoni*, ya que la diferencia en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se presentó en todos los meses muestreados. La diferencia significativa encontrada para el $\delta^{13}\text{C}$ entre 2002 y 2004 para *M. japonica* confirma lo encontrado al comparar entre especies. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ generalmente están correlacionados, de tal forma que al aumentar un isótopo, aumenta el otro isótopo y viceversa (Goering *et al.*, 1990). Si se considera que *M. japonica* se alimentó en una zona más oceánica durante 2004 es entendible que también presente valores de $\delta^{15}\text{N}$ más bajos ya que estas zonas por lo general están basadas en producción regenerada, en la cual los valores de $\delta^{15}\text{N}$ son más bajos (Mullin *et al.*, 1984). Es posible que el comportamiento de *M. japonica* en 2004 sea diferente al habitual; sin embargo debido a que sólo se tienen 3 años muestreados, no se puede concluir sobre el comportamiento trófico general de esta especie.

En *M. thurstoni* no hubo diferencia significativa en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre los tres años analizados, lo cual indicaría que los individuos de esta especie se alimentaron en la misma zona en todos los años muestreados. La diferencia en $\delta^{15}\text{N}$ entre 2006 y los otros dos años analizados podría explicarse por un cambio de alimentación y consecuentemente de nivel trófico, o por un cambio en la base de la cadena trófica

que se vería reflejado en el músculo de las mobulas. Este tipo de cambios en la base de la cadena trófica que alteran la señal isotópica en niveles más altos ha sido observado en otros ecosistemas, como en el Antártico (Pakhomov *et al.*, 2004) y la costa de California (Rau *et al.*, 2003). Estos últimos autores mencionan la influencia de masas de agua con diferente señal de $\delta^{15}\text{N}$, la cual se vio reflejada en la señal del zooplancton en las costas de California. Para el Golfo de California Altabet *et al.* (1999) encontraron una disminución en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en el sedimento durante el verano en las cuencas de Guaymas y del Carmen, proponiendo la entrada de aguas deficientes en ^{15}N provenientes del Océano Pacífico como explicación. Para la Bahía de La Paz, también se ha observado un cambio en la señal de $\delta^{15}\text{N}$ del sedimento en ciertas épocas del año, asociado a la advección de aguas más profundas con diferente salinidad así como a un cambio en la concentración de nitratos y temperatura (Aguíñiga *et al.*, 2007).

En el trabajo de Jaume-Schinkel (2004), se encontró un valor de $\delta^{15}\text{N}$ de 12.63‰ para *N. simplex* en el área de Bahía de La Paz para 2001. Este valor es menor al encontrado en el presente estudio (14.75‰) y apoya también la hipótesis de un cambio en la base de la cadena trófica que se presenta en todos los niveles tróficos, y explica los valores aproximadamente 1.4‰ más altos de $\delta^{15}\text{N}$ observados en las mobulas durante 2006.

Al no haberse encontrado diferencias en la señal isotópica entre individuos pequeños (<130cm) y grandes de *M. thurstoni*, no se pudo corroborar lo encontrado por Notarbartolo-di-Sciara (1988), quien había notado la presencia de mysidáceos en el estómago de individuos pequeños de esta especie en invierno. En el presente estudio sólo se obtuvieron cinco muestras de *M. thurstoni* durante los meses de invierno, y es posible que de haber contado con un número de muestra más amplio sí se habrían encontrado diferencias alimenticias entre estaciones.

La variabilidad en la señal isotópica del zooplancton fue mucho mayor a la variabilidad observada en las mobulas. Esto puede ser debido a que las señales

isotópicas de los productores primarios son mucho más cambiantes que las de los demás niveles de la cadena trófica, ya que experimentan cambios frecuentes en las fuentes y concentraciones de nutrientes (O'Reilly *et al.*, 2002). Estos cambios en el fitoplancton se ven reflejados más rápidamente en el zooplancton que en las mobulas, al estar el zooplancton compuesto de organismos pequeños, con metabolismo y crecimiento más rápidos que el presentado por las mobulas, y por lo tanto, con un tiempo de recambio de tejido mucho menor (Hesslein *et al.*, 1993; MacNeil *et al.*, 2006).

Se ha determinado que los valores isotópicos del plancton reflejan condiciones ambientales más recientes que el músculo de peces, los cuales tienen vidas más largas y tasas de recambio más lentas (Sholto-Douglas *et al.*, 1991). Thomas & Cahoon (1993) encontraron que la variabilidad estacional de $\delta^{13}\text{C}$ que se da en las diatomeas no se observó en el músculo de peces piscívoros, al tener este tejido un tiempo de recambio más largo que el de las diatomeas. Para que un animal logre estar en equilibrio isotópico con una dieta nueva tiene que reemplazar todo el carbono y nitrógeno de su cuerpo después del cambio de dieta, o aumentar su tamaño (Frazer *et al.*, 1997; Schmidt *et al.*, 2003) y según MacNeil *et al.* (2006) el músculo de la raya de río *Potamotrygon motoro* requiere de más de un año para que se observe la señal isotópica de una dieta más enriquecida en $\delta^{15}\text{N}$ en el músculo de la raya.

El $\Delta\delta^{15}\text{N}$ y $\Delta\delta^{13}\text{C}$ observados entre las mobulas y *N. simplex* ($\Delta\delta^{15}\text{N}$: 3.25‰ y 3.10‰ para *M. thurstoni* y *M. japonica* respectivamente; $\Delta\delta^{13}\text{C}$: 1.52‰ y 1.48‰ para *M. thurstoni* y *M. japonica* respectivamente) están comprendidos dentro del intervalo de valores reportado en otros estudios de hasta 3.3 ± 0.26 ‰ para el $\delta^{15}\text{N}$ y 1.3 ± 0.3 ‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ (Vander Zanden & Rasmussen, 2001; Post, 2002; McCutchan *et al.*, 2003). El $\Delta\delta^{13}\text{C}$ calculado entre mobulas y zooplancton carnívoro (2.34‰ y 2.30‰ para *M. thurstoni* y *M. japonica* respectivamente) está fuera del intervalo de valores encontrados en otros estudios, y descarta a este grupo como posible alimento de las mobulas. Se presenta un $\Delta\delta^{13}\text{C}$ con los quetognatos y decápodos más bajo (1.32‰ y

0.27‰ respectivamente), lo cual podría indicar una relación depredador-presa con las mobulas; sin embargo el $\Delta\delta^{15}\text{N}$ es mucho mayor al observado entre mobulas y *N. simplex* (4.11‰ y 4.35‰ para quetognatos y decápodos respectivamente), lo cual nos permite eliminarlos como presa probable. Adicionalmente se obtuvo el contenido estomacal de dos individuos de *M. japonica* y tres de *M. thurstoni* en los que sólo se encontraron restos de *N. simplex*, lo cual confirmaría que ésta fue la presa principal de *M. thurstoni* y *M. japonica* en 2006. Cabe resaltar que sólo dos estómagos contenían más del 10% de contenido estomacal (estimado visualmente).

N. simplex presentó valores de $\delta^{15}\text{N}$ un poco mayores que los otros grupos del zooplancton. Se ha visto que el eufáusido *Euphausia pacifica* consume nieve marina (agregados de detritus orgánico) (Dilling & Brzezinski, 2004) y es probable que *N. simplex* también presente este tipo de alimentación. Al consumir nieve marina estaría ingiriendo material orgánico reciclado, y esto resultaría en un valor de $\delta^{15}\text{N}$ más alto. Su alimentación omnívora le permitiría también un acceso a consumidores primarios y secundarios de tallas pequeñas (De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002), y esto le permitiría tener valores de $\delta^{15}\text{N}$ equivalentes a los grupos carnívoros (quetognatos y copépodos carnívoros). En noviembre, el eufáusido *N. simplex* presenta un $\delta^{15}\text{N}$ mayor que los demás grupos, lo cual podría explicarse por un posible cambio a una alimentación más carnívora cuando disminuye la disponibilidad de otras presas, lo cual se ha visto en otros eufáusidos (Dalley & McClatchie, 1989). La posición trófica de las mobulas en términos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en la figura 6 concuerda con una alimentación principalmente basada en *N. simplex*.

Las posiciones tróficas calculadas por medio de la ecuación de Vander Zanden y Rasmussen (2001) son comparables a las encontradas en otros estudios que utilizaron la misma ecuación. Por ejemplo Estrada *et al.* (2003) calcularon por medio de análisis isotópico una posición trófica de 3.2 para el tiburón filtrador *Cetorhinus maximus*. Este tiburón se alimenta principalmente de copépodos (Sims *et al.*, 2005) y por lo tanto su nivel trófico es similar al de las mobulas (posición de 3.48 para *M. thurstoni* y 3.43 para *M. japonica* calculadas en este estudio). La posición trófica

calculada por medio de análisis isotópico para *N. simplex* fue de 2.52; similar a la posición trófica de ~2.4 encontrada para *N. simplex* en las costas de Oregon, E.U.A. por medio de análisis estomacal (Brodeur & Pearcy, 1992). Jaume-Schinkel (2004) encontró por medio de análisis isotópico una posición de 2.7 para *N. simplex* y de 3.6 para su depredador, el rorcual común *Balaenoptera physalus* en el área de la Bahía de La Paz – Loreto para 2001.

Las posiciones tróficas evaluadas visualmente por medio de una gráfica de los valores mensuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ para mobulas y zooplancton (Fig. 6) también concuerdan con lo reportado por la literatura (Boxshall, 1981; Raymont, 1983; Yen, 1985; Álvarez-Cadena, 1992; Schmidt *et al.*, 2003). Se obtuvo una muestra de mysidáceos para el mes de agosto solamente. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de este grupo parecen ser similares a los de *N. simplex*, sin embargo al no tener datos de otros meses no se puede concluir sobre la posición de los mysidáceos en la cadena trófica del área.

En 2004 y 2006 se presentó un patrón de variación similar en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en las mobulas. Al no tener suficientes meses representados para el 2002 no se puede saber si este patrón de variación fue similar en ese año. Los datos indican que las mobulas presentaron el mismo comportamiento alimentario en 2004 y 2006. Además, a pesar de que en 2006 los valores de $\delta^{15}\text{N}$ fueron mayores a los otros años, al observarse un patrón de variación isotópica similar en el músculo de las mobulas, se confirmaría la hipótesis de que el cambio en $\delta^{15}\text{N}$ en *M. thurstoni* fue debido a un cambio en la base de la cadena trófica y no debido a un cambio en el patrón de alimentación de las mobulas. La diferencia en el patrón de variación del $\delta^{13}\text{C}$ entre las dos especies de mobula indica que utilizan diferentes áreas de alimentación por lo menos una parte del año. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que no se pudo obtener datos de todo el año, y que para los meses representados en la mayoría de los casos se cuenta con pocas muestras, así que estas inferencias deberían ser corroboradas.

A partir de los datos isotópicos se puede inferir que *M. japonica* y *M. thurstoni* iniciaron su alimentación en el área de estudio probablemente desde marzo. No se hicieron arrastres de plancton previos a marzo, por lo que no se podría concluir sobre la presencia de *M. thurstoni* en la zona de estudio antes de esta fecha para 2006. Sin embargo con los datos obtenidos se conoce que las capturas de *M. japonica* en el área de estudio suceden en su mayoría de mayo a julio, y las de *M. thurstoni* de enero hasta noviembre, siendo abundantes en octubre. Se conoce también que algunos individuos de *M. japonica* marcados con marcas satelitales cerca de El Paredón se desplazaron en un período de 2 a 6 meses hasta Bahía Magdalena en la costa occidental de la Península de Baja California, y otros individuos se desplazaron hasta las Islas Revillagigedo en el Pacífico Mexicano (D. Croll, 2007. Universidad de California, Santa Cruz, E.U.A., com. pers.). *M. japonica* parecería ser entonces una especie migratoria que llega al área de estudio en primavera y se desplaza hacia otros lugares en otoño; mientras que *M. thurstoni* permanece en el área de estudio todo el año.

Otro punto que apoya esta hipótesis es el desfase que se presenta entre la señal isotópica de *N. simplex* y las mobulas. Este tiempo de desfase es menor en *M. thurstoni* (1-2 meses) que en *M. japonica* (3 meses), y esto podría ser debido a que *M. thurstoni*, al estar presente en el área de estudio todo el año, está acoplada a los cambios isotópicos del zooplancton y los refleja más rápidamente, mientras que *M. japonica* se alimenta parte del año en otra área y su tejido muscular necesita más tiempo para reflejar la señal isotópica del área de estudio (Harvey *et al.*, 2002; MacNeil *et al.*, 2006). Por lo tanto, el suroeste del Golfo de California sería un área de alimentación estacional para *M. japonica*. Es posible que *M. thurstoni* permanezca alimentándose en la zona todo el año pero para poder determinarlo se necesitaría tener muestras de mobulas y de zooplancton durante todo el año.

N. simplex es el eufáusido más abundante del Golfo de California durante todo el año (Brinton & Townsend, 1980; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2007), por lo que puede suponerse que hay suficiente alimento para las mobulas a lo largo del año.

Notarbartolo-di-Sciara (1988) encontró que *M. thurstoni* se alimentó también de mysidáceos, aunque esta presa constituyó solamente el 11% de las presas consumidas, y nunca se encontró en el mismo estómago junto con *N. simplex*. Esto podría indicar que las mobulas que consumieron mysidáceos se alimentaron en un área donde no había *N. simplex*, tal vez en una zona bentónica. Si, como se encontró en este estudio, *M. thurstoni* permanece en el área todo el año, podría alimentarse exclusivamente de *N. simplex*, ya que esta especie parece encontrarse en suficiente abundancia tanto en invierno como en verano (Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2007). Los hábitos migratorios de *M. japonica* no serían debidos entonces a la falta de alimento al finalizar el verano como lo supuso Notarbartolo-di-Sciara (1988), sino más bien a su comportamiento reproductivo. Esta especie estaría utilizando el área de estudio como zona de apareamiento y expulsión de crías (Serrano-López, 2007) y adicionalmente de alimentación, pero éste último no sería el objetivo principal de su utilización del área.

En zonas costeras y de surgencia la producción nueva se basa en nitrato (NO_3^-) como fuente de compuestos nitrogenados; mientras que en zonas de producción regenerada se basa en amonio (NH_4^+) (Wu *et al.*, 1997). Se sabe que para zonas de surgencia, conforme aumenta la concentración de NO_3^- disponible, los valores de $\delta^{15}\text{N}$ disminuyen, ya que el fitoplancton puede discriminar en contra del ^{15}N y utilizar el isótopo más ligero (^{14}N). Cuando no hay surgencias, y al haber menor disponibilidad de nutrientes en la capa fótica, todo el nitrato disponible es utilizado (^{14}N y ^{15}N); por lo tanto el $\delta^{15}\text{N}$ del fitoplancton aumenta y consecuentemente aumenta el $\delta^{15}\text{N}$ de toda la cadena trófica (Wu *et al.*, 1997; Sherwood & Rose, 2005). En zonas oligotróficas basadas en producción regenerada (con NH_4^+ como fuente de nitrógeno), los valores de $\delta^{15}\text{N}$ son más bajos que en las zonas costeras y de surgencia (Mullin *et al.*, 1984; Goering *et al.*, 1990; Wu *et al.*, 1997; Bode & Alvarez-Ossorio, 2004).

Los datos isotópicos promedio obtenidos en el presente estudio para el zooplancton muestran un patrón de variación con valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ al inicio del muestreo

en marzo, un aumento en abril, y posterior disminución hasta noviembre. En el área de estudio se presenta advección de aguas profundas en invierno causada por los vientos del noroeste (Thunnel *et al.*, 1996), y es posible que los valores bajos de $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos en marzo reflejen producción basada en nitratos, cuando las concentraciones de NO_3^- en la zona fótica eran todavía altas. El valor más alto obtenido en abril podría estar reflejando una menor concentración de NO_3^- en la zona fótica, causando menor discriminación del fitoplancton en contra del ^{15}N . Los valores progresivamente más bajos entre mayo y noviembre podrían reflejar el paso de una cadena basada en producción nueva (NO_3^-) a una cadena basada en producción regenerada (NH_4^+), al presentarse estratificación de la columna de agua y disminuir la concentración de nutrientes disponibles en la zona fótica (Thunnel *et al.*, 1996).

Esta hipótesis se ve corroborada por los datos obtenidos por medio de imágenes satelitales, ya que se observa en marzo un pico en la concentración de clorofila *a* (3.71 mg.m^{-3}), así como temperaturas bajas en este mes (Fig. 13), lo cual podría ser indicativo de un florecimiento fitoplanctónico. En abril la producción primaria decae abruptamente (0.92 mg.m^{-3}), y es en este mes en que se observan los valores más altos de $\delta^{15}\text{N}$ para el zooplancton analizado. De mayo a noviembre se presentan valores bajos de clorofila ($<0.65 \text{ mg.m}^{-3}$), y en estos meses disminuyen los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en el zooplancton. En septiembre se observa una pequeña elevación en el $\delta^{15}\text{N}$, posiblemente debido al paso del huracán John por el área de estudio a finales del mes de agosto 2006. El efecto de mezcla adicional de la columna de agua por este evento meteorológico así como el aporte de material orgánico de origen terrígeno podrían haber afectado los valores del $\delta^{15}\text{N}$ de agosto, resultando en valores un poco más altos.

Los valores más bajos en $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton se observaron en marzo así como en junio-agosto. La señal de $\delta^{13}\text{C}$ del fitoplancton es muy variable y depende de los procesos biogeoquímicos y oceanográficos del área estudiada así como de variables ambientales como la temperatura, el pH, la concentración de CO_2 disponible, el $\delta^{13}\text{C}$

del CO₂, las especies de fitoplancton presentes y su tasa de crecimiento (Leggett, 1998; Burton & Koch, 1999).

Se conoce que las temperaturas más bajas permiten una mayor solubilidad del CO₂; al haber más CO₂ disponible los productores primarios pueden discriminar en contra del ¹³C, lo cual resulta en valores más bajos de $\delta^{13}\text{C}$ en la base de la cadena trófica (Laube-Lenfant & Pierre, 1994; Perry *et al.*, 1999). Es posible que los valores más bajos de $\delta^{13}\text{C}$ al inicio del muestreo (en marzo) sean debidos a temperaturas más bajas (promedio de 20.65°C; tabla 10) y mayores concentraciones de CO₂. En los meses anteriores al inicio del muestreo la temperatura era aún más baja (19.84 °C en febrero) y es posible que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton en estos meses hubieran sido menores a los observados en marzo. A partir de mayo la temperatura superficial del mar en el área de estudio empezó a aumentar (anomalías positivas en la figura 13), y permaneció elevada hasta noviembre (promedio de 27.74°C, tabla 10). Sin embargo no se observó un aumento simultáneo en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton en los meses de verano. En el área de estudio se presenta una entrada estacional (de junio a agosto) de agua superficial proveniente del Océano Pacífico (Brinton & Townsend, 1980), y es posible que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton en estos meses se vean afectados. Aguíñiga *et al.* (2007) detectaron un aumento en la señal isotópica del sedimento posiblemente debido a la entrada en la Bahía de La Paz de una masa de agua con señal isotópica distinta. Los valores más bajos en $\delta^{13}\text{C}$ observados en este estudio en junio-agosto podrían ser debidos a la entrada de agua con una diferente señal isotópica, aunque como ya se mencionó, muchos factores ambientales y ecológicos pueden afectar también la señal del carbono.

Asimismo, el pH afecta la capacidad para la fotosíntesis del fitoplancton y los valores de pH mayores a 8.8 ocasionan que el CO₂ sea limitante; por lo tanto se observan valores más altos de $\delta^{13}\text{C}$ (Chen & Durbin, 1994). El tamaño de las células fitoplanctónicas determina el espesor de la capa límite y por lo tanto la cantidad de CO₂ disponible. Células más grandes tienden a tener una señal de $\delta^{13}\text{C}$ más alta ya que utilizan todo el ¹³C presente en la capa límite (Korb *et al.*, 1996). Una tasa de

crecimiento más alta significaría menor discriminación en contra del ^{13}C y valores más altos de $\delta^{13}\text{C}$. Estas tasas de mayor crecimiento se han observado generalmente cuando hay tasas de irradiación más altas (Korb *et al.*, 1996). El $\delta^{13}\text{C}$ de un herbívoro también puede estar influenciado por el tipo de fitoplancton consumido, ya que el fraccionamiento producido por los productores primarios depende del tipo de enzima que utilizan para fijar el carbono, ya que diferentes organismos fitoplanctónicos utilizan diferentes tipos de enzima (Leggett, 1998). Desafortunadamente no se midió la concentración de CO_2 , el pH, ni el fitoplancton por lo cual no se puede concluir acerca de la influencia de estas variables sobre la señal del $\delta^{13}\text{C}$ observada en el zooplancton.

El patrón de variación en la señal isotópica de *N. simplex* se vio reflejado en el músculo de las mobulas, tanto para el $\delta^{15}\text{N}$ como para el $\delta^{13}\text{C}$; sin embargo la magnitud del cambio fue menor en el músculo de las mobulas que en *N. simplex* (la diferencia entre los valores más altos y más bajos en $\delta^{15}\text{N}$ fue de 1.14‰, 0.90‰ y 2.55‰ para *M. thurstoni*, *M. japonica* y *N. simplex* respectivamente; y en $\delta^{13}\text{C}$ de 0.91‰, 0.78‰ y 1.76‰ para *M. thurstoni*, *M. japonica* y *N. simplex* respectivamente). Estos cambios se han observado en otros estudios, por ejemplo el músculo del pez planctívoro *Coregonus lavaretus* cambió en 2‰ para el $\delta^{15}\text{N}$ mientras que sus presas cambiaron en 12‰ a lo largo de un año (Perga & Gerdeaux, 2005). En el estudio de Perga & Gerdeaux (*op. cit.*) se observó un lapso de tiempo de 4-5 meses entre los valores en el zooplancton y los depredadores; mientras que en el presente estudio el lapso de tiempo observado fue de 1-2 meses para *M. thurstoni* y 3 meses para *M. japonica*.

La utilización de los isótopos estables de nitrógeno y carbono en músculo de mobulas y zooplancton en el presente estudio permitió inferir la dieta de las mobulas, su posición trófica y permanencia en el área de estudio. Se logró determinar que así como lo habían deducido Notarbartolo-di-Sciara (1988) y Hobro (2002) estas especies se alimentan principalmente de *N. simplex*. Sin embargo, a diferencia de lo que encontró Notarbartolo-di-Sciara (1988), quien había deducido que *M. thurstoni*

pasaba el invierno en otra área y *M. japonica* pasaba todo el año en el suroeste del Golfo de California, según los datos obtenidos en este estudio se infirió que *M. thurstoni* permanece en el área de estudio todo el año, mientras que *M. japonica* migra hacia otras áreas al final del verano, ingresando otra vez al área en marzo.

Al separar la muestra de zooplancton en grupos según su alimentación, se pudo diferenciar la señal isotópica de las posibles presas, y determinar de qué grupo se alimentaron *M. thurstoni* y *M. japonica*. A diferencia de otros estudios en que no se tomó en cuenta la variación temporal en la señal isotópica de las presas al calcular la posición trófica, en el presente estudio se tomaron muestras a lo largo de 9 meses, pudiéndose observar una variación en la señal isotópica de las presas y cómo esta señal se vio reflejada en la señal de los depredadores.

11. Conclusiones

- El etanol como preservador no tuvo un efecto significativo sobre los valores isotópicos del músculo de las mobulas. Sin embargo sí afectó los valores isotópicos del zooplancton.
- *M. japonica* y *M. thurstoni* ocuparon el mismo nivel trófico en los tres años de estudio, y se alimentaron en la zona nerítica excepto en 2004. Durante 2004 *M. japonica* se alimentó en una zona más oceánica.
- En 2006 se observaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ mayores para ambas especies de mobula, lo cual podría ser debido a un cambio en la base de la cadena trófica que se vio reflejado en el músculo de estos organismos. Sin embargo, el patrón de variación tanto para $\delta^{15}\text{N}$ como para $\delta^{13}\text{C}$ fue similar en 2004 y 2006 para ambas especies, indicando que se alimentan en la misma zona cada año.
- La variabilidad en la señal isotópica del zooplancton fue significativamente mayor a la encontrada para las mobulas, probablemente debido a un menor tiempo de recambio en el zooplancton, el cual refleja los cambios ambientales más rápidamente.
- *M. japonica* y *M. thurstoni* se alimentaron de *N. simplex* y no de otros grupos de zooplancton analizados durante 2006.
- La posición trófica calculada para las mobulas por medio del análisis de isótopos estables fue de 3.48 para *M. thurstoni* y 3.43 para *M. japonica*, y corresponde a la de consumidores secundarios.

- Se presentó una variación en el $\delta^{15}\text{N}$ del zooplancton asociado con el patrón de vientos y advección de agua de la zona de estudio. Se observaron valores mayores de $\delta^{15}\text{N}$ al finalizar el florecimiento fitoplanctónico de marzo, y valores menores en verano, con el paso a una producción regenerada.
- La variación estacional de *N. simplex* se observó en las mobulas, con 1-2 meses de retraso para *M. thurstoni* y 3 meses de retraso para *M. japanica*.
- El área de estudio es una zona de alimentación para las mobulas en primavera y verano. Es posible que *M. japanica* se alimente en otra zona durante el invierno, ingresando al área de estudio en marzo. *M. thurstoni* parece permanecer en el área de estudio todo el año.

12. Recomendaciones

- La obtención de muestras tanto de mobulas como de zooplancton a escala anual permitiría inferir con mayor seguridad la permanencia de las mobulas en el área de estudio.
- El análisis de los valores isotópicos del fitoplancton y del material orgánico particulado del área de estudio permitirían seguir la señal isotópica desde la base de la cadena trófica, así como medir el flujo de nutrientes a través del ecosistema.
- Para poder concluir sobre las variaciones de $\delta^{13}\text{C}$ sería necesario medir la concentración de CO_2 , el pH e identificar las especies del fitoplancton presentes cada mes.
- Tomar datos de temperatura y salinidad a diferentes profundidades permitiría determinar la presencia de diferentes masas de agua con señales isotópicas distintas.
- Las mantas y mobulas son animales carismáticos de gran atractivo turístico. A pesar de estar protegidas en México aún continúa su captura, ya sea accidental o ilegal. Es necesario llevar a cabo más estudios sobre su biología para determinar su importancia en el ecosistema.

13. Literatura citada

- Aguíñiga S., F. Galván, M. Soto-Jiménez, Y. Torres-Rojas, M. Miranda, H. Arce-Osuna, J. Camalich-Carpizo & A. Sánchez. 2007. The hammerhead shark *Sphyrna lewini* as an indicator of $\delta^{15}\text{N}$ shifts in particulate organic matter from contrasting oceanographic areas. Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana. Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Altabet, M.A., C. PilskaIn, R. Thunell, C. Pride, D. Sigman, F. Chavez & R. Francois. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. Deep sea Res. I, 46: 655-679.
- Álvarez-Cadena, J.N. 1992. Feeding habits, gonadic stages and size frequency distribution of *Sagitta setosa* J. Müller to the East of the Isle of Man, North Irish Sea. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1992-2/articulo420.html>
- Banks, R.C. 1963. Birds of Cerralvo Island, Baja California. Condor, 65(4): 300-312.
- Bode, A. & M.T. Alvarez-Ossorio. 2004. Taxonomic versus trophic structure of mesozooplankton: a seasonal study of species succession and stable carbon and nitrogen isotopes in a coastal upwelling ecosystem. ICES J. Mar. Sci., 61: 563-571.
- Boxshall, G.A. 1981. Community structure and resource partitioning – the plankton, 143-156. En: Forey, P.L. (Ed.) Chance, change, and challenge, the evolving biosphere. British Museum (Nat. Hist.), London & Cambridge University Press, Cambridge. 311 p.
- Brinton, E. & A.W. Townsend. 1980. Euphausiids in the Gulf of California – the 1957 cruises. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., 21: 211- 236.
- Brodeur, R.D. & W.G. Pearcy. 1992. Effects of environmental variability on trophic interactions and food web structure in a pelagic upwelling system. Mar. Ecol. Prog. Ser., 84: 101-119.
- Burton, R.K. & P.L. Koch. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. Oecologia, 119: 578-585.
- Campbell, L.M., R.E. Hecky & S.B. Wandera. 2003. Stable isotope analyses of food web structure and fish diet in Napoleon and Winam Gulfs, Lake Victoria, East Africa. J. Great Lakes Res., (Suppl. 2): 243-257.
- Carmona, R., S. Ramírez, B. Zárate & F. Becerril. 1996. Some nesting waterbirds from southern San José Island and adjacent islands, Gulf of California, Mexico. Western Birds, 27: 81-85.

Carmona, R., G. Ruiz-Campos, J.A. Castillo-Guerrero & E. Hernández. 2002. Composition of raptor on Espíritu Santo Island, Gulf of California, Mexico. *Western Birds*, 33: 241-248.

Chen, C.Y. & E.G. Durbin. 1994. Effects of pH on the growth and carbon uptake of marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 109: 83-94.

Chipps, S.R. & J.E. Garvey. 2007. Quantitative assessment of food habits and feeding patterns, 41-85. En: Brown, M.L. & C.S. Guy (Eds.). *Analysis and interpretation of freshwater fisheries data*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 961p.

Clark, T.B., W.D. Smith & J.J. Bizzarro. 2005. *Mobula thurstoni*. En: IUCN 2006. 2006 IUCN red list of threatened species. <iucnredlist.org> Consultado el 7 de junio 2006.

Cuevas-Zimbrón, E. 2007. Estudio preliminar de edad y crecimiento de la Manta de espina, *Mobula japanica* (Müller y Henle, 1841). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México. 85p.

Dalley, D.D. & S. McClatchie. 1989. Functional feeding morphology of the euphausiid *Nyctiphanes australis*. *Mar. Biol.*, 101: 195-203.

De Silva-Dávila, R. 1997. Abundancia y distribución de los eufáusidos y producción larvaria de *Nyctiphanes simplex* Hansen, en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México. 112p.

De Silva-Dávila, R. & R. Palomares-García. 1998. Unusual larval growth production of *Nyctiphanes simplex* in Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *J. Crustacean Biol.*, 18: 490-498.

De Silva-Dávila, R. & R. Palomares-García. 2002. Distributional patterns of the euphausiid community in Bahía de La Paz, B.C.S., México, 109-125. En: Hendrickx, M.E. (Ed.). *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans [Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este]*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. Vol.1, 347 p.

De Silva-Dávila, R., Palomares-García, E. González-Rodríguez & V. Maldonado-López. 2004. Varamiento de *Nematoscelis difficilis* en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México, 89-97. *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans [Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este]*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. Vol 2, 245 p.

Dilling, L. & M.A. Brzezinski. 2004. Quantifying marine snow as a food choice for zooplankton using stable silicon isotope tracers. *J. Plankton Res.*, 26(9): 1105-1114.

- Dunton, K.H., S.M. Saupe, A.N. Golikov, D.M. Schell & S.V. Schonberg. 1989. Trophic relationships and isotopic gradients among arctic and subarctic marine fauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 56: 89-97.
- Ehleringer, J.R. & P.W. Rundel. 1989. Stable isotopes: history, units, and instrumentation, 1-15. En: P.W. Rundel, J.R. Ehleringer & K.A. Nagy (Eds). *Stable isotopes in ecological research*. Springer-Verlag, Berlin. 525 p.
- Estrada, J.A., A.N. Rice, M.E. Lutcavage & G.B. Skomal. 2003. Predicting trophic position in sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 83:1347-1350.
- Fisk, A.T., S.A. Tittlemier, J.L. Pranschke, & R.J. Norstrom. 2002. Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of Greenland sharks. *Ecology*, 83: 2162-2172.
- France, R.L. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 124: 307-312.
- Frazer, T.K., R.M. Ross, L.B. Quetin & J.P. Montoya. 1997. Turnover of carbon and nitrogen during growth of larval krill, *Euphausia superba* Dana: a stable isotope approach. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 212: 259-275.
- Freund, E.V., H. Dewar & D.A. Croll. 2000. Locomotor tracking of the spine-tailed devil ray, *Mobula japanica*. *Am. Zool.*, 40 (6): 1020.
- Fry, B. 2006. *Stable isotope ecology*. Springer, New York. 308 p.
- Gendron, D. 1992. Population structure of daytime surface swarms of *Nyctiphanes simplex* (Crustacea: Euphausiacea) in the Gulf of California, Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 87: 1-6.
- Goering, J., V. Alexander & N. Haubenstock. 1990. Seasonal variability of stable and carbon isotope ratios of organisms in a North Pacific bay. *Estuar. Coast. Shelf S.*, 30:239-260.
- Gómez, J.G. 1995. Distribution patterns, abundance and population dynamics of the euphausiids *Nyctiphanes simplex* and *Euphausia eximia* off the west coast of Baja California, Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 119: 63-76.
- Gómez-Gutiérrez, J., C. Rodríguez-Jaramillo, C.J. Robinson, J. Del Ángel-Rodríguez, C. Zavala-Hernández, S. Martínez-Gómez, N. Tremblay & K. Arroyo-Ramírez. 2007. Reproductive biology of the subtropical sac-spawning euphausiid *Nyctiphanes simplex* along the southwest coast of Baja California and Gulf of California, Mexico. En revision.

Gurney, L.J., P.W. Froneman, E.A. Pakhomov & C.D. McQuaid. 2001. Trophic positions of three euphausiid species from the Prince Edward Islands (Southern Ocean): implications for the pelagic food web structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 217: 167-174.

Harvey, C.J., P.C. Hanson, T.E. Essington, P.B. Brown & J.F. Kitchell. 2002. Using bioenergetic models to predict stable isotope ratios in fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 115-124.

Hesslein, R.H., K.A. Hallard & P. Ramlal. 1993. Replacement of sulfur, carbon and nitrogen, in tissue of growing broad whitefish (*Coregonus nasus*) in response to a change in diet traced by $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 50: 2071-2076.

Hobro, F.E. 2002. The feeding ecology, foraging behaviour and conservation of manta rays (Mobulidae) in Baja California, Mexico. Tesis de Maestría, Universidad de Wales, Bangor, Reino Unido. 75p.

Hobson, K.A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia.*, 120 (3): 314-326.

Jaume-Schinkel, M.S. 2004. Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México. 64 p.

Kaehler, S. & E.A. Pakhomov. 2001. Effects of storage and preservation on the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ signatures of selected marine organisms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 219: 299-304.

Ketchum-Mejía, J.T. 2003. Distribución espacio-temporal y ecología alimentaria del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en la Bahía de La Paz y zonas adyacentes en el Suroeste del Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México. 91 p.

Korb, R.E., J.A. Raven, A.M. Johnston & J.W. Leftley. 1996. Effects of cell size and specific growth rate on stable carbon isotope discrimination by two species of marine diatom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 143: 283-288.

Lajtha, K. & R. Michener. 1994. Introduction, xi-xix. En: K. Lajtha & R. Michener (Eds.) *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 336 p.

Laube-Lenfant, E. & C. Pierre. 1994. Variability of $\delta^{13}\text{C}$ of ΣCO_2 in ocean waters of the Equatorial Pacific. *Oceanol. Acta*, 17: 633-641.

Lavaniegos-Espejo, B. 1994. Dispersion and development patterns in larvae of *Nyctiphanes simplex* (Euphausiacea) in the upwelling region off Baja California. Mar. Ecol. Prog. Ser., 106:207-225.

Leggett, M.F. 1998. Food-web dynamics of Lake Ontario as determined by carbon and nitrogen stable isotope analysis. Ph. D. thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canadá. 266 p.

Lincoln, R.J., G.A. Boxshall & P.F. Clark. 1995. Diccionario de ecología, evolución y taxonomía. Fondo de cultura económica, México. 487 p.

MacNeil, M.A., G.B. Skomal & A.T. Fisk. 2005. Stable isotopes from multiple tissues reveal diet switching in sharks. Mar. Ecol. Prog. Ser., 302: 199-206.

MacNeil, M.A., K.G. Drouillard & A.T. Fisk. 2006. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 63: 345-353.

McClelland, J.W. & J.P. Montoya. 2002. Trophic relationships and the nitrogen isotopic composition of amino acids in plankton. Ecology, 83(8): 2173-2180.

McCutchan, J.H.Jr., W.M. Lewis Jr., C. Kendall & C.C. McGrath. 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen and sulfur. OIKOS, 102: 378-390.

McEachran, J.D. & G. Notarbartolo-di-Sciara, 1995. Peces batoideos, 745-768. En: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter & V.H. Niem. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, Pacífico Centro-Oriental. Vol. II. Vertebrados, parte 1, Roma. 1200 p.

Michener, R.H. & D.M. Schell. 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs, 138-157. En: Lajtha, K. & R. Michener (Eds). Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 336 p.

Miller, C.B. 2004. Biological oceanography. Blackwell publishing, Oxford, U.K. 416 p.

Mullin, M.M., G.H. Rau & R.W. Eppley. 1984. Stable nitrogen isotopes in zooplankton: some geographic and temporal variations in the North Pacific. Limnol. Oceanog., 29(6): 1267-1273.

NOM-029-PESC-2006. Norma Oficial Mexicana de pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Gobernación, México.
<http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4962277>

Notarbartolo di Sciara, G. 1987a. A revisionary study of the genus *Mobula* Rafinesque, 1810 (Chondrichthyes: Mobulidae) with the description of a new species. Zool. J. Linn. Soc.-Lond., 91: 1-91.

Notarbartolo di Sciara, G. 1987b. Myliobatiform rays fished in the Southern Gulf of California (Baja California Sur, Mexico) (Chondrichthyes: Myliobatiformes). Mem. V. Simp. Biol. Mar. Univ. Auton. Baja California Sur, 109-115.

Notarbartolo di Sciara, G. 1988. Natural History of the rays of the genus *Mobula* in the Gulf of California. Fish. B.-NOAA, 86 (1): 45-66.

Notarbartolo di Sciara, G. 1997. Problemi di conservazione degli elasmobranchi in Italia. Quad. Civ. Staz. Idrobiol., 22: 11-15.

Obeso-Nieblas, M., J.H. Gaviño-Rodríguez, A.R. Jiménez-Illescas & B. Shirasago-Germán. 2002. Simulación numérica de la circulación por marea y viento del noroeste y sur en la Bahía de La Paz, B.C.S. Océánides, 17(1): 1-12.

O'Reilly, C.M., R.E. Hecky, A.S. Cohen & P.-D. Plisnier. 2002. Interpreting stable isotopes in food webs: Recognizing the role of time averaging at different trophic levels. Limnol. Oceanog., 47(1): 306-309.

Pakhomov, E.A., J.W. McClelland & K. Bernard. 2004. Spatial and temporal shifts in stable isotope values of the bottom-dwelling shrimp *Nauticaris marionis* at the sub-Antarctic archipelago. Mar. Biol., 144: 317-325.

Perga, M.E. & D. Gerdeaux. 2005. "Are fish what they eat" all year round? Oecologia, 144: 598-606.

Pérez-Urbiola, J.C. 1995. Microhábitat de ectoparásitos marinos en *Caulolatilus affinis* Gill, 1865 (Osteichthyes: Malacanthidae) del Canal Cerralvo, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México. 69p.

Perry, R.I., P.A. Thompson, D.L. Mackas, P.J. Harrison & D.R. Yelland. 1999. Stable carbon isotopes as pelagic food web tracers in adjacent shelf and slope regions off British Columbia, Canada. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 56: 2477-2485.

Persson, A. & L.A. Hansson. 1999. Diet shift in fish following competitive release. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 56:70-78.

Pinnegar, J.K. & N.V.C. Polunin. 2000. Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. Oecologia, 122:399-409.

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

Ramírez-Macías, D. 2005. Caracterización de marcadores moleculares del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) del Golfo de California. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México. 108p.

Rau, G.H., A.J. Mearns, D.R. Young, R.J. Olson, H.A. Schafer & I.R. Kaplan. 1983. Animal $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ correlates with trophic level in pelagic food webs. *Ecology*, 64(5): 1314-1318.

Rau, G.H., M.D. Ohman & A. Pierrot-Bults. 2003. Linking nitrogen dynamics to climate variability off central California: a 51 year record based on $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in CalCOFI zooplankton. *Deep-Sea Res. II*, 50:2431-2447.

Raymont, J.E.G. 1983. The food and feeding and respiration of zooplankton. En: Raymont, J.E.G. *Plankton and productivity in the oceans*, 525-567. Pergamon Press, Oxford, UK. Vol. 2, 660 p.

Reyes-Salinas, A., R. Cervantes-Duarte, R.A. Morales-Pérez & J.E. Valdez-Holguín. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, BCS. *Hidrobiológica*, 13(2): 103-110.

Ruiz-Cooley, R.I., U. Markaida, D. Gendron & S. Aguñiga. 2006. Stable isotopes in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) beaks to estimate its trophic position: comparison between stomach contents and stable isotopes. *J. Mar. Biol. Assn. U.K.*, 86: 437-445.

Schell, D.M., B.A. Barnett & K.A. Vinette. 1998. Carbon and nitrogen isotope ratios in zooplankton of the Bering, Chukchi and Beaufort seas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 162: 11-23.

Schmidt, K., A. Atkinson, D. Stübing, J.W. McClelland, J.P. Montoya, & M. Voss. 2003. Trophic relationships among Southern Ocean copepods and krill: Some uses and limitations of a stable isotope approach. *Limnol. Oceanog.*, 48(1):277-289.

Serrano-López, J.N. 2007. Biología reproductiva del género *Mobula* en B.C.S., México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, BCS, México. 64 p.

Sherwood, G.D. & G.A. Rose. 2005. Stable isotope analysis of some representative fish and invertebrates of the Newfoundland and Labrador continental shelf food web. *Estuar. Coast. Shelf S.*, 63: 537-549.

Sholto-Douglas, A.D., J.G. Field & N.J. Van der Merwe. 1991. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ isotope ratios in the Southern Benguela Ecosystem: indicators of food web relationships among different size-classes of plankton and pelagic fish; differences between fish muscle and bone collagen tissues. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 78: 23-31.

Sims, D.W., E.J. Southall, G.A. Tarling & J.D. Metcalfe. 2005. Habitat-specific normal and reverse diel vertical migration in the plankton-feeding basking shark. *J. Anim. Ecol.*, 74: 755-761

Stevens, J.D., R. Bonfil, N.K. Dulvy & P.A. Walker. 2000. The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 476-494.

Sweeting, C.J., N.V.C. Polunin & S. Jennings. 2006. Effects of chemical lipid extraction and arithmetic lipid correction on stable isotope ratios of fish tissues. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 20:595–601.

Thomas, C.J. & L.B. Cahoon. 1993. Stable isotope analysis differentiates between different trophic pathways supporting rocky-reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 95: 19-24.

Thunnel, R., C. Pride, P. Ziveri, F. Muller-Karger, C. Sancetta & D. Murray. 1996. Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *J. Plankton Res.*, 18 (11): 2017-2026.

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

Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN). 2006. Red list species details. <<http://redlist.org/search/details.php?species=41833&tab=summ>>, <<http://redlist.org/search/details.php?species=60200&tab=summ>>

Vander Zanden, M.J., G. Cabana & J.B. Rasmussen. 1997. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ($\delta^{15}\text{N}$) and literature dietary data. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 54: 1142-1158.

Vander Zanden, M.J. & J.B. Rasmussen. 1999. Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 80(4): 1395-1404.

Vander Zanden, M.J. & J.B. Rasmussen. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnol. Oceanogr.*, 46(8): 2061-2066.

White, W.T., T.B. Clark, W.D. Smith & J.J. Bizzarro. 2005. *Mobula japanica*. En: IUCN 2006. 2006 IUCN red list of threatened species. <iucnredlist.org> Consultado el 7 de junio 2006.

Wu, J., S.E. Calvert & C.S. Wong. 1997. Nitrogen isotope variations in the subarctic northeast Pacific: relationships to nitrate utilization and trophic structure. *Deep-Sea Res. I*, 44: 287-314.

Yen, J. 1985. Selective predation by the carnivorous marine copepod *Euchaeta elongata*: Laboratory measurements of predation rates verified by field observations of temporal and spatial feeding patterns. *Limnol. Oceanog.*, 30(3): 577-597.

Zar, J.H. 1999. Biostatistical análisis. Prentice-Hall, London, U.K. 663 p.

Apéndice
Imágenes satelitales

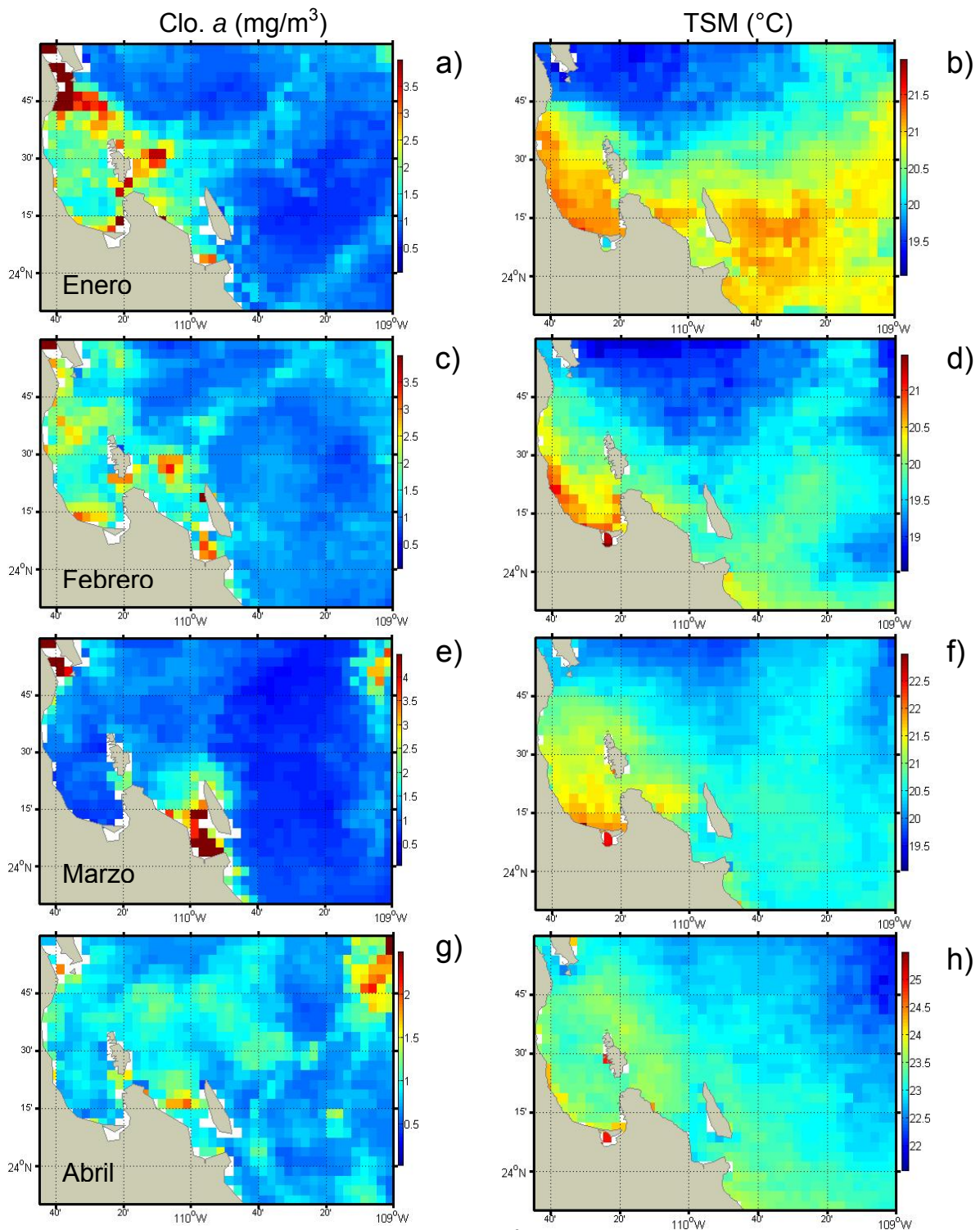


Figura 1 – Concentración de clorofila *a* (Clo. *a* mg/m^3) y temperatura superficial del mar (TSM $^{\circ}\text{C}$) en el área d estudio durante 2006: a y b) enero, c y d) febrero, e y f) marzo, g y h) abril.

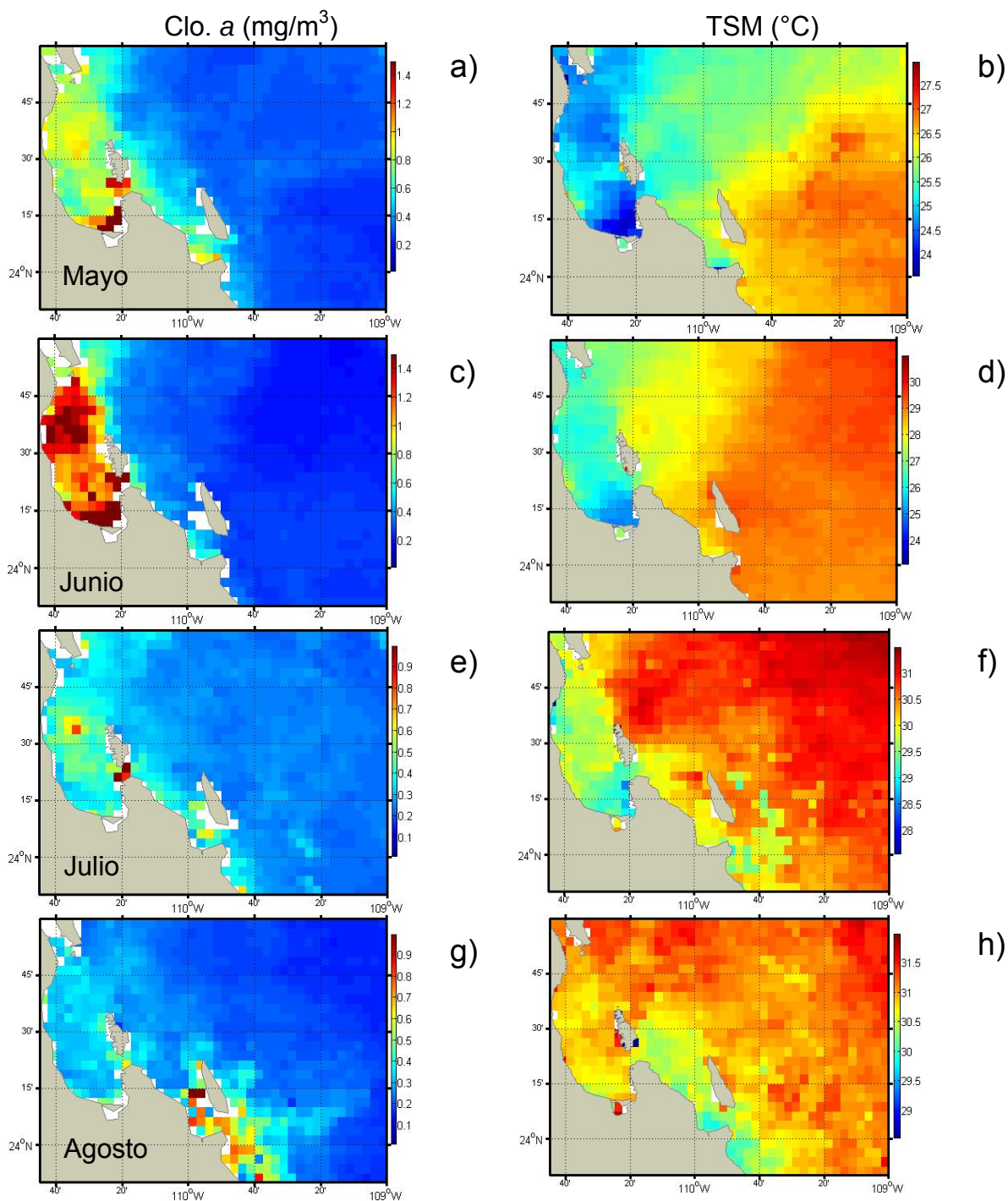


Figura 2 – Concentración de clorofila a (Clo. a mg/m^3) y temperatura superficial del mar (TSM $^{\circ}\text{C}$) en el área d estudio durante 2006: a y b) mayo, c y d) junio, e y f) julio, g y h) agosto.

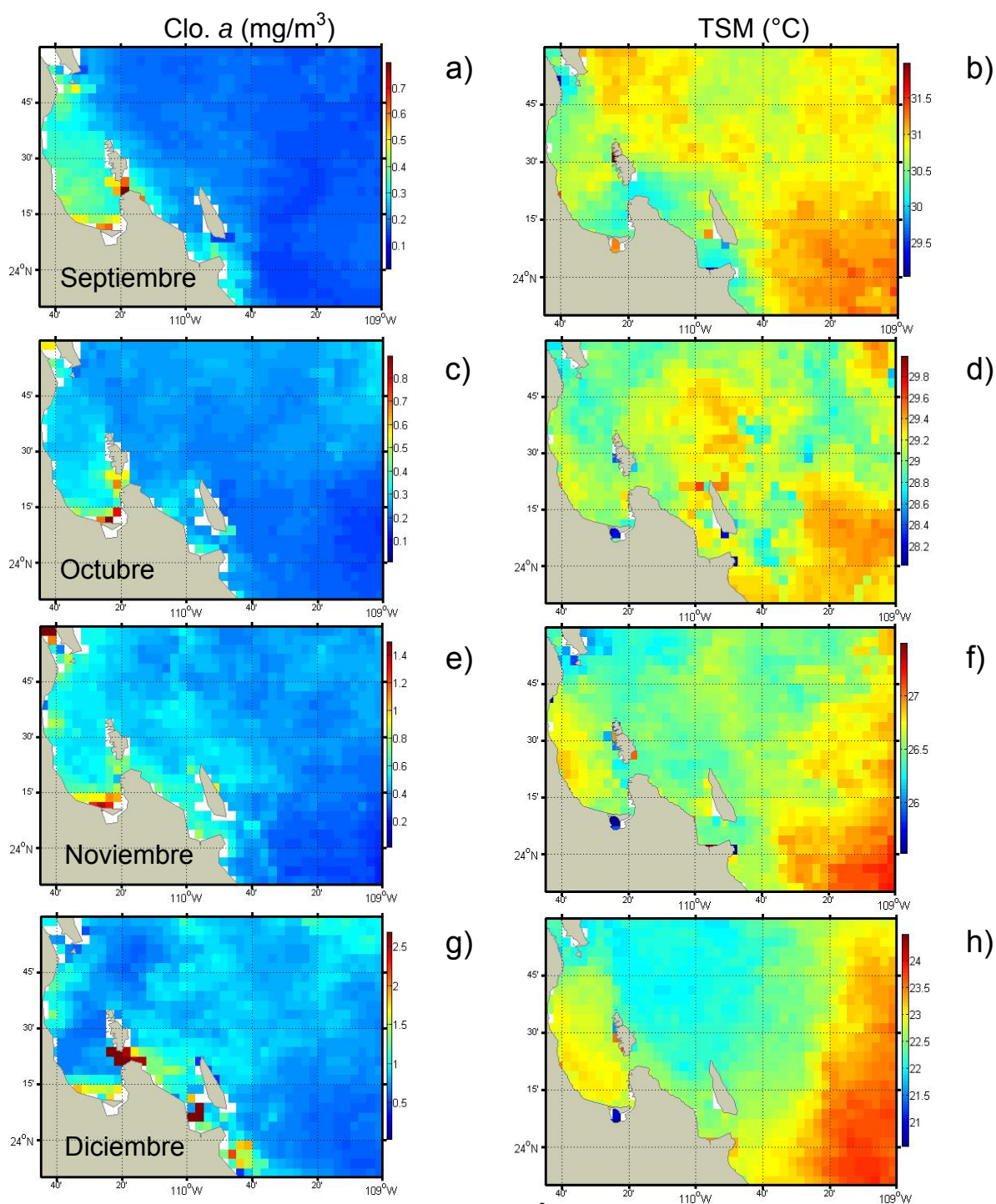


Figura 3 – Concentración de clorofila *a* (Clo. *a* mg/m^3) y temperatura superficial del mar (TSM $^{\circ}\text{C}$) en el área d estudio durante 2006: a y b) septiembre, c y d) octubre, e y f) noviembre, g y h) diciembre.