



CARACTERIZACIÓN DE LA ECOLOGÍA ALIMENTARIA DEL RORCUAL DE BRYDE,
Balaenoptera edeni (Anderson. 1879), EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, CON BASE EN
ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES DE NITROGENO, CARBONO Y ÁCIDOS GRASOS

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias del Mar y Limnología

(Biología Marina)

p r e s e n t a

CARLOS ALBERTO LÓPEZ MONTALVO

Director de Tesis: Dr. JORGE URBÁN RAMÍREZ

Cotutor: Dr. SERGIO AGUIÑIGA GARCÍA

Asesor externo: Dra. REMEDIOS MENDOZA LÓPEZ

Comité Tutorial: Dr. MARTÍN F. SOTO JIMÉNEZ
Dr. HÉCTOR REYES BONILLA
Dr. FELIPE GALVÁN JIMÉNEZ

México, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“The Sea, once it casts its spell, holds one in its net of wonder forever.”
The Sea, once it.*

Jacques – Yves Cousteau (1910-1997)

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Dr. Jorge Urbán por permitirme trabajar en el Programa de Investigación de Mamíferos Marinos (PRIMMA) de la UABCS, La Paz, BCS. Por dirigir y brindarme los recursos académicos, económicos y administrativos para la realización de esta tesis. También por darme la oportunidad de conocer y disfrutar en muchas ocasiones a 18 especies de mamíferos marinos, asimismo por dejarme compartir el trabajo de campo contigo y mostrarme tu pasión y el trabajo por los cetáceos. Jorge te agradezco por apoyarme en muchos aspectos a mi llegada a La Paz, por tus consejos, por escucharme y por tu paciencia.

Al Dr. Sergio Aguiñiga, gracias por su paciencia, por enseñarme acerca de los isótopos estables, por apoyarme en cada una de las etapas del trabajo de laboratorio. Así como permitirme trabajar en el Laboratorio de Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas del CICIMAR- IPN, La Paz, BCS.

A los miembros del comité tutorial: Dr. Sergio Aguiñiga, Dr. Martin Soto, Dr. Felipe Galván y Dr. Héctor Reyes. Gracias por las valiosas aportaciones a esta tesis.

Al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por el uso de sus instalaciones. A la Dra. Vilaclara y Diana Suarez por sus consejos. A Lupita, Chantal y Gaby por apoyarme en los trámites académicos y administrativos de este posgrado.

Al Dr. Medrano, a Verónica Arellano y Ariadna Aranda, Por sus consejos y apoyo en lo académico y administrativo para el ingreso al Posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios.

Al proyecto Alianza WWF-TELCEL y al Proyecto internacional de ecología (EPI), por los recursos otorgados para la realización del trabajo en campo y laboratorio.

Al PRIMMA, Yubarta, PRIMM@S y exPRIMM@S, por apoyarme en la búsqueda y colecta de muestras de las casi siempre evasivas pero interesantes edenis.

Al barco amigo y tripulación (Capi Agustín, Celso, Armando), al barco Pez Sapo, panga delfin y su tripulación (Capi, comediante y chef Olegario, Motorista Noé, Tito Chef y panguero, y al buen marinero Napo, gracias a ellos se realizo una buena parte del trabajo en campo para la realización de esta tesis.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, BCS, por el apoyo técnico y administrativo para la realización de extracción y separación de los ácidos grasos, en el laboratorio de cromatografía. Principalmente a Rene y Daniel.

A la Unidad de Servicios de Apoyo en Resolución Analítica (SARA) de la UV, Principalmente a la Dra. Remedios Mendoza, Dr. Samuel Cruz y Lic. Hernán Hernández por el apoyo técnico y administrativo, para el análisis de ácidos grasos por cromatografía de gases.

Al Dr. Camalich, sensei, gracias por enseñarme y apoyarme en el análisis de isótopos estables. Pero sobre todo por tu amistad.

Al Dr. Fernando Elorriaga, a Carlos Polo, Mónica Rodríguez, Jocelin y Geraldine por el apoyo de artículos y por las interesantes discusiones a cerca de los isótopos estables, ácidos grasos y los mamíferos marinos.

A Laura Carreón y Jorge del Angel por su apoyo valiosísimo en todas las etapas del análisis de ácidos grasos. Y mostrarme lo interesantes que son los ácidos grasos. Pero sobretodo por brindarme su apoyo incondicional, gracias doctores!!!

A Mariana por el apoyo en laboratorio en los análisis de isótopos y ácidos grasos.

A la familia Hernández Rivera por su apoyo nuevamente durante mi estancia en la ciudad de Xalapa para la realización del análisis de ácidos grasos.

A mis amigos de la maestría, por las largas jornadas de estudio y los muchos ratos de recreación, Principalmente a Chargoy, Inti, Yaz, Mariana y Sebas por su apoyo dentro y fuera del salón. Gracias amigos.

A ti Yaz por ser una gran amiga en todo momento. Gracias Carnalis!!!

A mis hermanit@s por seguir compartiendo el maravilloso mundo de los mamíferos marinos, pero sobre todo por su gran amistad. Con especial agradecimiento a Lorena, Sergio, Hiram, Sandra Smith., Daniela y Pablito, por el gran apoyo que me han dado en todos los sentidos, en verdad gracias!!!

A ti, Diana López por coincidir. Y apoyarme en la última etapa de esta tesis.

A mis tíos y primos por compartir tantas cosas y brindarme siempre su apoyo y cariño. Con especial agradecimiento a mi tía Rosy, primos Paco y Víctor.

A mis padres por ser mis pilares, brindarme su apoyo incondicional a pesar de las distancias y del tiempo. Nunca han dejado de creer en mí y porque sin ustedes hubiera sido muy difícil culminar esta tesis. Gracias los AMO!!!

A ti Papá, por enseñarme a querer y luchar por mi carrera.

A ti Mamá por enseñarme a luchar por las cosas que quiero.

A mi hermana Luz, por apoyarme siempre y aconsejarme en muchos aspectos de mi vida.

A mi hermano Mabeto, gracias por enseñarme muchas cosas y por estar pendiente de mí, pese a la distancia.

A mi hermano Manene, por que siempre me has apoyado y por ser un gran amigo también.

A mí hermano Ricardo por apoyarme muchas veces y por visitarme a La Paz, en verdad te lo agradezco.

A mis sobrinas pequeñas Eslendy, Xesca y Kendra que son parte importante en la motivación para alcanzar mis metas, pero sobretodo de mi vida. Gracias hermosas sigan jugando y riendo mucho. LAS AMO!!!

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
ANTECEDENTES.....	14
Generalidades de la especie	14
Rorcual de Bryde.....	14
Isótopos estables	14
Ácidos grasos	15
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	20
Justificación académica	20
Hipótesis.....	21
OBJETIVOS.....	21
General	21
Particulares.....	21
ÁREA DE ESTUDIO.....	22
MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
<i>Colecta de datos y muestras</i>	25
<i>Trabajo de Laboratorio</i>	26
<i>Determinación de marcadores de Isótopos estables</i>	26
<i>Comparación estadística</i>	27
<i>Análisis de ácidos grasos</i>	28
<i>Comparación estadística</i>	30
RESULTADOS.....	31
Isótopos estables	32
Variabilidad en el $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la piel del rorcual de Bryde del Golfo de California.	33
Ácidos grasos	40
Variabilidad en los ácidos grasos en lípidos del rorcual de Bryde del Golfo de California	41
DISCUSIÓN.....	58

Isótopos estables	58
Ácidos grasos	62
Lípidos neutros	63
Lípidos estructurales	65
CONCLUSIONES	67
LITERATURA CITADA	68
GLOSARIO	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El rorcual de Bryde. Reeves <i>et al.</i> 2002.....	14
Figura 2. Regiones del Golfo de California con su batimetría.....	24
Figura 3. Ubicación de muestras recolectadas del 2008 a 2011. Donde cada número indica el número de cada muestra.	31
Figura 4. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de rorcual de Bryde del Golfo de California. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.	33
Figura 5. Comparación diseñada a posteriori como resultado de la variabilidad en el $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la piel de los rorcuales de Bryde del Golfo de California.	34
Figura 6. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de rorcual de Bryde del sur del Golfo de California. Por años. a) Temporada fría, b) temporada cálida. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.	35
Figura 7. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ vs $\delta^{13}\text{C}$ en temporadas Cálida y Fría del rorcual de Bryde del sur del Golfo de California. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.	36
Figura 8. Valores del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en temporadas en piel de rorcual de Bryde del Sur y Norte del Golfo de California. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.	37
Figura 9. Relación trófica con el $\delta^{15}\text{N}$ y el $\delta^{13}\text{C}$ del rorcual de Bryde del Golfo de California y sus presas potenciales. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.	39
Figura 10. a) Porcentaje de lípidos neutros (LN) y lípidos polares (LP) en grasa de rorcual de Bryde del Norte y Sur. b) Porcentaje LN y LP en piel de rorcual de Bryde del Norte y Sur. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	41
Figura 11. Perfil de ácidos grasos de reserva en grasa de rorcual de Bryde en el Golfo de California. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.	43
Figura 12. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos de reserva en grasa de grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.	44
Figura 13. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos de reserva en grasa de grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.	44

Figura 14. Proyección de análisis de funciones discriminantes de dos grupos de rorcuales de Bryde determinando por ácidos grasos trazadores tróficos.	45
Figura 15. Perfil de ácidos grasos de reserva de grasa de rorcual de Bryde del norte, norte-cría, sur 10 y sur 11 del Golfo de California.	47
Figura 16. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos de reserva en grasa de cuatro grupos de rorcuales de Bryde.	48
Figura 17. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos de reserva en grasa de cuatro grupos de rorcuales de Bryde..	48
Figura 18. Proyección de análisis de funciones discriminantes de cuatro grupos de rorcuales de Bryde determinando por ácidos grasos trazadores tróficos.	49
Figura 19. Perfil de ácidos grasos estructurales en piel de rorcual de Bryde en el Golfo de California.	51
Figura 20. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos estructurales de grupos de rorcuales de Bryde.....	52
Figura 21. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos estructurales de dos grupos de rorcuales de Bryde.	52
Figura 22. Proyección de análisis de funciones discriminantes de grupos de rorcual de Bryde determinado por ácidos grasos presentes en fosfolípidos de la piel.....	53
Figura 23. Perfil de ácidos grasos estructurales en piel de cuatro grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California.....	55
Figura 24. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos estructurales de cuatro grupos de rorcuales de Bryde.	56
Figura 25. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos estructurales de cuatro grupos de rorcuales de Bryde.	56
Figura 26. Proyección de análisis de funciones discriminantes de cuatro grupos de rorcual de Bryde determinado por ácidos grasos presentes en fosfolípidos de la piel.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ácidos grasos considerados como biomarcadores tróficos y de fosfolípidos.....	16
Tabla 2. Cuadro de composición de dieta y Posición Trófica (PT) de cuatro especies de ballenas....	17
Tabla 3. Muestras analizadas para el análisis de isótopos estables y de ácidos grasos.	32
Tabla 4. Comparaciones del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California.	37
Tabla 5. Razón isotópica y posición trófica de las especies presas del rorcual tropical del Golfo de California.	38
Tabla 6. Posición trófica (Post, 2002) de los grupos de los rorcuales de Bryde del Golfo de California, a partir del valor de la posición trófica de tres presas.....	39
Tabla 7. Posición trófica (Post, 2002) de los grupos de rorcuales de Bryde del Golfo de California a partir del valor del $^1(\text{MOP})$ material orgánico particulado (Aguiñiga <i>et al.</i> 2007).....	40
Tabla 8. Posición trófica de los rorcuales de Bryde del Golfo de California, a partir del promedio de la posición trófica de las 1 presas y el ^2MOP	40
Tabla 9. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de ácidos grasos de reserva en grasa. Con un intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.	42
Tabla 10. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de ácidos grasos de reserva en grasa de cuatro grupos de rorcual de Bryde. Con un intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.	46
Tabla 11. Valores de probabilidad de diferencia entre cuatro grupos de rorcual de Bryde, se considera diferencias significativa cuando $p < 0.05$	49
Tabla 12. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de ácidos grasos estructurales en piel de dos grupos de rorcual de Bryde. Con un intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.	50
Tabla 13. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de los ácidos grasos estructurales en piel de cuatro grupos de rorcual de Bryde. Con intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.	54
Tabla 14. Valores de probabilidad de diferencia entre cuatro grupos de rorcual de Bryde, se considera diferencia significativa cuando $p < 0.05$	57

RESUMEN

El rorcual de Bryde se distribuye en aguas tropicales y subtropicales de todo el mundo. En el Golfo de California se pueden ver todo el año. Este trabajo contribuye al conocimiento de la ecología alimentaria y poblacional del rorcual de Bryde dentro del Golfo de California, analizando los isótopos estables de carbono y nitrógeno en muestras de piel, que proveen información de las fuentes primarias de energía (*v.g.* para distinguir fotosíntesis bentónica, costera o pelágica) y de la dieta de los organismos. Asimismo se analizaron los ácidos grasos de reserva y estructurales en muestras de piel y grasa, los cuales dan información sobre rutas tróficas, estado nutricional e información de diferenciación de unidades poblacionales. Se analizaron 27 muestras, siete recolectadas en la región norte y 20 en la región sur del Golfo de California. Los resultados de los isótopos indican que las muestras del norte tienen valores de $\delta^{15}\text{N}$ (media 18.5 ± 0.4 ‰) más altos que las muestras del sur (media 16.8 ± 0.9 ‰). La estimación del nivel trófico indica un valor más alto para la región norte con 3.6 en relación a la del sur con 3.1. En el $\delta^{13}\text{C}$ se encontró que las muestras del grupo norte tiene valores (media -15.9 ± 0.6 ‰) más altos que el del grupo sur (media -17.9 ± 0.7 ‰) lo que indica que las ballenas del norte están más relacionadas a zonas bentónicas y costeras, mientras que las del sur a zonas pelágicas y oceánicas. Con respecto a los ácidos grasos de reserva se encontraron diferencias en las rutas tróficas del rorcual de Bryde (*v.g.* grupo sur; fitoplancton-zooplancton) y (*v.g.* grupo norte; detritus-fitoplancton-zooplancton). Las conclusiones de este estudio sugieren: dos unidades poblacionales de rorcual de Bryde en el Golfo de California: la del grupo norte asociado a zonas bentónicas y costeras que se alimenta principalmente de sardinas; y la unidad del grupo sur asociada a ambientes pelágicos y que se alimenta de presas como los eufáusidos y las sardinas.

ABSTRACT

The Bryde's whale has a distribution restricted to tropical and subtropical latitudes worldwide. In the Gulf of California, the species is present throughout the year. This research intends to contribute to the knowledge on feeding and population ecology of the Bryde's whales from the Gulf of California by analyzing stable isotopes of carbon and nitrogen in skin samples, which provide information of the primary energy sources (*e.g.* to distinguish the photosynthesis origin: benthic, coastal or pelagic) and diet of the Bryde's whale. Similarly we analyzed the fatty acids of reserve and structural in samples of skin and fat tissue, which provide information on trophic routes, nutritional status and population differentiation. We analyzed 27 samples, seven collected in the northern region and 20 in the southern region of the Gulf of California. The results of the isotopes indicate that samples of the north have $\delta^{15}\text{N}$ values higher (average 18.5 ± 0.4 ‰) than the samples from the south (average 16.8 ± 0.9 ‰). The estimated trophic level indicates a higher value for the northern region with 3.6 in relation to the South with 3.1. The $\delta^{13}\text{C}$ values in organisms in the northern group (average -15.9 ± 0.6 ‰) were higher than those in the south group (average -17.9 ± 0.7 ‰). Results would indicate that the whales of the north are more closely related to benthic and coastal areas, while the south to pelagic and oceanic environments. Differences in composition of fatty acids of reserve would indicate different trophic routes between both groups of the Bryde's whale. (*e.g.* south: phytoplankton-zooplankton and north: detritus-phytoplankton-zooplankton). The results of composition of fatty acids of structure suggest two population units of Bryde's whale in the Gulf of California. The analysis of stable isotope of C and N and the fatty acid compositions suggest two population units of Bryde's whale: the northern group associated with benthic zones and coastal that feeds mainly of sardines, and the unity of the south group associated with pelagic environments and which feeds of dams as the euphausiids and sardines.

INTRODUCCIÓN

El rorcual de Bryde, *Balaenoptera edeni* se distribuye en aguas tropicales y subtropicales de todo el mundo, entre las latitudes 40°N y 40°S (Kato, 2002). La población actual de la especie en el Océano Pacífico nororiental se estima en 13000 individuos (Wada y Gerrodette, 1993). Particularmente, en el Golfo de California se cuentan aproximadamente 235 (173-327) individuos (IWC, 1996).

El rorcual de Bryde se distribuye a lo largo de la costa continental de México, fuera de la costa occidental de la Península de Baja California durante todo el año especialmente en las aguas que rodean la boca de Bahía Magdalena, Cabo San Lázaro (Urbán y Flores, 1996), así como a lo largo de la costa oriental de la Península de Baja California. Asimismo se le ha visto en el Golfo de Panamá, alrededor de las Galápagos y en muchas regiones ecuatoriales. Esto sugiere que el rorcual de Bryde se distribuye desde Baja California hasta el ecuador (Leatherwood *et al.* 1988; Urbán y Flores, 1996).

El rorcual de Bryde se alimenta de una gran variedad de organismos. Se les ha observado en la costa occidental de la Península de Baja California alimentándose de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) y sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) (Tershy, 1992, Tershy *et al.* 1993). En el Golfo de California se le ha visto alimentándose de sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*), sardina crinuda (*Opisthonema libertate*) y en algunas ocasiones de eufáusidos (*Nyctiphanes simplex*) (Urbán y Flores, 1996). Urbán *et al.* (1991) reportan que el alimento del rorcual de Bryde en la Bahía de la Paz consiste de sardinas y eufáusidos.

En relación a su distribución espacio-temporal, época reproductiva y preferencia alimentaria, se sugieren diferencias entre los individuos del norte y sur del Golfo de California (Urbán y Flores, 1996). Dichas diferencias parecen conformar dos poblaciones en el Golfo de California, según un análisis de parsimonia de ADN mitocondrial (Dizon *et al.* 1995). En su estudio, Dizon *et al.* (1995) sugieren la presencia de una población con distribución restringida al Golfo de California y una segunda población con amplia distribución en la costa occidental de la Península de Baja California y Pacífico oriental tropical. A pesar de la alta

incidencia del rorcual de Bryde en el Golfo de California y los estudios previos sobre su ecología poblacional y alimentaria en esta región, aún no se pueden responder dos preguntas básicas: ¿Hay más de una población en el Golfo?, ¿Existen diferencias en la dieta de los individuos del norte *versus* sur en el Golfo?

Por tal motivo surge la necesidad de aproximaciones biogeoquímicas con el fin de responder a estas incógnitas. El análisis de isótopos estables y ácidos grasos en tejidos animales aportan información de forma eficiente sobre aspectos de la migración, alimentación, estado de salud de animales que son difíciles de estudiar, principalmente por el medio donde viven y por sus largas migraciones, como las ballenas (Hobson, 1999; Iverson *et al.* 2004; Herman *et al.* 2005; Budge *et al.* 2006; Yunoki *et al.* 2008).

En el presente estudio se determinaron la variabilidad de los isótopos de $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ y los perfiles de ácidos grasos de reserva y estructurales de la piel y grasa, del rorcual de Bryde del Golfo de California, para discernir si existen diferencias de dieta y poblacionales entre individuos de la región norte *versus* región sur.

ANTECEDENTES

Generalidades de la especie

Rorcual de Bryde

El rorcual de Bryde (*Balaenoptera edeni*) (Anderson, 1879), es una ballena de cuerpo “esbelto” que alcanza un máximo de 14.6 metros. El peso promedio en adultos es de 12 a 20 toneladas. Las crías al nacer miden de 3.4 a 4 metros y pesan cerca de 900 kilogramos. La envergadura de la aleta caudal abarca cerca el 20% de la longitud total de su cuerpo y tiene una muesca característica de la especie. La cabeza presenta tres crestas laterales que corren desde la punta del rostro hasta los orificios nasales (una cresta a cada lado de la cresta central característica de la familia Balaenoptéridae. (Reeves *et al.* 2002; Figura 1).



Figura 1. El rorcual de Bryde. Reeves *et al.* 2002.

Los estudios realizados en isótopos estables y de ácidos grasos en tejido epitelial (piel) y tejido adiposo subcutáneo (grasa) de ballenas de México se restringen al de Gendron *et al.* (2001), con *Balaenoptera physalus*. Nolasco (2003), con *Megaptera novaeangliae*. Jaume (2004) con, *Balaenoptera physalus*. Rueda (2007) y Busquets-Vass (2008) con, *Balaenoptera musculus*.

Isótopos estables

Los análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) son una herramienta útil para conocer sobre la ecología alimentaria de las especies animales, debido a que puede obtenerse la señal isotópica del alimento que ha sido metabolizado y asimilado por el consumidor (O'Really *et al.* 2002), asimismo aportan información de su hábitat, debido a que se pueden marcar las señales isotópicas desde la base de la cadena trófica hasta el depredador, en función de

los procesos biogeoquímicos que se llevan a cabo en los ecosistemas en los que viven los organismos (Hobson, 1999). Esta técnica se ha empleado para realizar estudios en especies de mamíferos marinos debido a que la mayoría viven en hábitats poco accesible que dificultan su estudio (Newsome *et al.* 2010).

En general, existe bioacumulación de los isótopos pesados en los tejidos; mientras que los isótopos ligeros son excretados más fácilmente por el metabolismo. Este hecho permite discriminar entre niveles tróficos, ya que entre cada consumidor y su dieta hay un enriquecimiento isotópico que hipotéticamente es de 0 a 1 ‰ para $\delta^{13}\text{C}$ (DeNiro y Epstein, 1978) y de 3 a 5 ‰ para $\delta^{15}\text{N}$ (DeNiro y Epstein 1981a y Peterson y Fry 1987). En general las diferencias en la señal isotópica del carbono proveen información de las fuentes primarias de energía (por ejemplo; para distinguir fotosíntesis bentónica, costera o pelágica), mientras que el nitrógeno permite discriminar entre niveles tróficos relativos (O'Really *et al.* 2002).

Ácidos grasos

Los ácidos grasos representan un grupo extenso de moléculas las cuales constituyen la mayoría de los lípidos que se encuentran en todos los organismos (Budge *et al.* 2006). Están formados generalmente por un número par de carbonos con un grupo carboxilo en un extremo. En tejidos de animales, los ácidos grasos comunes forman cadenas de 14 a 22 carbonos. Se reconocen ácidos grasos saturados; los más abundantes en plantas y animales, compuestos de 14, 16 y 18 átomos de carbono, y con los carbonos ocupando todo sus enlaces, ácidos grasos insaturados (con dobles enlaces). Los ácidos grasos insaturados se agrupan en monoinsaturados; si solo presenta un doble enlace y polinsaturado; cuando presentan dos o más enlaces (Christie, 2003). También existen los ácidos grasos esenciales, los cuales son aquellos que no pueden ser sintetizados por los vertebrados en general y por mamíferos marinos en particular, estos solo pueden ser obtenidos por medio de la dieta (Christie, 1989).

Los ácidos grasos en los animales de acuerdo a su función se clasifican en: de reserva (neutros), *función energética*, constituyen la principal reserva energética, conformada en su mayoría por triglicéridos (esto permite inferir rutas tróficas, la

dieta y hábitos de alimentación). Los ácidos grasos de estructura (polares), *función estructural*, forman las bicapas lipídicas de las membranas, compuestas en su mayoría de fosfolípidos y esfingolípidos (esta característica permite diferenciar entre poblaciones, grupos o zonas geográficas) (Tabla 1), y los ácidos grasos de regulación, *función reguladora*, pueden ser precursores de sustancias llamadas eicosanoides o icosanoides, que regulan procesos como la vaso dilatación, vaso constricción, coagulación e inflamación (Christie, 1989; Iverson *et al.* 2004).

Tabla 1. Ácidos grasos considerados como biomarcadores tróficos y de fosfolípidos.

Nombre genérico	Ácido graso biomarcador trófico y su origen	Ácido graso de fosfolípidos¹
Mirístico	14:0, Diatomeas ²	14:0
Pentadecanoico	15:0, Bacterias ³	15:0
Palmitico	16:0, Bacterias ³	16:0
Gadoléico		16:1n11
Palmitoleico	16:1 n-7, Diatomeas ²	
Margárico	17:0, Bacterias ³	17:0
Esteárico		18:0
Oléico		18:1n9
Vaccénico		18:1n7
Linoleico	18:2 n-6, Plantas ⁴	18:2n6
Alfa-linolénico	18:3 n-3, Plantas ⁴	
Estearidónico	18:4 n-3, Dinoflagelados ⁵	
Araquídico		20:0
Gadoleico	20:1 n-11, Zooplancton ⁶	
Gondoico	20:1 n-9, Zooplancton ⁶	
Araquidónico	20:4 n-6, Fitoplancton ⁵	20:4n6
Timnodónico	20:5 n-3, Diatomeas ²	20:5n3
Cetoleico	22:1 n-11, Zooplancton ⁶	
Erúcico	22:1 n-9, Zooplancton ⁶	
Clupanodónico		22:5n3
Docasahexanoico	22:6 n-3, Dinoflagelados ⁴	22:6n3

¹Cristie, 2003, ²Mourente *et al.* 1990, ³Parrish *et al.* 2009, ⁴Bergé y Barnathan, 2005, ⁵Copeman *et al.* 2009, ⁶Cohen *et al.* 1995, ⁶Parrish *et al.* 2000.

Recientemente, en Bahía Magdalena B.C.S., Rodríguez-Valenzuela, (2009) logró rastrear los ácidos grasos biomarcadores de fitoplancton y bacterias de *detritus* en niveles trófico de dos cadenas alimenticias en periodo frío y periodo cálido. El rastreo se logró hasta llegar al depredador tope, el lobo marino de California (*Zalophus californianus*). Tanto el lobo marino como sus presas principales (*Sardinops caeruleus*, *Merluccius angustimanus*, *Kathetostoma avarruncus*) presentaron la mayor concentración de los ácidos grasos polinsaturados y los ácidos grasos esenciales, indicando una transferencia eficiente de estos ácidos grasos a lo largo de las rutas trófica.

Borobia *et al.* (1995) encontraron diferencias en la composición y en el $\delta^{13}\text{C}$ en los ácidos grasos de muestras de dermis de *Megaptera novaeangliae* y *Balaenoptera physalus* del Golfo de San Lorenzo, Canadá. Los ácidos grasos que generaron la diferencia fueron: (12:0, 13:0, 14:0, 16:0, 17:0, 18:1 n9, 18:1 n7, 18:1 n5, 20:0, 20:5 n3 y 22:6n3). Así como el valor del $\delta^{13}\text{C}$, que en *M. novaeangliae* fue de -25.8 ‰ y de -25.5 ‰ en *B. physalus*. Lo que indican que *M. novaeangliae* está ligeramente abajo en la posición trófica con respecto a *B. physalus*. Esto es importante ya que aparentemente la variación en la composición de ácidos grasos está más relacionada con variaciones de la dieta que con diferencias metabólicas.

Pauly *et al.* (1998) estimaron la composición de la dieta de 97 especies de mamíferos marinos a partir de una recopilación de información sobre cetáceos, carnívoros y sirenios, los autores propusieron ocho categorías de presas potenciales. Según estas categorías, rorcual de Bryde se ubica en un nivel trófico de 3.7 debido a su dieta basada en zooplancton, peces pelágicos pequeños, peces mesopelágicos y diversos peces (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadro de composición de dieta y Nivel Trófico (NT) de cuatro especies de ballenas.

Especie	Dieta						NT
	IB	MZ	CP	PP	PM	PD	
Rorcual de aleta		0.8	0.05	0.05	0.05	0.05	3.4
<i>Balaenoptera physalus</i>							
Ballena azul		1					3.2
<i>Balaenoptera musculus</i>							
Rorcual aliblanco		0.65		0.3		0.05	3.4
<i>Balaenoptera acuturostrata</i>							
Rorcual de Bryde		0.4		0.2	0.2	0.2	3.7
<i>Balaenoptera edeni</i>							

IB: Invertebrados bentónicos, MZ: Macrozooplancton, CP: Calamar Pequeño, CG: Calamar Gigante, PP: Peces pequeños, PM: Peces mesopelágicos, PD: Peces diversos, GI: Invertebrados grandes (Pauly *et al.* 1998).

En un estudio sobre rorcual aliblanco (*Balaenoptera acuturostrata*), Olsen y Grahl-Nielsen (2003) encontraron diferencias en la composición de los ácidos grasos en la capa de grasa de rorcual aliblanco del mar de Noruega y mar del Norte. También observaron que los ácidos grasos saturados y de cadena corta, en especial ω -3 polinsaturados, aumentan hacia la capa más interna de la grasa y que se asocian con la dieta a corto plazo. Los ácidos grasos monoinsaturados y los ω -6 se

encontraron en mayor cantidad en la capa más externa y se relacionaron con los cambios en la dieta ocurridos a largo plazo y por consiguiente a la separación geográfica. Concluyendo que la determinación de perfiles de ácidos grasos de la grasa de rorcual puede ser usada para la identificación de poblaciones.

A partir de diferencias en los ácidos grasos de fosfolípidos de la aleta caudal de cachalote (*Physeter macrocephalus*), Cruz-Vizcaíno (2005) sugiere la existencia de al menos dos sub-poblaciones en el Golfo de California. Los ácidos grasos que generaron estas diferencias fueron los monoinsaturados 16:1n9, 16:1n7, 20:1n11, 20:1n9 y 22:1n11.

Traconis (2010) analizó los perfiles de ácidos grasos de reserva y los ácidos grasos de fosfolípidos en grasa y piel de delfín calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*) de las regiones central y sur del Golfo de California. El autor encontró diferencias en los ácidos grasos de reserva entre delfines de la región central *versus* región sur. Las cuales atribuyo a diferencias en las rutas tróficas de los delfines calderón de estas dos regiones. Asimismo encontró diferencias entre los ácidos grasos estructurales de la piel, sugiriendo la presencia de dos grupos de calderones en el Golfo de California.

Gendron *et al.* (2001) analizaron los valores de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la piel y muestras de excretas de *Balaenoptera physalus*, *Balaenoptera musculus* y *Balaenoptera edeni*, en la Bahía de la Paz. Asimismo analizaron los isótopos de sus presas (tres y cuatro muestras de eufáusidos y sardinas, respectivamente), además de una muestra de rorcual azul y tres de rorcual de aleta. Con el valor isotópico del $\delta^{15}\text{N}$ encontraron que *Balaenoptera edeni* es ictiófago. Así mismo La diferencia en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para el *Balaenoptera physalus* ($x=-16.0\text{‰}$) y *Balaenoptera edeni* ($x=-18.1\text{‰}$) se interpreta que tienen preferencia por distintas presas o que se congregan en distintas zonas de alimentación.

Nolasco (2003) analizó la composición de ácidos grasos y el contenido calórico de la dermis superficial de ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) que invernan en el Archipiélago Revillagigedo. El autor encontró variaciones entre clases de sexo

y estado reproductivo que sugieren una restricción en la asimilación de reservas de grasa en las hembras y en su transferencia a sus crías.

Jaume (2004) con base en foto-recaptura de identificación y análisis de isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en temporadas fría y cálida, confirmó que el rorcual de aleta (*Balaenoptera physalus*) del Golfo de California cambia su dieta a lo largo del año, durante invierno se alimenta de eufáusidos, y en la temporada cálida se alimenta de organismos de mayor nivel trófico (posiblemente sardinas).

Rueda (2007) analizó el perfil de ácidos grasos de reserva y estructurales de ballena azul (*Balaenoptera musculus*), incluyendo crías, hembras lactantes, hembras y machos adultos en el Golfo de California, en donde concluye que los perfiles de ácidos grasos de reserva y estructurales varían en función de las categorías y el sexo. Las condiciones fisiológicas, como la lactancia en hembras lactantes, y el metabolismo propio de cada categoría, son factores determinantes en la diferenciación de grupos de ballenas azules cuando se emplean perfiles de ácidos grasos.

Busquets-Vass (2008), determinó la variabilidad de isótopos estables de nitrógeno y carbono en piel de ballena azul, que migran entre la costa occidental de California y el Golfo de California, encontrando que los valores bajos de $\delta^{15}\text{N}$ pueden representar la señal isotópica de las costas de California y la costa occidental de Baja California, cuya productividad primaria se basa en gran medida en las surgencias costeras, donde las ballenas se alimentan en verano-otoño, mientras que los valores altos (abril) corresponden a la señal isotópica del Golfo de California.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación académica

Los estudios tróficos en cetáceos se basan en técnicas químicas y bioquímicas que complementan los estudios de contenidos estomacales, como los análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno (Gendron *et al.* 2001; Jaume, 2004; Busquets-Vass, 2008). El análisis de isótopos permite determinar niveles tróficos relativos, así como distinguir fuentes primarias potenciales que contribuyen a la red trófica (Das *et al.* 2003; Díaz-Gamboa, 2003). Por su parte, los ácidos grasos de reserva son indicadores del alimento de cetáceos debido a que las cadenas de más de 14 carbonos son más difíciles de digerir que los carbohidratos o las proteínas y pueden ser depositadas en los tejidos animales prácticamente sin modificaciones (Smith *et al.* 1997). Además, el análisis de estos ácidos permite identificar poblaciones usando muestras de piel y grasa subcutánea (Nielsen, 2003; Iverson *et al.* 2004; Budge *et al.* 2006; Yunoki *et al.* 2008; Traconis, 2010).

El presente estudio plantea un análisis conjunto de isótopos estables y ácidos grasos para discernir si existen diferencias en la alimentación de los rorcuales de Bryde del norte del Golfo de California *versus* sur, así como para saber si existe más de una población de esta especie en la región.

Hipótesis

En el Golfo de California cohabitan al menos dos unidades poblacionales diferentes de rorcual de Bryde que pueden ser distinguidas con base en los análisis de sus isótopos estables y ácidos grasos.

OBJETIVOS

General

Describir la variabilidad alimentaria e identificar unidades poblacionales de *Balaenoptera edeni* en el occidente del Golfo de California mediante el análisis de isótopos estables y ácidos grasos.

Particulares

- Determinar valores de los isótopos estables de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en *Balaenoptera edeni*, *Sardinops caeruleus* y *Nyctiphanes simplex*.
- Determinar valores de ácidos grasos neutros y polares de *Balaenoptera edeni*.
- Recopilar información de perfiles de ácidos grasos y marcadores de isótopos estables de posibles presas de *Balaenoptera edeni*, sedimento y material orgánico particulado en el Golfo de California.

ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California o Mar de Cortés abarca 278,000 km² y se extiende a nueve grados de latitud entre las zonas tropicales y templadas. Es una cuenca oceánica semi cerrada ubicada en el Océano Pacífico nororiental entre la Península de Baja California y la región continental de México. Su extensión es de entre 150 a 200 km a lo ancho y 1400 km de largo. El Golfo es un área subtropical de alta productividad primaria debido a sus características oceanográficas que presentan procesos de mezcla por mareas y surgencias estacionales. Las surgencias en la costa este transcurren durante el invierno y primavera con vientos del noroeste y en la costa oeste durante el verano con vientos del sureste (Álvarez-Borrogo y Lara-Lara, 1991), estos procesos causan una excepcional productividad del fitoplancton con tasas en el Golfo de dos a tres veces mayores que en el océano abierto del Atlántico o del Pacífico a latitudes similares (Valdéz-Holguín y Lara-Lara, 1987). La temperatura superficial en el Golfo de California puede variar ampliamente, con temperaturas inferiores a los 12°C en invierno hasta alcanzar los 33°C durante el verano (Roden y Emilsson, 1980).

Existen varias regionalizaciones del Golfo, una de ellas es la propuesta por Round, (1967), que utilizó la distribución y abundancia de fitoplancton. Describe cuatro regiones dentro del Golfo de California: La región de entrada mantiene condiciones oceánicas, sus cuencas alcanzan profundidades de más de 3600 metros de profundidad. El agua profunda en estas cuencas es una intrusión de la masa subsuperficial ecuatorial, caracterizada por una capa mínima de oxígeno (Brusca y Findley, 2005). La región sur, mantiene también condiciones oceánicas, sus cuencas alcanzan hasta los 3000 metros de profundidad, La Bahía de la Paz, pertenece a la región del sur la cual presenta una alta productividad primaria en invierno y primavera, que es atribuida al florecimiento de diatomeas por mantener altas densidades zooplanctónicas, lo contrario a lo que sucede en el verano, en el cual la productividad depende de las diatomeas, dinoflagelados, silicoflagelados y nanoplanctón (Del Angel *et al.* 2008).

La región del norte, sus cuencas alcanzan profundidades de hasta 500 metros, se caracteriza por mezclas fuertes ocasionadas por las mareas, alta incidencia de surgencias y por tener niveles de nutrientes altos durante todo el año que muestran muy poca variación estacional en comparación con las regiones de entrada y sur. La región del Alto Golfo, es un ecosistema con muy alta productividad primaria, que se reflejaría en presas y depredadores. La gran actividad microbiana que genera materia orgánica y los procesos de remineralización que ocurren en el delta del Río Colorado que producen fitoplancton muy enriquecido, se ve reflejado en un valor del $\delta^{15}\text{N}$ de 12 ‰ en el material orgánico de la zona eufótica del Alto Golfo, en comparación con el valor de $\delta^{15}\text{N}$ de 9.3 ‰ del material orgánico de la zona eufótica de la cuenca del Carmen localizada al sur del Golfo de California (Aguíñiga, 1999; Altabet *et al.* 1999) (Figura 2).

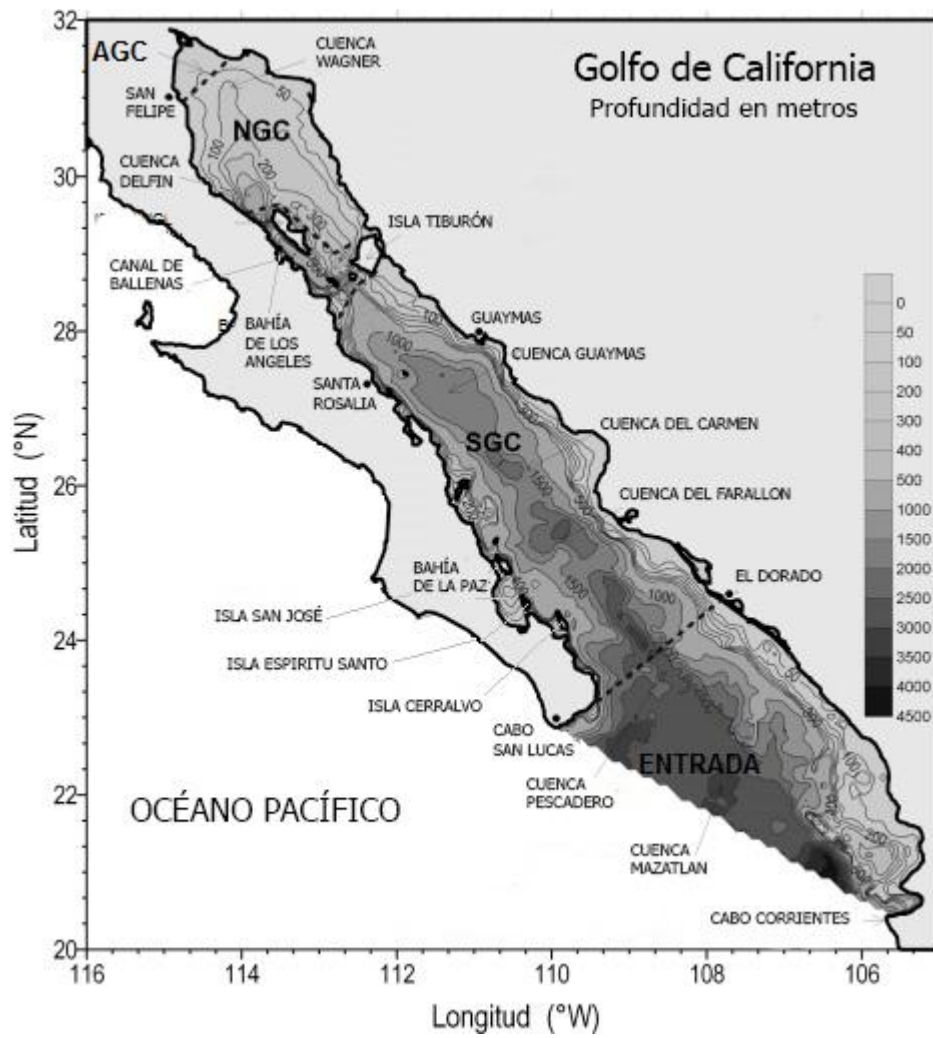


Figura 2. Regiones del Golfo de California con su batimetría.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta de datos y muestras

Se efectuaron viajes en el Golfo de California para registro de datos y colecta de muestras de tejido epitelial y adiposo subcutáneo del rorcual de Bryde. Las navegaciones se realizaron de manera no sistemáticas, en el Golfo entre los años de 2008 a 2011, en embarcaciones tipo barco de 50 pies, y panga de 25 pies de eslora con motor fuera de borda.

La toma de muestras se realizó una vez avistado e identificado el animal de interés. Se registraron datos, tales como nombre de la especie, número de individuos, tipo de grupo, posición geográfica, la hora y fecha del avistamiento, así como condiciones oceanográficas, tales como la temperatura superficial del mar, intensidad del viento en escala Beaufort, dirección del viento, entre otros datos ambientales. Posteriormente se tomaron fotos con cámaras réflex digitales (*modelo Nikon D300*) para la foto-identificación de individuos y finalmente se procedió a la toma de muestras de tejidos epitelial y adiposo subcutáneo se hizo en la parte dorsal del animal, usando dardos especiales para toma de muestras (pequeños cilindros de 3 a 4 cm de longitud por 0.8 cm de diámetro) según la metodología descrita por Fossi *et al.* (1997). Los dardos para biopsia se montaron en flechas modificadas, las cuales se dispararon con una ballesta (*Horton, Forceteel* de 67 Kg de potencia de disparo), tirando a una distancia de 10 a 25 m del animal.

Inmediatamente posterior a la toma de muestra los tejidos se procesaron para ser almacenados y transportados a laboratorio. El tejido epidérmico se dividió en dos partes; una de las partes fue aislada y otra se preservó junto con el tejido adiposo. La muestra con tejido epidérmico y adiposo se envolvió en papel aluminio y fue guardada dentro de un vial en un contenedor de nitrógeno líquido (*modelo SC 20/20 MVE Nitrogen Tank*), a -180 C. La muestra de tejido epidérmico aislada fue seccionada en dos partes; una se preservó en un vial con alcohol etílico absoluto ACS, y posteriormente se preservó en un congelador horizontal (*modelo FCM25SB GE®* de 24.9 pies cúbicos) a -10°C hasta efectuar su análisis genético y molecular.

La otra parte de muestra se almacenó en seco dentro de un vial y se preservó a -10°C para posteriormente lograr la determinación de isótopos estables.

Se recolecto un individuo de sardina monterrey (*Sardinops caeruleus*), durante el verano de 2011 en la Bahía de La Paz, el cual se preservó a -10°C para posteriormente realizar la determinación de isótopos estables.

Trabajo de Laboratorio

Determinación de marcadores de Isótopos estables

Cada muestra de piel se secó por 24 horas en un horno (*horno de bombillas incandescentes de 60 watts*) a 50°C. Después, para la extracción de los lípidos las muestras fueron colocadas en vasos para extracción con 20 mL de una solución 2:1 de Cloroformo-Metanol (grado HPLC) previamente preparada siguiendo el protocolo del manual del horno de microondas (*modelo MARS5 FALCON*) del laboratorio de Química Marina del CICIMAR. La extracción de lípidos de la piel se realizó elevando la potencia del horno de 20 kW a 100 kW en una rampa de calentamiento de 10 minutos, después de lo cual se mantuvo la potencia a 100 kW hasta alcanzar una temperatura de 100°C que se mantuvo por 10 minutos, transcurrido este tiempo el sistema tiene un periodo de enfriamiento de 10 minutos en el cual la temperatura de los solventes baja hasta ~60°C. Los solventes con el material lipídico son desechados. Posteriormente las muestras fueron colocadas en un horno (*horno de bombillas incandescentes de 60 watts*) a 50°C hasta evaporación total de solvente. Una vez seca y libre de solvente, la muestra se homogenizó en un mortero de ágata y se almacenó en un desecador (*modelo Secador 3.0. Operación Automática 110v/60 Hz*). En una balanza analítica (*modelo Sartorius Micro, Premium ME5-F con capacidad mínima de 1µg*) se pesaron 2 mg. Esta muestra fue colocada en cápsulas de estaño.

Las muestras fueron enviadas a la Universidad de Davis en California, USA para su análisis isotópico. Los isótopos estables ^{13}C y de ^{15}N fueron medidos en un analizador elemental (*PDZ Europa ANCA GSL*) interconectado a un espectrómetro de masas isotópicas (*PDZ Europa 20-20 Sercon Ltd., Cheshire UK*), con una precisión en máxima desviación estándar de = 0.2‰ para ^{13}C y de 0.3‰ para ^{15}N .

Las diferencias relativas de las razones isotópicas estables entre las muestras y los estándares son expresadas como δ (Delta¹³C y de ¹⁵N) fueron obtenidas a partir de las razones medidas en la muestra y la de los elementos estándares usando la ecuación propuesta por De Niro y Epstein, (1981):

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

Donde: $\delta^{15}\text{N}$ ó $\delta^{13}\text{C}$ es la diferencia expresada en partes por mil (‰) entre el contenido de ¹⁵N/¹⁴N ó ¹³C/¹²C de la muestra *versus* la del estándar. R muestras y R estándar son las razones de ¹⁵N/¹⁴N ó ¹³C/¹²C para la muestra y el estándar, respectivamente (Unkovich *et al.* 2001).

Comparación estadística

Una vez obtenido el $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de todas las muestras, se verificó si estos valores se ajustan a una distribución normal, mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Simrnov ($p > 0.02$), y si presentan homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett $p > 0.05$). De esta manera se determinó, la posibilidad de utilizar una prueba paramétrica. Las comparaciones fueron realizadas por medio de una prueba *t* cuando se compararon únicamente dos series de valores o bien una ANOVA cuando fueron más de dos series de valores.

Cuando la distribución de las frecuencias de los valores no se asemejó a una curva normal o bien no hubo homogeneidad en sus varianzas, se utilizó el método de remuestreo aleatorio con un análisis de varianza (ANOVA) apoyado en una serie de simulaciones Monte Carlo, con los cuales mediante el remuestreo aleatorio a partir de los valores obtenidos del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, obtuvimos la variación natural del modelo de acuerdo con esos valores, tal como lo sugiere Buckland, (1984). Para lograr lo anterior, se realizaron por separado 1000 simulaciones de la estimación, se determinó un intervalo por medio del método de los percentiles y los intervalos inferior y superior al 0.05 y al 0.95 con un intervalo de confianza de 95%.

Se realizaron dos estimaciones de la posición trófica propuesta por Post (2002), para determinar si hubo variación en la posición trófica en las muestras de piel.

$$PT = \lambda + \frac{\delta^{15}N_{depredador} - \delta^{15}N_{base}}{\Delta n} \quad (\text{Post, 2002}).$$

Donde: λ = Posición trófica de las presas del rorcual tropical de bryde reportadas en el Golfo de California *Nyctiphanes simplex* y *Sardinops caeruleus* (Urbán y Flores, 1996).

$\delta^{15}N_{depredador}$ = Valor promedio de la señal de $\delta^{15}N$ directamente de la piel del rorcual.

$\delta^{15}N_{base}$ = Valor de $\delta^{15}N$ de la presa

Δn = 3.4 que es el valor de fraccionamiento isotópico propuesto por Post (2002).

$$PT = \lambda + \frac{\delta^{15}N_{depredador} - \delta^{15}N_{base}}{\Delta n} \quad (\text{Post, 2002}).$$

Donde:

λ = Posición trófica del Material Orgánico Particulado (MOP)

Δn = Valor teórico de enriquecimiento en $\delta^{15}N$ por nivel trófico (3.4‰, Post, 2002).

$\delta^{15}N_{depredador}$ = Promedio de la determinación de $\delta^{15}N$ de *Balaenoptera edeni*.

$\delta^{15}N_{base}$ = Determinación de $\delta^{15}N$ del MOP de 10.4‰ para el Golfo de California propuesto por (Aguñiga *et al.* 2007), el cual cumple con los criterios propuestos por Post (2002), el cual muestra una firma isotópica en una escala de tiempo de vida corta o larga en el consumidor.

Análisis de ácidos grasos

En el laboratorio se separaron la grasa de la piel y se analizó cada tejido por separado. Con la finalidad de conocer el porcentaje de lípidos, tanto para la grasa como para la piel, se obtuvo el extracto lipídico total con el método de Folch *et al.* (1957). La cuantificación de lípidos totales se realizó con una alícuota del extracto

lipídico total utilizando el método de Marsh y Weinstein, (1966). Posterior a la cuantificación de los lípidos totales, se separaron los lípidos neutros y polares de cada tejido con la finalidad de precisar en que ácidos grasos existían diferencias y así atribuirlos al alimento o a las características propias de los individuos (Traconis, 2010).

El extracto resultante de los lípidos totales se sometió a una cromatografía de capa sólida para separar los lípidos neutros y polares. Para esto se utilizó, sílica gel precalcínada a 450°C por 4 horas. Enseguida la sílica se activó parcialmente, rehidratándola con 6% de agua destilada y homogenizando con un roto-evaporador (*Buchi modelo R-215*) durante 30 minutos. La sílica activada se empacó en una pipeta Pasteur. Donde se vertió 1 mL del extracto lipídico total y se procedió a realizar la cromatografía de fase sólida agregando mezclas de solventes orgánicos de acuerdo a la polaridad más afin (las clases de lípidos polares se arrastrarán con solventes polares). La separación de las clases de lípidos se realizó de acuerdo al índice de polaridad de cada solvente (Cristie, 1989), mediante el goteo constante de una mezcla de cloroformo: metanol (98:2) (10 mL) para obtener los eluatos de lípidos neutros y 15 mL de metanol aplicados por goteo en la misma columna para obtener los eluatos conteniendo los lípidos polares (Cristie, 1989).

Para obtener metil-ésteres de los lípidos neutros y polares, se aplicó una derivatización ácida (Sato y Murata, 1988), adicionando 2.5 mL de HCl: metanol (5.95 v/v) a los lípidos neutros y polares, permaneciendo 2.5 horas en baño María a 85°C en un termo-baño (*TE-B40A de 450 watts*). Los metil-ésteres fueron extraídos mediante dos lavados de hexano de 2 mL cada uno e inyectados en un cromatógrafo de gases-espectrómetro de masas (*Varian 3800 GC*), dando como resultado un cromatograma. Cada pico del cromatograma está asociado a un espectro de masas (fragmentograma) el cual se identificó por interpretación de espectros mediante un software (*Wsearch32. ver 1.6.2005*) donde se compararon con una mezcla de 37 estándares (*SUPELCO 47885-U estándar*) encontrados comúnmente en organismos marinos. La cuantificación se realizó mediante la interpolación de las áreas bajo el pico de cada ácido graso con la curva de calibración de los mismos 37 estándares realizada con cinco puntos utilizando las

siguientes concentraciones: 5, 10, 20, 40 y 80 $\mu\text{g mL}^{-1}$. La concentración de ácidos grasos totales ($\mu\text{g/mL}^{-1}$) está considerada como el 100% y la concentración de cada ácido graso como porcentaje proporcional del total.

Comparación estadística.

Se realizaron pruebas de ANOVA en el contenido de lípidos totales para ver si existían diferencias significativas entre grupos. Para los ácidos grasos de reserva de la grasa y piel se realizaron análisis de componentes principales utilizando todos los ácidos grasos, esto para observar cómo se distribuyen las muestras del rorcual de Bryde. Posteriormente, se realizaron análisis de funciones discriminantes en los ácidos grasos de reserva considerados como biomarcadores tróficos, para ver el ordenamiento de los datos de acuerdo a afinidades en los hábitos alimentarios, y en los ácidos grasos estructurales de la piel para identificar unidades poblacionales.

Para la realización de los análisis estadísticos se utilizaron los programas de Statistica versión 8.0. (*Copyright Stat Soft. Inc. 1984-2007*), Microsoft Excel 2010 y Minitab 16. 2010 (*Minitab Inc.*). Asimismo se utilizó el programa de SigmaPlot (*Windows Versión 11.0 Build 11.0.0.77 Copyright 2008 Syt Software, INC.*) para la elaboración de los gráficos.

RESULTADOS

Se analizaron isótopos estables y ácidos grasos en 27 y 17 muestras, respectivamente. Del total de muestras, del rorcual de Bryde seis representan la región norte, una la región central y 18 la región sur. Todas fueron recolectadas entre el 2008 y 2011 (Figura 3, Tabla 3).



Figura 3. Ubicación de muestras recolectadas del 2008 a 2011. Donde cada número indica el número de cada muestra.

Isótopos estables

Tabla 3. Muestras analizadas para el análisis de isótopos estables y de ácidos grasos.

#Muestra	Estación y año	Región	Clase de edad	Análisis efectuados. SI/NO	
				Isótopos	Ácidos grasos
1	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
2	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
3	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
4	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
5	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
6	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
7	Cálida-2008	Sur	Adulto	SI	NO
8	Fría-2009	Sur	Adulto	SI	NO
9	Fría-2009	Sur	Cría	SI	NO
10	Fría-2009	Norte	Adulto	SI	SI
11	Fría-2009	Norte	Adulto	SI	SI
12	Fría-2009	Norte	Cría	SI	SI
13	Fría-2009	Norte	Adulto	SI	SI
14	Fría-2009	Norte	Cría	SI	SI
15	Fría-2009	Norte	Adulto	SI	SI
16	Fría-2009	Centro	Adulto	SI	SI
17	Fría-2010	Sur	Adulto	SI	NO
18	Fría-2010	Sur	Adulto	SI	SI
19	Fría-2010	Sur	Adulto	SI	SI
20	Fría-2010	Sur	Adulto	SI	SI
21	Cálida-2010	Sur	Adulto	SI	NO
22	Cálida-2010	Sur	Adulto	SI	SI
23	Fría-2011	Sur	Adulto	SI	SI
24	Fría-2011	Sur	Adulto	SI	SI
25	Fría-2011	Sur	Adulto	SI	SI
26	Fría-2011	Sur	Adulto	SI	SI
27	Fría-2011	Sur	Adulto	SI	SI
28	Fría-2011	Sur	Adulto	NO	SI

Variabilidad en el $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la piel del rorcual de Bryde del Golfo de California.

No se encontraron diferencias significativas entre regiones para el $\delta^{15}\text{N}$ ($t=0.66411$; $p=0.514015$) con la prueba *t* de student; se calculó una media (\pm D.E.) de $18.5\pm 0.4\text{‰}$ para la región de norte y $18.0\pm 1.4\text{‰}$ para el sur. En contraste se encontró diferencias significativas en el $\delta^{13}\text{C}$ ($t=4.132636$; $p=0.00516$), la región Norte mostró un $\delta^{13}\text{C}$ más alto ($-15.9\pm 0.6\text{‰}$) que el sur ($-17.5\pm 0.7\text{‰}$). Cabe hacer notar la baja desviación estándar para el $\delta^{13}\text{C}$. La alta desviación estándar del $\delta^{15}\text{N}$ en las muestras del sur representadas por los triángulos de color rojo y las del norte representadas por los triángulos de color azul (Figura 4).

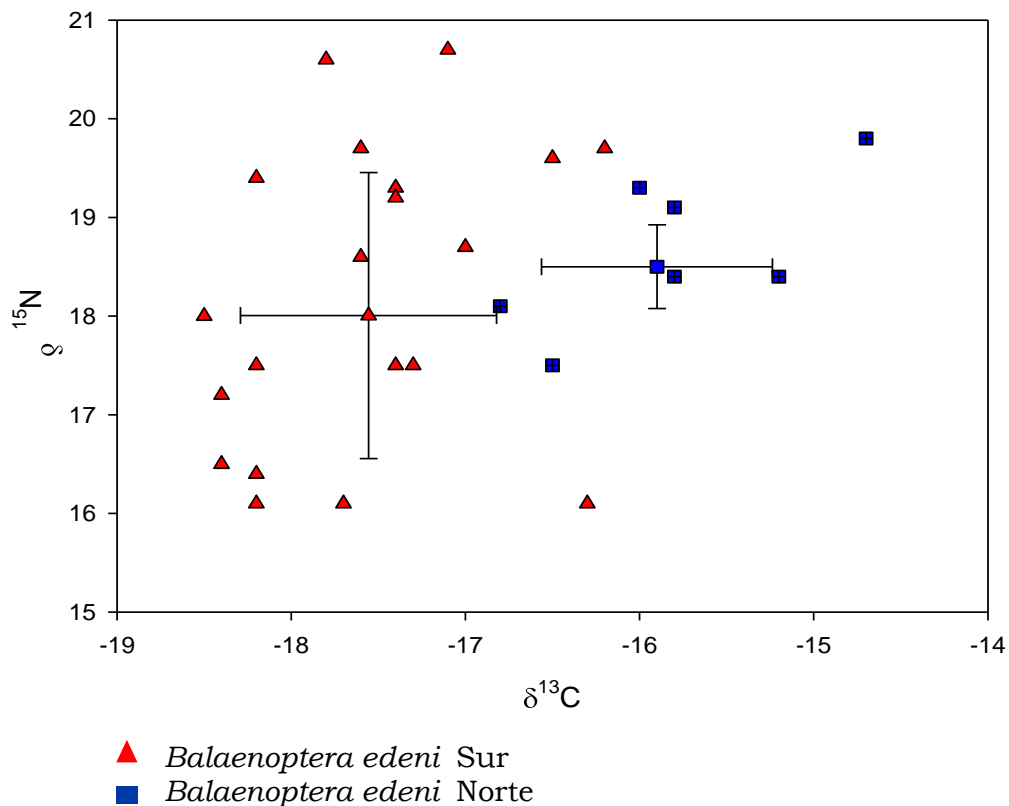


Figura 4. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de rorcual de Bryde del Golfo de California. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.

Con base en los resultados obtenidos en la comparación de las muestras del norte con las del sur, las muestras se agruparon y cotejaron de acuerdo con los siguientes criterios; clase de edad, temporada del año, región y año (Figura 5). Por otra parte se decidió descartar las muestras de crías (tres) debido al enriquecimiento isotópico del $\delta^{15}\text{N}$ inducido por la leche materna, como ha sido reportado en diferentes trabajos donde el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta en 2‰ (Busquets-Vass, 2008). Por tal motivo sólo se consideró muestras de clase de edad adulta.

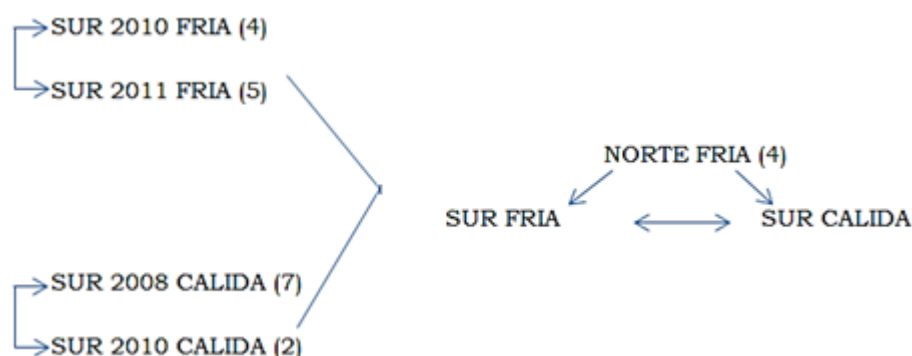


Figura 5. Comparación diseñada a posteriori como resultado de la variabilidad en el $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de la piel de los roscuales de Bryde del Golfo de California.

Interanual, en el sur del Golfo

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas tanto en el $\delta^{15}\text{N}$ ($t=-0.208153$; $p=0.848440$) como en el $\delta^{13}\text{C}$ ($t=0.806478$; $p=0.465184$) entre 2010 ($\delta^{15}\text{N}=16.8\pm 0.9\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}=-17.6\pm 0.8\text{‰}$) y 2011 ($\delta^{15}\text{N}=16.9\pm 0.6\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}=18\pm 0.4\text{‰}$). Se observa una desviación estándar muy baja (Figura 6a).

Tampoco se mostró diferencias significativas en el $\delta^{15}\text{N}$ ($t=0.100000$; $p=0.848440$) y en el $\delta^{13}\text{C}$ ($t=-2.333333$; $p=0.257762$) entre 2008 y 2010 ($\delta^{15}\text{N}=18.5\pm 1.4\text{‰}$; $\delta^{13}\text{C}=-17\pm 0.6\text{‰}$) (Figura 6b).

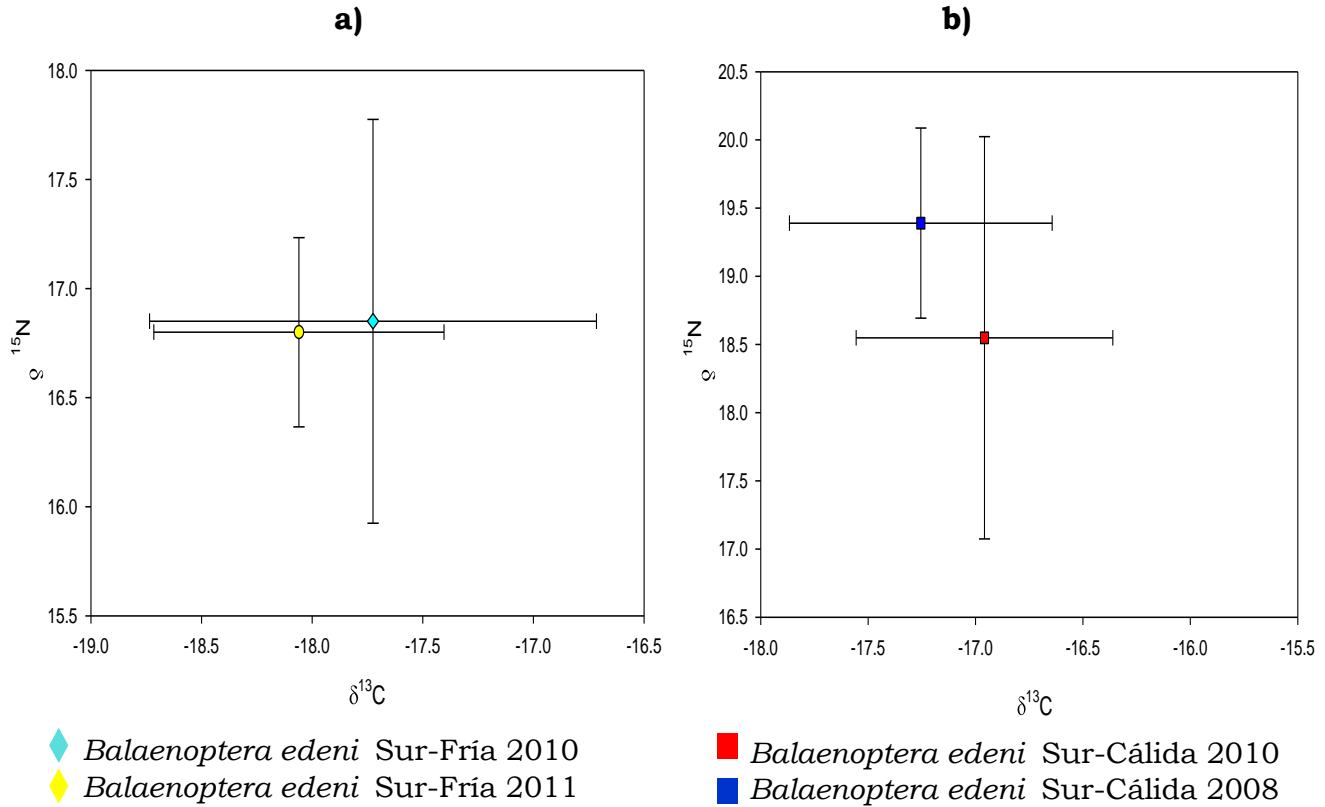


Figura 6. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de rorcual de Bryde del sur del Golfo de California. Por años. **a)** Temporada fría, **b)** temporada cálida. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.

Debido a que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ no cambiaron entre temporadas (cálida y fría). Se decidió aglomerar en un solo grupo a las muestras de Fría (Sur-Frío, $n=9$) y Cálida (Sur-cálida, $n=9$).

Intraanual, en el sur del Golfo

El análisis estadístico mostró diferencias en el $\delta^{15}\text{N}$ ($F=1.4$; $p=0.00013$) entre temporadas cálida y fría. El grupo de las muestras de Sur-Frío presentó un $\delta^{15}\text{N}$ (16.8 ± 0.7 ‰) mas bajo que el grupo Sur-Cálida $\delta^{15}\text{N}$ (19.1 ± 0.8 ‰).

Por otro lado no se encontró diferencias en el $\delta^{13}\text{C}$ ($F=1.4$; $P=0.6\%$). El grupo de las muestras Sur-Frío presentó un $\delta^{13}\text{C}$ similar al de Sur Cálida (17.9 ± 0.7 ‰, y -17.2 ± 0.5 ‰ respectivamente; Figura 7).

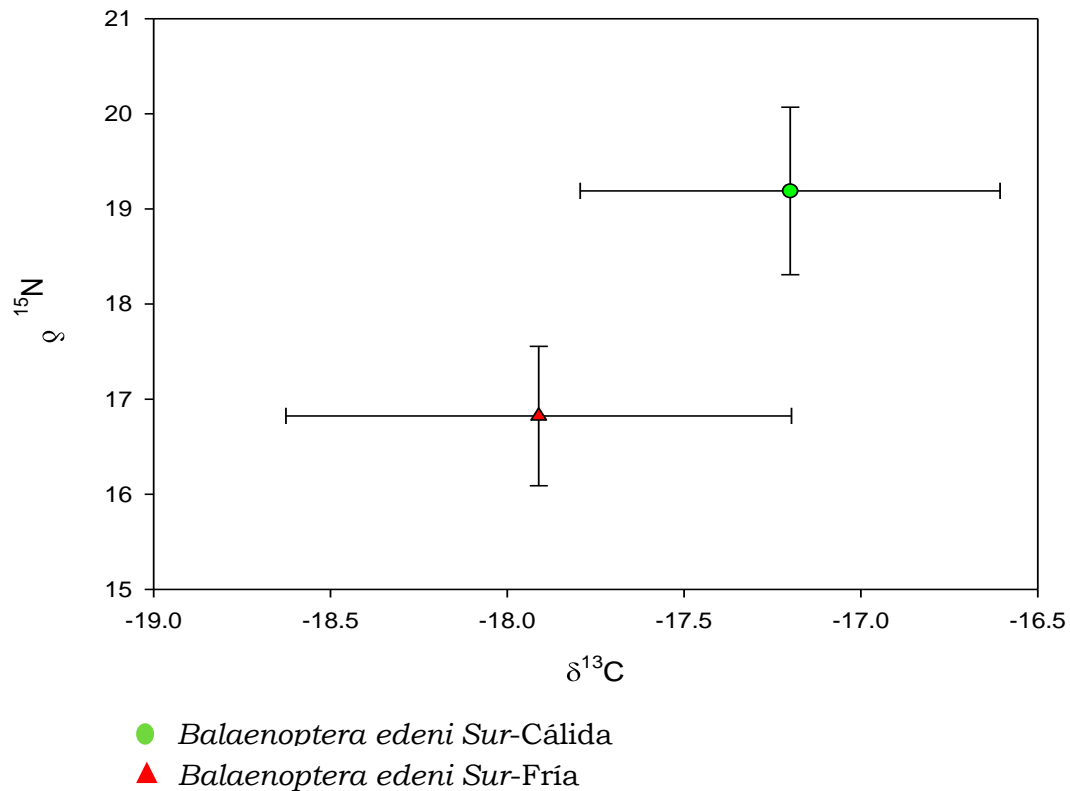


Figura 7. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ vs $\delta^{13}\text{C}$ en temporadas Cálida y Fría del rorcual de Bryde del sur del Golfo de California. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.

Regiones del Golfo

Se calcularon diferencias significativas en el $\delta^{15}\text{N}$ ($t=4.3$; $p=0.022152$) y el $\delta^{13}\text{C}$ ($t=4.7$; $p=0.000578$) entre los organismos del Norte y Sur en temporada fría. El grupo Norte-Fría presenta los valores mas altos para el $\delta^{15}\text{N}$ (18.5 ± 0.4 ‰) y el $\delta^{13}\text{C}$ (-15.9 ± 0.6 ‰). Estos valores contrastan con los valores del Sur-Fría ($\delta^{15}\text{N}$ 16.8 ± 0.9 ‰; $\delta^{13}\text{C}$ -17.9 ± 0.7 ‰) (Figura 8).

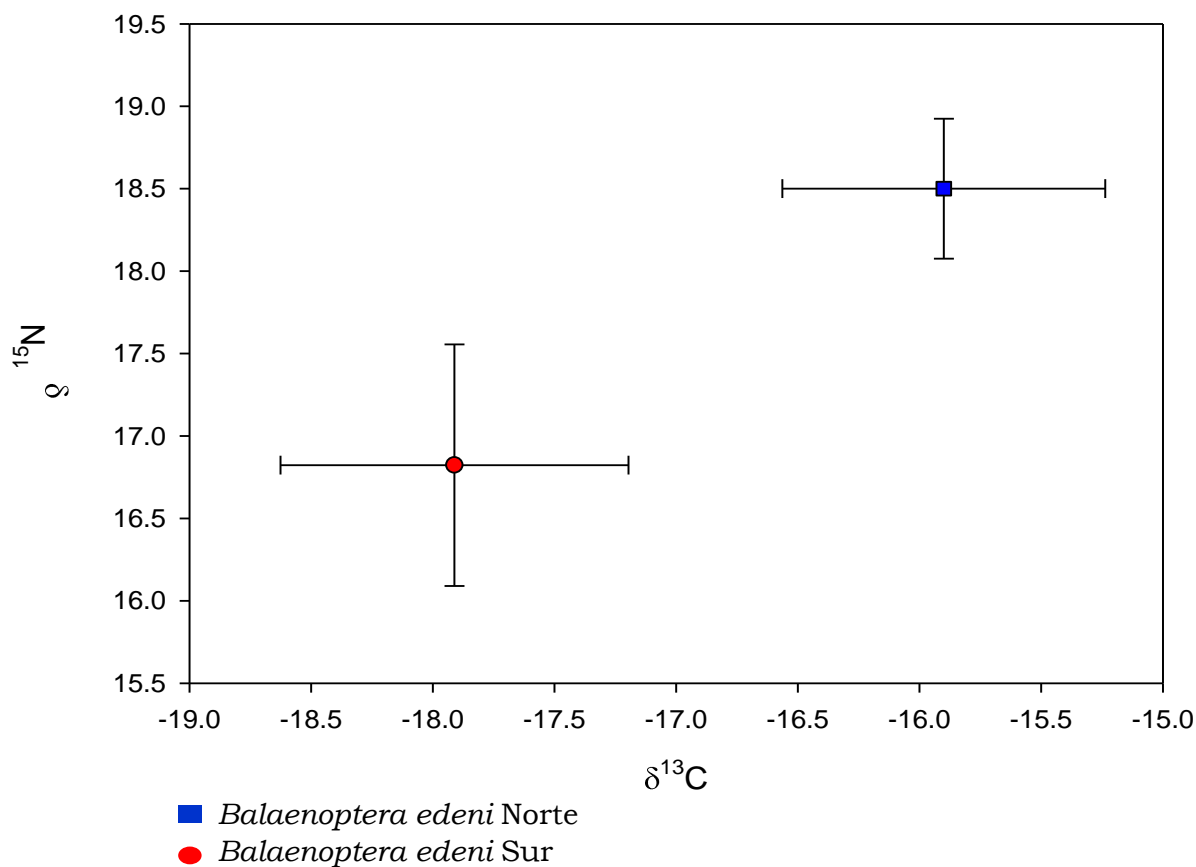


Figura 8. Valores del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en temporadas en piel de rorcual de Bryde del Sur y Norte del Golfo de California. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.

Los resultados de las comparaciones muestran diferencias principales por región intraanual, e interanual de las muestras del sur (Tabla 4).

Tabla 4. Comparaciones del $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California.

Comparación	(#) Muestra	(#) Muestra	Diferencias	
			$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Región	(20) Sur	(7) Norte	NO	SI
Interanual	(4) Sur Fría-2010	(5) Sur Fría 2011	NO	SI
Interanual	(7) Sur Cálida 2008	(2) Sur Cálida 2010	NO	NO
Intraanual	(9) Sur Fría	(9) Sur Cálida	SI	NO
Región- intraanual	(4) Norte Fría	(9) Sur Fría	SI	SI

Comparación isotópica de las presas por región

Las presas del Sur del Golfo de California fueron dos especies de peces y una de eufáusido (Tabla 5). Con respecto a los valores encontrados para el $\delta^{15}\text{N}$ (17.9 ± 3.1 ‰) y para el $\delta^{13}\text{C}$ (-17.55 ± 1.2 ‰) en los peces. Los valores promedio por especie de

peces fueron: *Sardinops caeruleus* $\delta^{15}\text{N}$ (17.3 ± 3.5 ‰) y para el $\delta^{13}\text{C}$ (-17.9 ± 1.3 ‰); mientras que los valores de *Scomber japonicus* $\delta^{15}\text{N}$ (19.7‰ y para el $\delta^{13}\text{C}$ - 16.5‰).

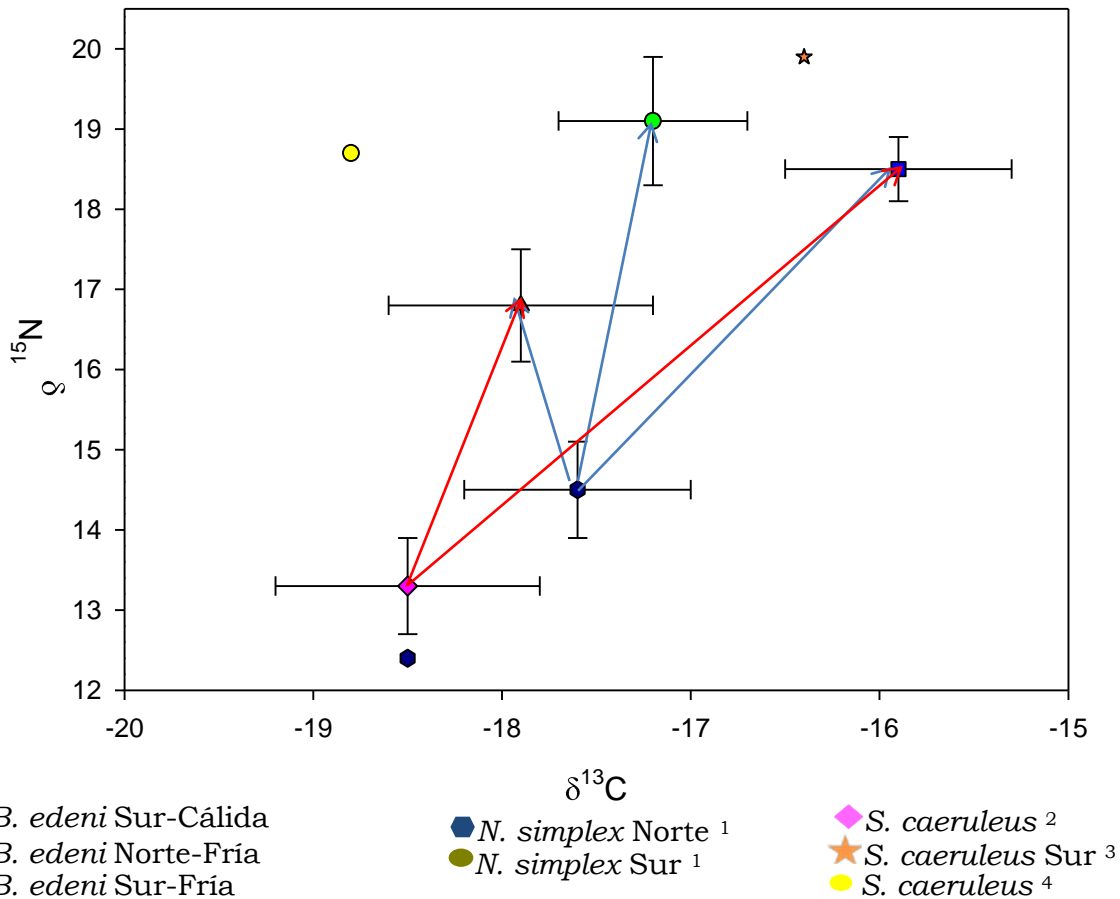
Para el caso del Norte del Golfo de California, solo se tiene el valor de una especie (Tabla 5).

Tabla 5. Razón isotópica y posición trófica de las especies presas del rorcual tropical del Golfo de California.

Especies presa	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	Posición trófica
<u>Norte del Golfo de California</u>			
¹ <i>Nyctiphanes simplex</i>	12.4	-18.5	^a 2.2
<u>Sur del Golfo de California</u>			
² <i>Sardinops caeruleus</i>	13.3	-18.5	^c 2.4
³ <i>Sardinops caeruleus</i>	19.9	-16.4	^c 2.4
⁴ <i>Sardinops caeruleus</i>	18.7	-18.1	^c 2.4
³ <i>Scomber japonicus</i>	19.7	-16.5	^c 3.1
¹ <i>Nyctiphanes simplex</i>	14.5	-17.6	^a 2.2

¹colectada en época fría de 2006 (Busquets-Vass, 2008), ²colectada en época fría de 1996 (Gendron *et al.* 2001), ³colectada en 2007 (Ochoa, 2009), ⁴colectada en época cálida de 2011. Los valores de nivel trófico se obtuvieron: ^a (Pauly, 1998) y ^b (www.fishbase.org).

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los grupos Norte-Fría y Sur-Fría muestran una mayor afinidad por la presa de *Nyctiphanes simplex* Sur¹ y *Sardinops caeruleus*² mientras que el grupo Sur-Cálida presenta afinidad solo con *Nyctiphanes simplex* Sur¹, con base en el criterio de enriquecimiento isotópico de 3 a 5 ‰ del $\delta^{15}\text{N}$ propuesto por (DeNiro y Epstein 1981a y Peterson y Fry 1987) (Figura 9).



¹colectadas en época fría de 2006 (Busquets-Vass, 2008), ²colectada en época fría de 1996 (Gendron *et al.* 2001), ³colectada en 2007 (Ochoa, 2009) y ⁴colectada en época cálida de 2011.

Figura 9. Relación trófica con el $\delta^{15}\text{N}$ y el $\delta^{13}\text{C}$ del rorcual de Bryde del Golfo de California y sus presas potenciales. Las barras representan la desviación estándar en partes por mil.

El resultado de la estimación de posición trófica (Post, 2002) de los grupos de rorcuales de Bryde y las presas, muestran valores promedio de posición trófica: 3.3 a 3.8 (Tabla 6).

Tabla 6. Posición trófica (Post, 2002) de los grupos de los rorcuales de Bryde del Golfo de California, a partir del valor de la posición trófica de tres presas.

Grupos de rorcuales de Bryde	Posición trófica de los rorcuales de Bryde			
	^a Presal	^b Presal 2	^c Presal 3	Promedio
Norte, Fría	4.0	3.4	3.9	3.8
Sur, Fría	3.5	2.9	3.4	3.3
Sur, Cálida	4.2	3.6	4.1	3.8

Nyctiphanes simplex del ^anorte y ^bsur del Golfo de California, con similar valor de posición trófica de 2.2 y *Sardinops caeruleus* del sur de ^c1996, con valor de posición trófica de 2.4.

El calculo de la posición trófica (Post, 2002) para los rorcuales de Bryde, con base en el valor del material orgánico particulado, indican el valor máximo para el grupo Sur Cálida (Tabla 7).

Tabla 7. Posición trófica (Post, 2002) de los grupos de rorcuales de Bryde del Golfo de California a partir del valor del ¹(MOP) material orgánico particulado (Aguñiga *et al.*2007).

Grupos de rorcuales de Bryde	Rorcual de Bryde	MOP¹	Enriquecimiento isotópico promedio	Posición trófica
Norte, Fría	18.5	10.4	3.4	3.4
Sur, Fría	16.8	10.4	3.4	2.9
Sur, Cálida	19.1	10.4	3.4	3.6

El promedio de las dos estimaciones, indica que el grupo Sur Fría presenta el valor más bajo de posición trófica con respecto al resto de los grupos (Tabla 8).

Tabla 8. Posición trófica de los rorcuales de Bryde del Golfo de California, a partir del promedio de la posición trófica de las ¹presas y el ²MOP

Grupos de rorcuales de Bryde	¹Posición trófica	²Posición trófica	Promedio
Norte, Fría	3.8	3.4	3.6
Sur, Fría	3.3	2.9	3.1
Sur, Cálida	3.8	3.6	3.7

Ácidos grasos

Variabilidad en los ácidos grasos en lípidos del rorcual de Bryde del Golfo de California

No se encontraron diferencias significativas ($F_{(8,7)} = 1.0026$, $P=0.975670$) en los valores de lípidos totales de la grasa entre especímenes del Norte y Sur. Asimismo no se encontraron diferencias significativas ($F_{(8,7)} = 7.861197$, $P=0.37440$) en los valores de lípidos totales de la piel entre Norte y Sur.

El porcentaje de lípidos neutros fue del 80%, y el de los lípidos polares fue del 20%. Esto valores se repiten en ambos tejidos (Figuras 10 a) y b)).

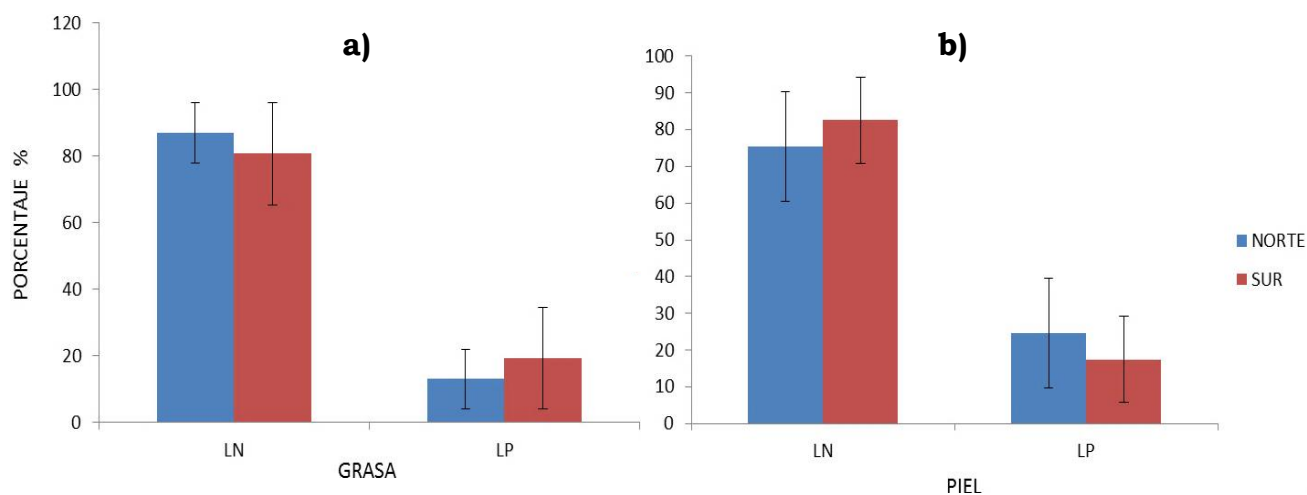


Figura 10. a) Porcentaje de lípidos neutros (LN) y lípidos polares (LP) en grasa de rorcual de Bryde del Norte y Sur. **b)** Porcentaje LN y LP en piel de rorcual de Bryde del Norte y Sur. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

Ácidos grasos de reserva, por región

Se encontraron 28 ácidos grasos de reserva en grasa rorcual de Bryde, en general los ácidos grasos saturados (16:0 y 14:0) fueron los más abundantes y los ácidos grasos monoinsaturados (16:1n7, 18:1n7 y 18:1n9) fueron más abundantes en especímenes del Norte con respecto a los del Sur (Tabla 6, Figura 11).

Tabla 9. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de ácidos grasos de reserva en grasa. Con un intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.

Ácido graso	Norte		Sur	
	Media	±D.E.	Media	±D.E.
14:0	9.9	1.0	8.2	2.4
15:0	0.9	0.2	1.0	0.3
16:0	29	4.9	26.5	8.5
17:0	1.9	0.3	1.6	0.2
18:0	6.8	1.5	6.0	1.9
20:0	0.4	0.1	0.3	0.2
Σ Saturados	50	8	43.5	13.6
14:1n5	0.5	0.3	0.6	0.7
16:1n7	18	2.9	13.5	2.8
16:1n5	1.3	0.7	0.9	0.6
16:1n3	0.7	0.3	0.6	0.3
17:1n7	0.7	0.5	0.8	0.3
18:1n9	17	2.5	24.5	7.7
18:1n7	9.2	1.3	10.1	3.2
20:1n11	0.0	0.0	0.0	0.1
20:1n9	0.1	0.1	0.1	0.1
Σ Monoinsaturados	47.7	8.5	51.2	15.8
18:2n6	1.3	0.6	2.1	0.3
18:3n3	0.6	0.4	0.8	0.2
18:4n3	0.1	0.0	0.1	0.1
18:5n3	0.1	0.1	0.0	0.0
20:3n6	0.1	0.2	0.3	0.6
20:4n6	0.1	0.1	0.1	0.1
20:4n3	0.1	0.1	0.1	0.1
20:5n3	0.5	0.4	0.6	0.3
22:5n3	0.2	0.1	0.3	0.3
22:6n3	0.4	0.3	0.9	0.5
Σ Polinsaturados	3.3	2.1	5.2	2.2
18:2n6	1.3	0.6	2.1	0.3
18:3n3	0.6	0.4	0.8	0.2
20:4n6	0.1	0.1	0.1	0.1
20:5n3	0.5	0.4	0.6	0.3
22:6n3	0.4	0.3	0.9	0.5
Σ Esenciales	2.9	1.7	4.5	1.3
16:0	29	4.9	26.2	8.2
18:0	6.8	1.5	6.0	1.8
18:1n9	17.1	2.5	24.4	7.3
Σ De novo	52.9	8.9	56.6	17.3
16:1n3	0.7	0.3	0.7	0.3
18:3n3	0.6	0.4	0.8	0.2
18:4n3	0.1	0.0	0.1	0.1
18:5n3	0.1	0.1	0.0	0.0
20:4n3	0.1	0.1	0.1	0.1
20:5n3	0.5	0.4	0.6	0.3
22:5n3	0.2	0.1	0.3	0.2
22:6n3n	0.4	0.3	0.9	0.5
Σω-3	2.5	1.6	3.4	1.6
18:2n6	1.3	0.6	2.1	0.3
20:3n6	0.1	0.2	0.3	0.6
20:4n6	0.1	0.1	0.1	0.1
Σω-6	1.5	0.8	2.5	1.0

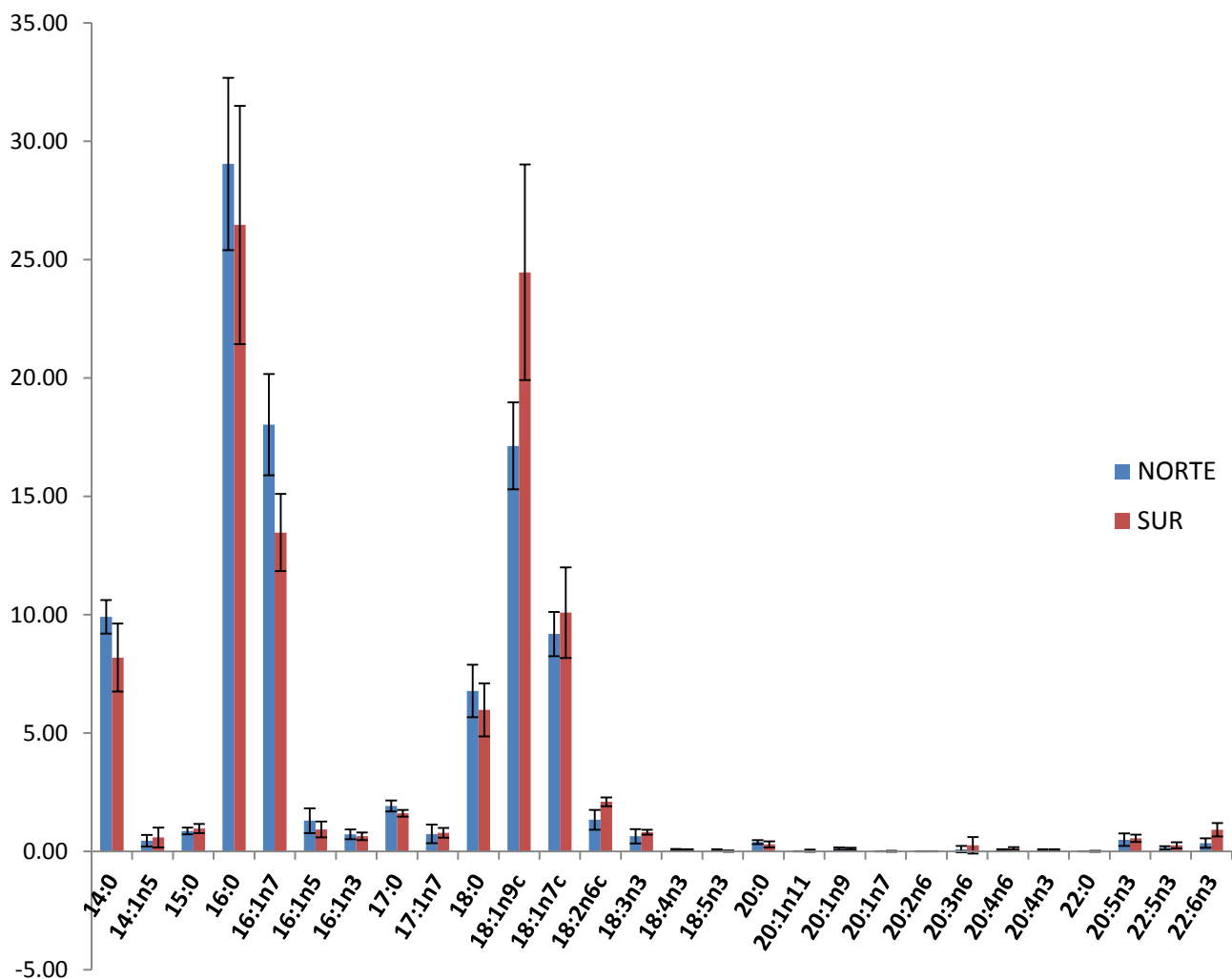


Figura 11. Perfil de ácidos grasos de reserva en grasa de rorcual de Bryde en el Golfo de California. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En el análisis de componentes principales (Figura 12 y 13) la mayoría de los rorcuales de Bryde tuvieron valores promedio, los tres primeros componentes explicaron el 73% de la varianza. El componente 1 separó a un individuo del Grupo-Sur. El Componente 2 agrupó a la mayoría de los individuos del Grupo-Norte. El Componente 3 separó al Grupo-Norte del Grupo-Sur.

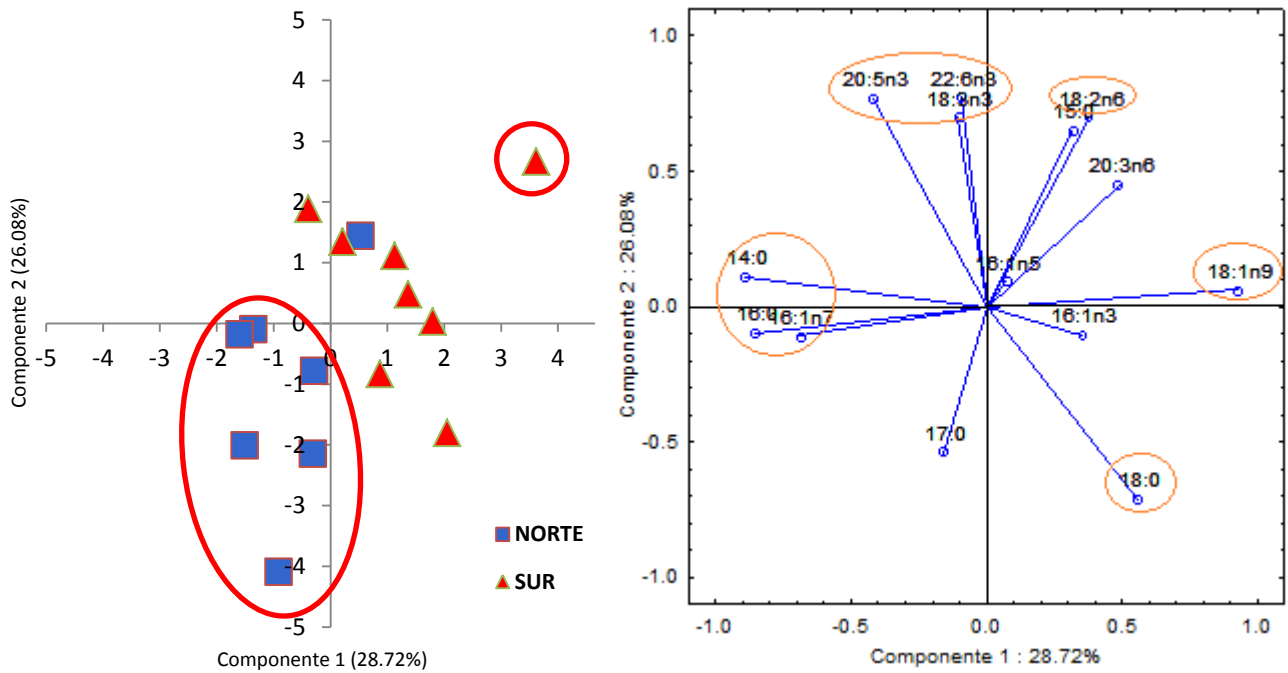


Figura 12. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos de reserva en grasa de grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

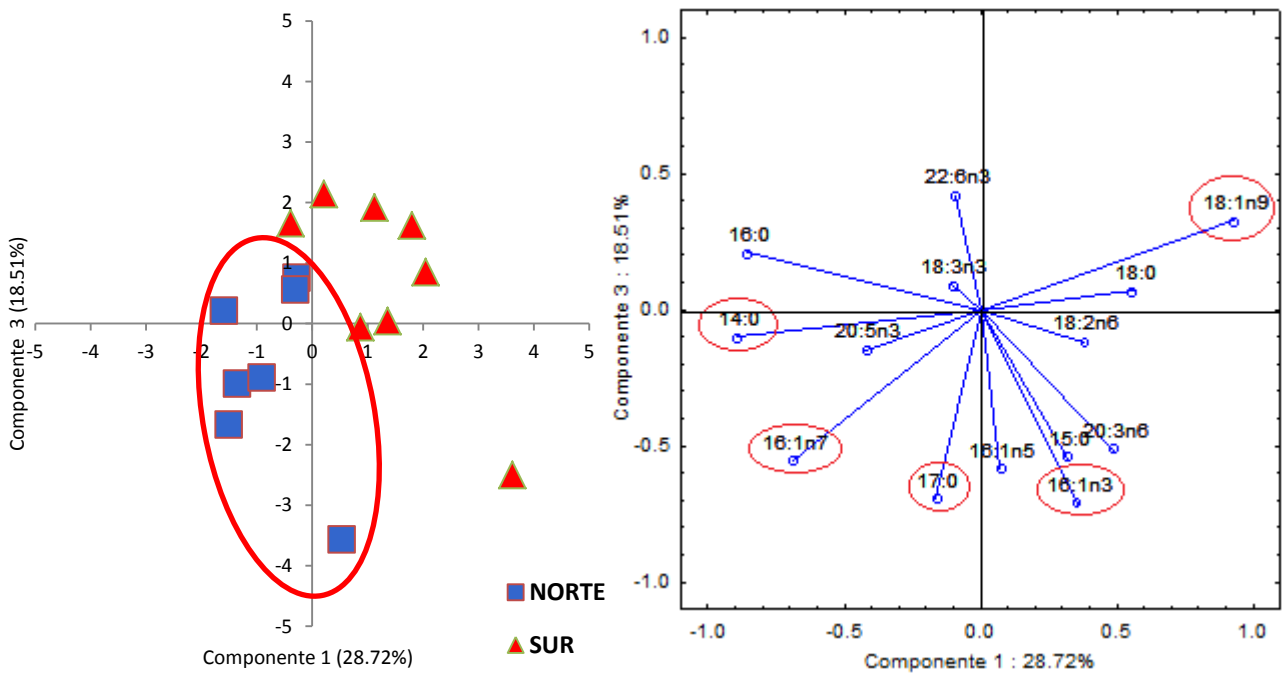


Figura 13. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos de reserva en grasa de grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

En el Análisis de funciones discriminantes, se observó una separación entre grupos (*Lambda de Wilks* 0.08957, $F_{(9,6)} = 6.7765$ $p < .0151$). Contribuyeron seis ácidos grasos a la dispersión de los grupos (Norte y Sur) (Figura 14).

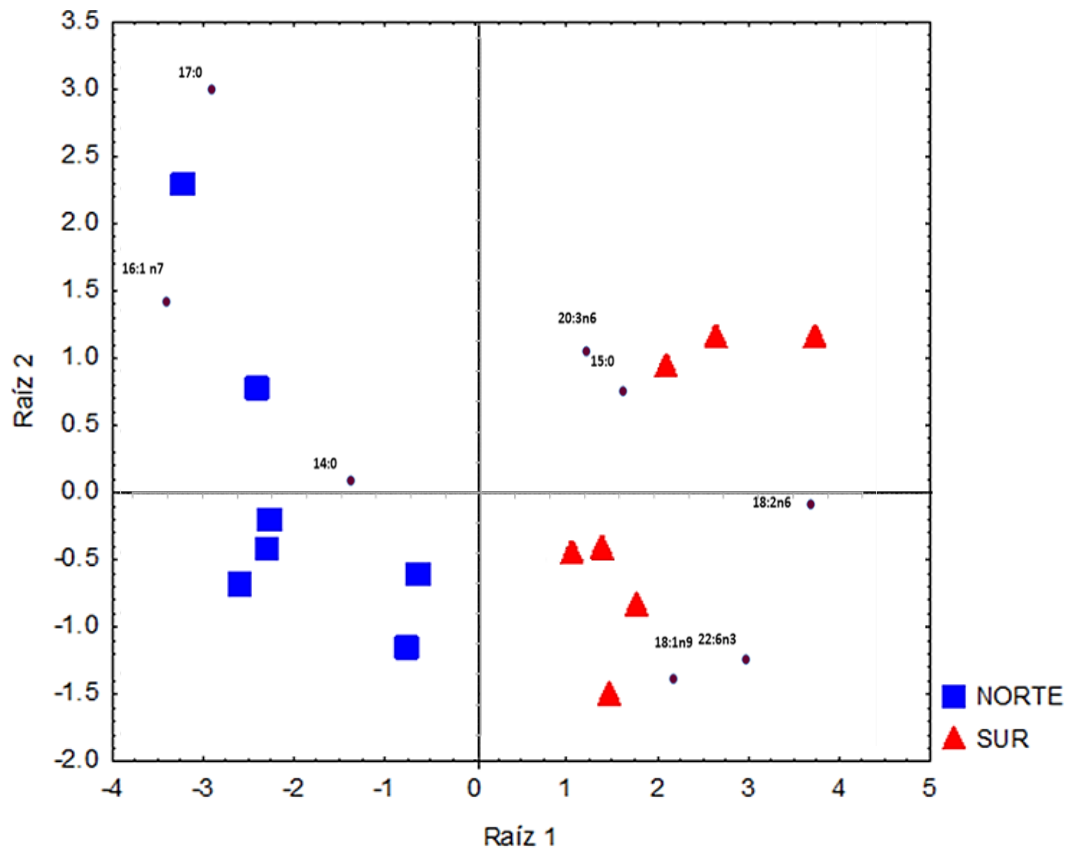


Figura 14. Proyección de análisis de funciones discriminantes de dos grupos de rorcuales de Bryde determinando por ácidos grasos trazadores tróficos.

Ácidos grasos de reserva por clase de edad, región y año.

Se encontraron 28 ácidos grasos de reserva en grasa de rorcual de Bryde del Golfo de California con un porcentaje mayor del ácido graso saturado 16:0 del Grupo Norte-Crías con respecto al resto de los grupos (Tabla 7, Figura 15).

Tabla 10. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de ácidos grasos de reserva en grasa de cuatro grupos de rorcual de Bryde. Con un intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.

Ácido graso	Norte		Norte-Crías		Sur 10		Sur 11	
	Media	±D.E.	Media	±D.E.	Media	±D.E.	Media	±D.E.
14:0	10.2	0.8	9.0	0.4	6.6	0.8	9.5	2.7
15:0	0.9	0.2	0.8	0.0	1.0	0.6	1.0	0.2
16:0	28.3	5.0	30.7	3.2	22	6.1	30.3	9.1
17:0	2.0	0.4	1.9	0.5	1.6	0.2	1.5	0.2
18:0	7.0	1.3	6.8	2.5	6.8	0.6	5.5	2.5
20:0	0.4	0.2	0.3	0.0	0.4	0.3	0.2	0.1
ΣSaturados	48.8	7.9	49.6	6.6	38.3	8.5	48.1	14.7
14:1n5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.9	1.2	0.4	0.2
16:1n7	16.5	2.2	21.1	1.0	11.9	1.9	14.2	3.1
16:1n5	1.3	0.7	1.4	0.9	0.8	0.3	0.9	0.5
16:1n3	0.8	0.3	0.7	0.0	0.7	0.2	0.5	0.3
17:1n7	0.8	0.6	0.6	0.1	0.8	0.5	0.7	0.2
18:1n9	18	2.2	15.1	1.5	29.7	2.9	20.7	8.6
18:1n7	9.4	1.3	8.6	0.2	11.4	2.3	9.0	3.8
20:1n9	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
Σ Monoinsaturados	47.3	7.7	48	3.9	56.4	9.3	46.6	16.9
18:2n6	1.5	0.6	1.2	0.5	2.2	0.5	2.0	0.2
18:3n3	0.8	0.4	0.4	0.4	0.7	0.3	0.8	0.1
18:4n3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
18:5n3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:3n6	0.1	0.2	0.0	0.0	0.6	0.9	0.1	0.1
20:4n6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
20:4n3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
20:5n3	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.7	0.2
22:5n3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
22:6n3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.7	0.3	1.2	0.5
Σ Polinsaturados	3.9	1.9	2.4	2.1	5.2	2.8	5.3	1.3
18:2n6	1.5	0.6	1.2	0.5	2.2	0.5	2.0	0.2
18:3n3	0.8	0.4	0.4	0.4	0.7	0.3	0.8	0.1
20:4n6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
20:5n3	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.7	0.2
22:6n3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.7	0.3	1.2	0.5
Σ Esenciales	2.6	1.2	1.8	1.3	3.4	1.1	3.9	0.9
16:0	28.3	5.0	30.7	3.2	22	6.1	30.3	9.1
18:0	7.0	1.3	6.8	2.5	6.8	0.6	5.5	2.5
18:1n9	18	2.2	15.1	1.5	29.7	2.9	20.7	8.6
Σ De novo	58.3	8.5	52.6	7.1	58.5	9.6	56.6	20.2
16:1n3	0.8	0.3	0.7	0.0	0.7	0.2	0.5	0.3
18:3n3	0.8	0.4	0.4	0.4	0.7	0.3	0.8	0.1
18:4n3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
18:5n3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:4n3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0
20:5n3	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.7	0.2
22:5n3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
22:6n3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.7	0.3	1.2	0.5
Σω-3	2.9	1.4	1.8	1.5	3.0	1.4	3.6	1.4
18:2n6	1.5	0.6	1.2	0.5	2.2	0.5	2.0	0.2
20:3n6	0.1	0.2	0.0	0.0	0.6	0.9	0.1	0.1
20:4n6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0
Σω-6	1.7	0.8	1.3	0.6	2.9	1.6	2.2	0.3

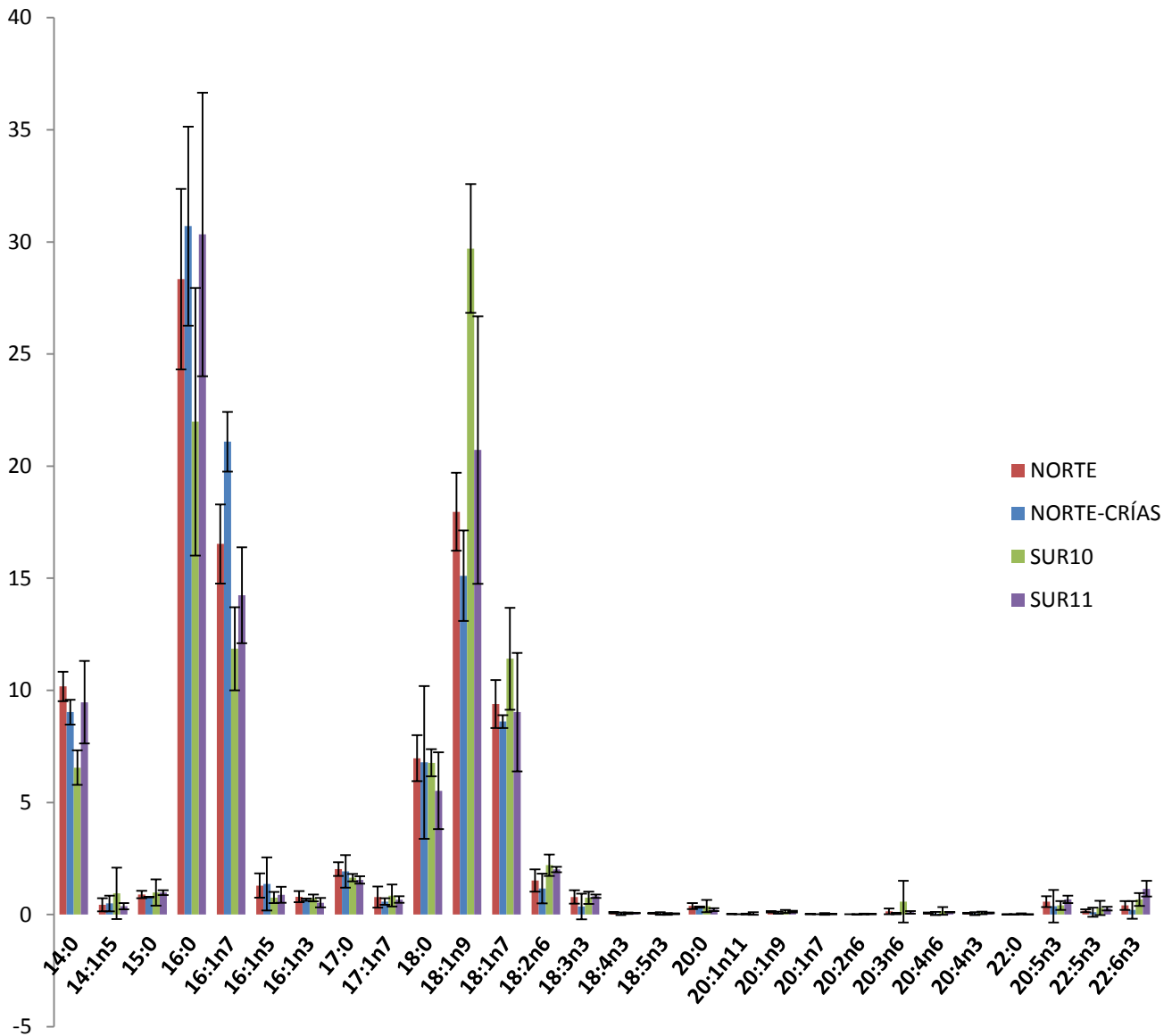


Figura 15. Perfil de ácidos grasos de reserva de grasa de rorcual de Bryde del norte, norte-cría, sur 10 y sur 11 del Golfo de California. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En el análisis de componentes principales se encontró que, los tres primeros componentes explicaron el 77% de la varianza. El componente 1 agrupó a la mayoría de los individuos del grupo Norte con los del grupo Norte-Crías. El componente 2 separó a un individuo del Grupo Sur11. El Componente 3 separó al Grupo-Norte del Grupo-Sur10 (Figura 16 y 17).

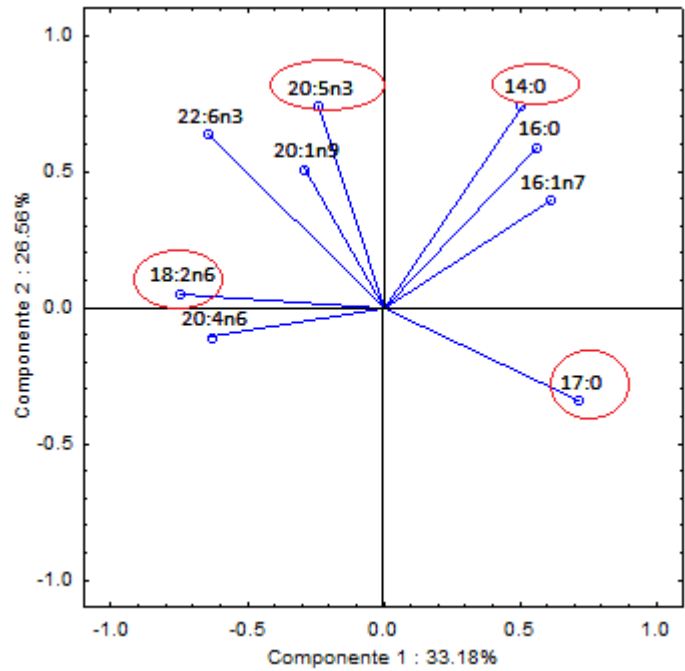
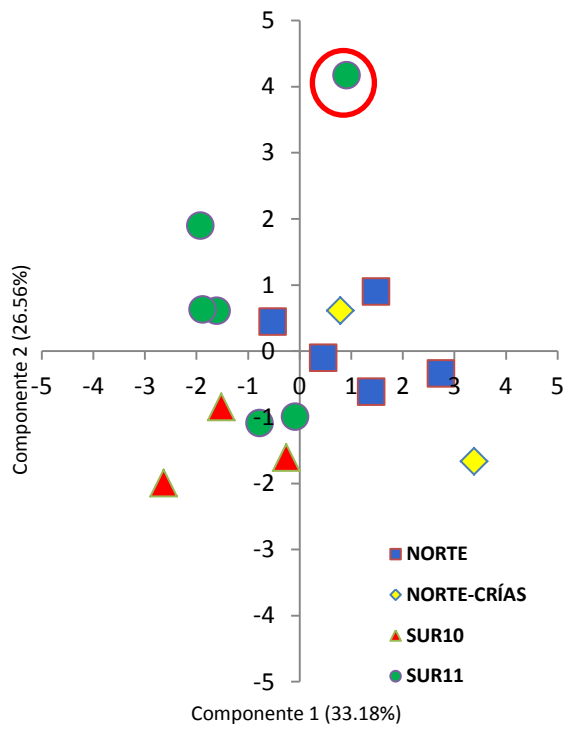


Figura 16. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos de reserva en grasa de cuatro grupos de rorcuales de Bryde. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

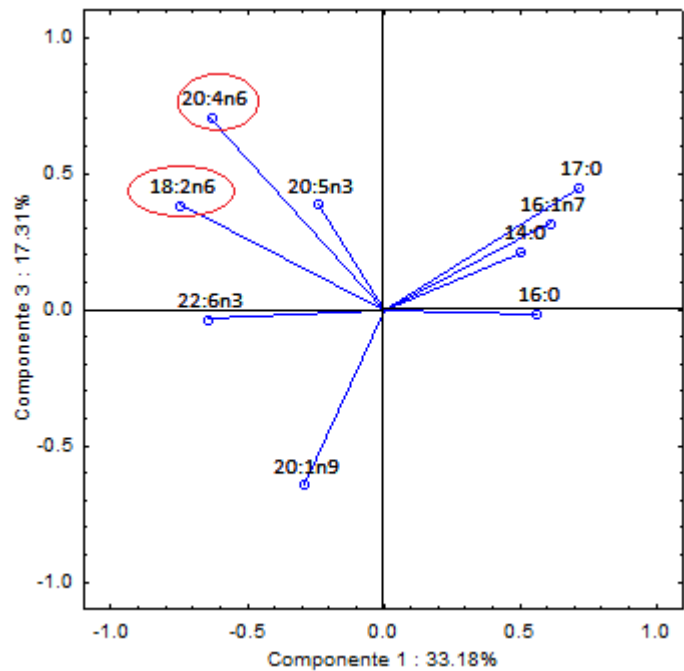
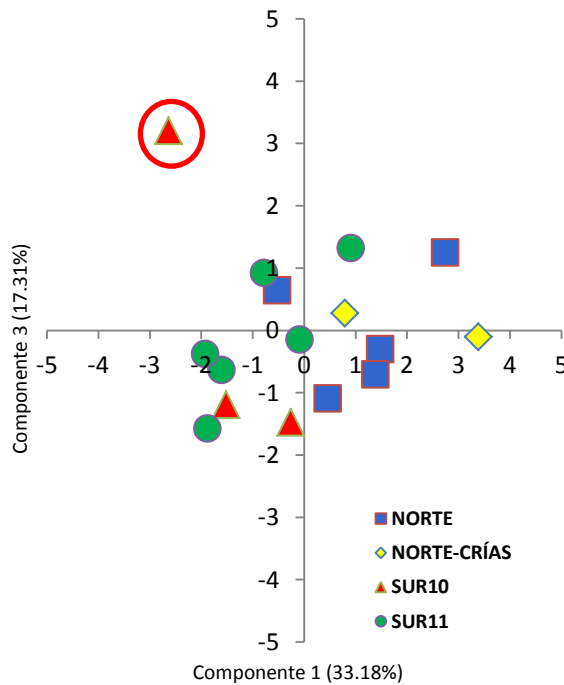


Figura 17. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos de reserva en grasa de cuatro grupos de rorcuales de Bryde. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

En el análisis de funciones se observó una separación (Lambda de Wilks .00163, $F_{(27,12)}=3.6569$ $p < .0110$) (Tabla 8).

Tabla 11. Valores de probabilidad de diferencia entre cuatro grupos de rorcual de Bryde, se considera diferencias significativa cuando $p < 0.05$.

Grupo	Norte	Norte-Crías	Sur10
Norte-Crías	0.098765		
Sur10	0.046027	0.018251	
Sur11	0.033588	0.015547	0.646312

Ocho ácidos grasos contribuyeron a la separación (Figura 18).

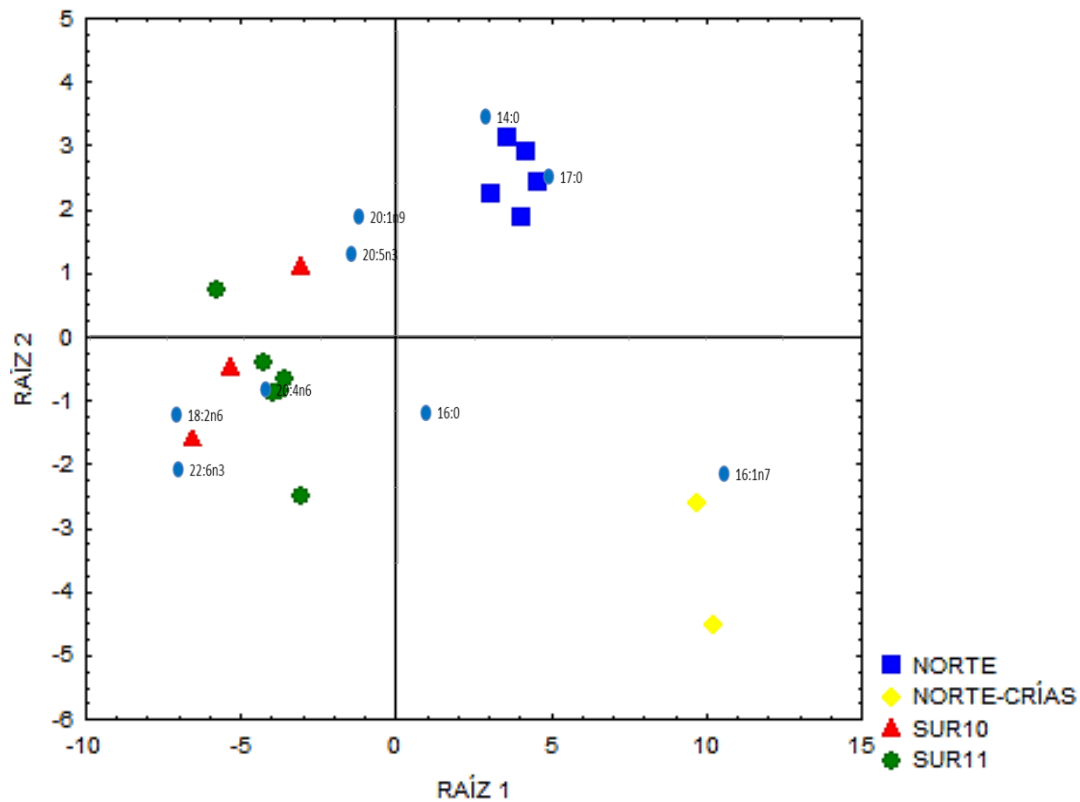


Figura 18. Proyección de análisis de funciones discriminantes de cuatro grupos de rorcuales de Bryde determinando por ácidos grasos trazadores tróficos.

Ácidos grasos estructurales, por región.

Se detectaron 15 ácidos grasos estructurales en piel de rorcual de Bryde. Los ácidos grasos mas abundantes fueron el 16:0, 18:0, 18:1n9, 20:4n6 y 24:1n9 (Tabla 9, Figura 19).

Tabla 12. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de ácidos grasos estructurales en piel de dos grupos de rorcual de Bryde. Con un intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.

Ácido graso	Norte		Sur	
	Media	±D.E.	Media	±D.E.
14:0	6.0	1.8	5.1	1.4
15:0	0.9	0.5	1.1	0.6
16:0	22.8	3.7	20.1	5.4
18:0	16.3	2.4	14.7	2.9
Σ Saturados	46	2.4	41	10.2
14:1n5	0.7	2.4	1.1	0.9
16:1n7	14	2.4	10.3	2.1
18:1n9	19	2.4	25.7	3.4
18:1n7	9.2	2.4	10.2	2.1
24:1n9	0.2	2.4	0.2	0.1
Σ Monoinsaturados	44.1	6.7	47.5	8.6
18:2n6	2.5	1.3	2.0	0.7
20:3n6	0.8	0.9	2.2	2.8
20:4n6	2.4	2.1	4.1	3.8
20:5n3	1.8	0.7	0.9	0.5
22:5n3	0.2	0.1	0.2	0.1
22:6n3	0.4	0.2	0.5	0.3
Σ Polinsaturados	8.1	5.3	9.9	8.0
18:2n6	2.5	1.3	2.0	0.7
20:4n6	2.4	2.1	4.1	3.8
20:5n3	1.8	0.7	0.9	0.5
22:6n3	0.4	0.2	0.5	0.3
Σ Esenciales	7.1	4.2	7.5	5.2
16:1n7	14.1	1.6	10.3	2.1
24:1n9	0.2	0.2	0.2	0.1
20:5n3	1.8	0.7	0.9	0.5
22:5n3	0.2	0.1	0.2	0.1
22:6n3	0.4	0.2	0.5	0.3
Σ De novo	16.7	2.8	12.1	3.0
20:5n3	0.5	0.4	0.6	0.3
22:5n3	0.2	0.1	0.3	0.2
22:6n3n	0.4	0.3	0.9	0.5
Σω-3	2.4	1.0	1.6	0.8
18:2n6	2.5	1.3	2.0	0.7
20:3n6	0.8	0.9	2.2	2.8
20:4n6	2.4	2.1	4.1	3.8
Σω-6	5.7	4.3	8.2	7.2

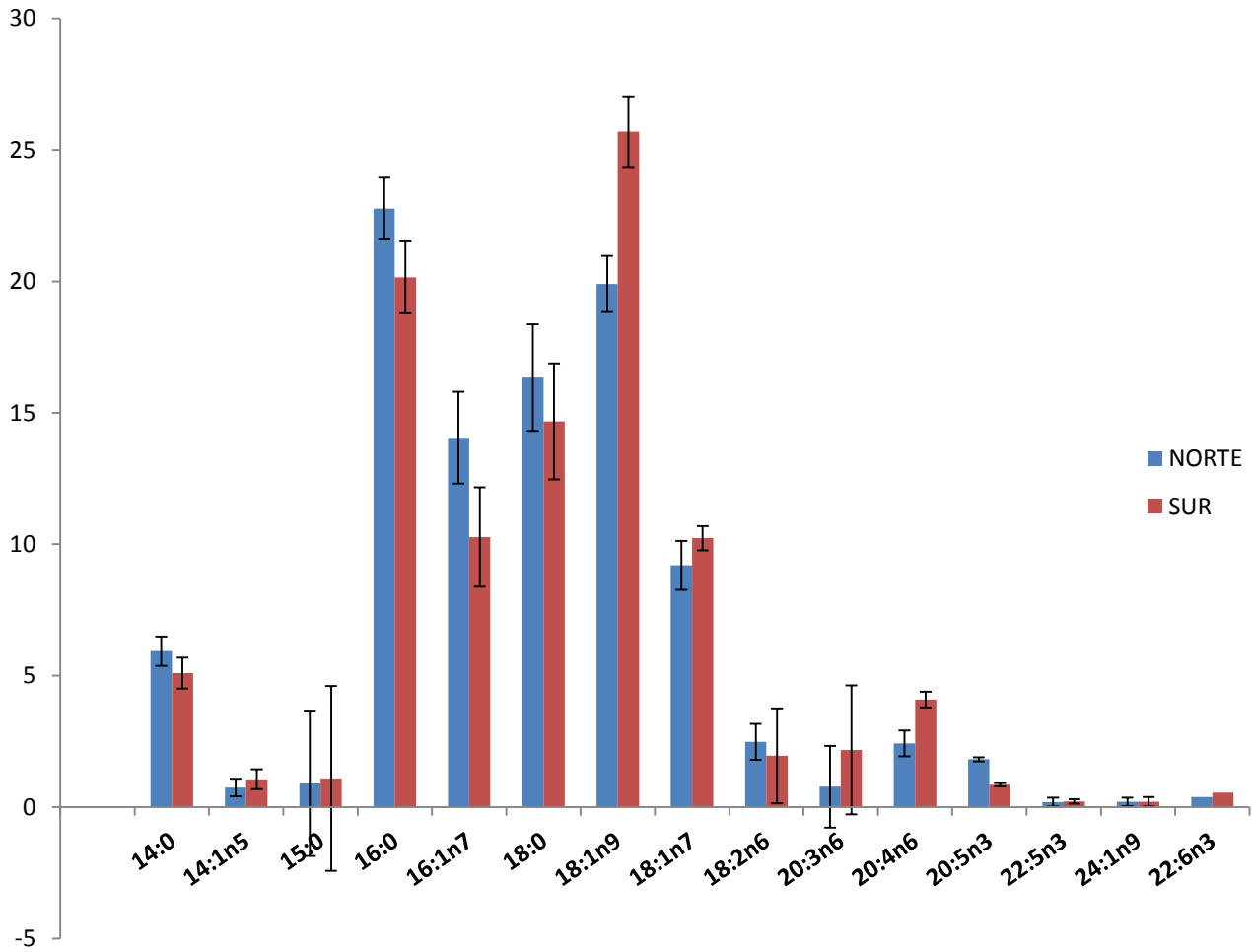


Figura 19. Perfil de ácidos grasos estructurales en piel de rorcual de Bryde en el Golfo de California. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

En el análisis de componentes principales de los 14 ácidos grasos, se encontró que los tres primeros componentes explicaron el 60% de la varianza. Donde el componente 1 separó a un individuo del Grupo-Norte. El componente 2 separó un individuo del Grupo-Sur y el componente 3 agrupó a dos individuos del Grupo-Sur (Figura 20 y 21).

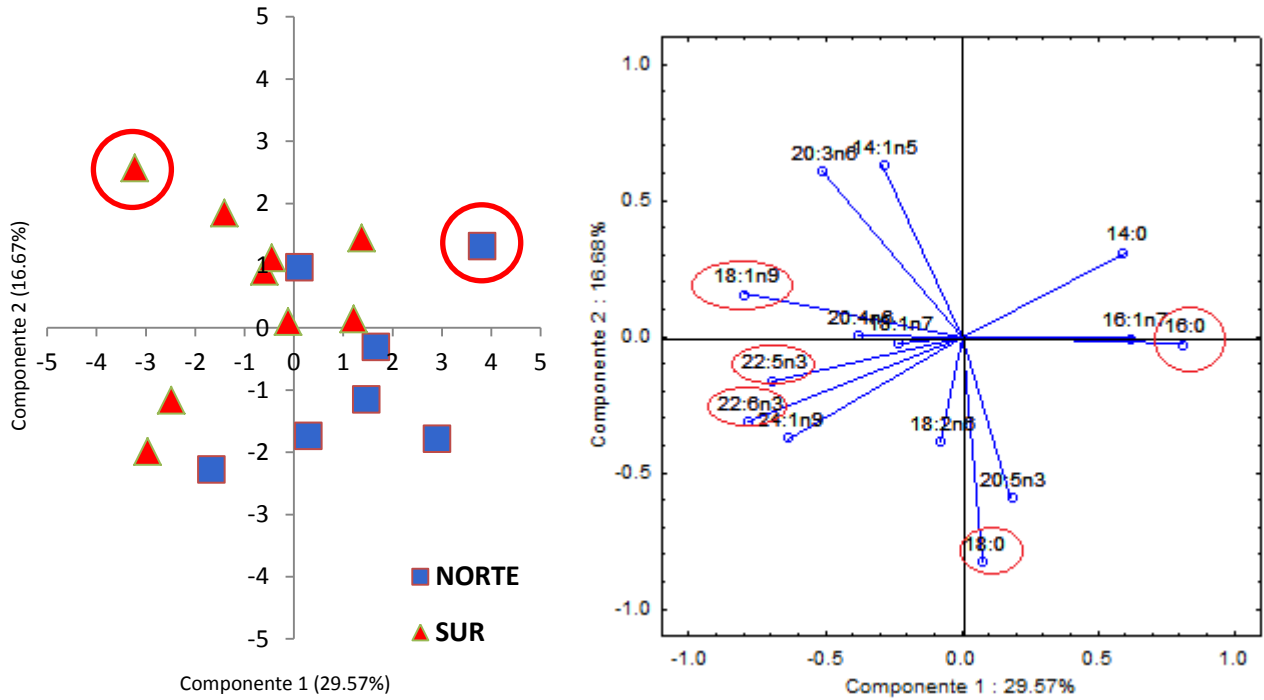


Figura 20. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos estructurales de grupos de rorcuales de Bryde. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

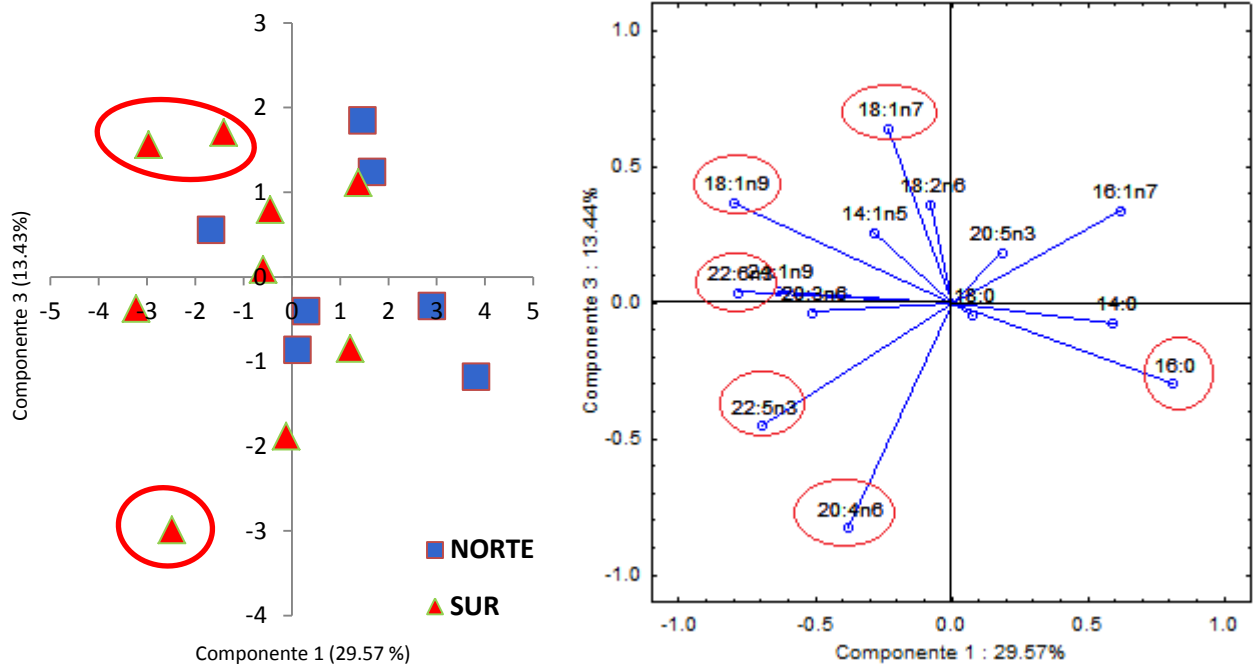


Figura 21. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos estructurales de dos grupos de rorcuales de Bryde. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

En el análisis de funciones discriminantes de los ácidos grasos característicos de fosfolípidos. Se encontró una separación significativa entre el Grupo-Norte y Grupo Sur (Λ : de Wilks: 14034, $F_{(9,6)}=4.0835$ $p < 0.0504$). Nueve ácidos grasos contribuyeron a la separación (Figura 22).

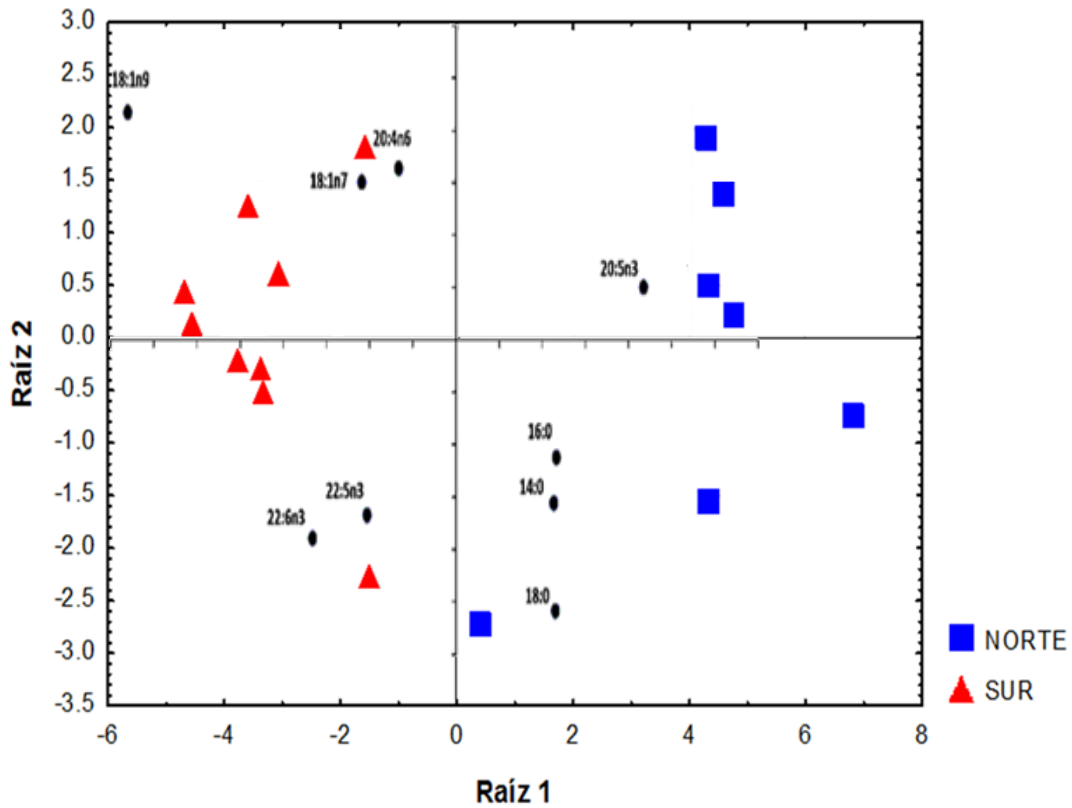


Figura 22. Proyección de análisis de funciones discriminantes de grupos de rorcual de Bryde determinado por ácidos grasos presentes en fosfolípidos de la piel.

Ácidos grasos estructurales, por clase de edad, región y año.

Se encontraron 19 ácidos grasos estructurales en piel de rorcual de Bryde, el mayor porcentaje en los ácidos grasos saturados lo presentó el Grupo Norte-Crías con respecto a los resto de los grupos (Tabla 10, Figura 23).

Tabla 13. Porcentaje de los ácidos grasos con respecto al total de los ácidos grasos estructurales en piel de cuatro grupos de rorcual de Bryde. Con intervalo de confianza del promedio del porcentaje al 95%.

Ácido graso	Norte		Norte-Crías		Sur 10		Sur 11	
	Media	±D.E.	Media	±D.E.	Media	±D.E.	Media	±D.E.
14:0	6.3	2.1	5.0	0.2	4.8	2.0	5.5	1.2
15:0	1.1	0.4	0.5	0.1	1.4	0.6	1.0	0.5
16:0	22.8	4.0	22.8	4.4	18.7	6.5	19.3	4.0
18:0	15.4	1.9	18.6	2.0	16.1	3.6	14.2	2.8
Σ Saturados	45.6	8.4	46.9	6.7	40.9	12.7	40.1	8.5
14:1n5	0.9	0.8	0.3	0.2	1.0	0.7	1.2	1.1
16:1n7	14	1.7	14.1	1.7	8.9	2.1	11.4	1.8
18:1n9	20.2	3.2	19.2	1.4	25.2	5.0	26.6	2.6
18:1n7	9.4	1.6	8.7	1.3	8.3	0.5	11.5	1.8
24:1n9	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2
Σ Monoinsaturados	44.8	7.6	42.5	4.8	43.6	8.5	50.9	7.4
18:2n6	2.6	1.4	2.1	1.2	2.0	0.4	2.0	0.9
20:3n6	1.0	1.0	0.2	0.2	3.5	4.8	1.7	1.4
20:4n6	1.9	1.5	3.7	3.5	7.0	4.2	1.7	1.8
20:5n3	1.5	0.5	2.6	0.2	0.8	0.4	0.9	0.6
22:5n3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1
22:6n3	0.4	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	0.6	0.4
Σ Polinsaturados	7.7	4.8	9.1	5.4	13.9	10	7.1	5.1
18:2n6	2.6	1.4	2.1	1.2	2.0	0.4	2.0	0.9
20:4n6	1.9	1.5	3.7	3.5	7.0	4.2	1.7	1.8
20:5n3	1.5	0.5	2.6	0.2	0.8	0.4	0.9	0.6
22:6n3	0.4	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	0.6	0.4
Σ Esenciales	6.5	3.6	8.7	5.1	10.2	5.1	5.2	3.7
16:1n7	14	1.7	14.1	1.7	8.9	2.1	11.4	1.8
24:1n9	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2
20:5n3	1.5	0.5	2.6	0.2	0.8	0.4	0.9	0.6
22:5n3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1
22:6n3	0.4	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	0.6	0.4
Σ De novo	16.4	2.9	17.4	2.2	10.6	2.9	13.3	2.9
20:5n3	1.5	0.5	2.6	0.2	0.8	0.4	0.9	0.6
22:5n3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1
22:6n3	0.4	0.3	0.3	0.1	0.5	0.2	0.6	0.4
Σω-3	2.1	0.9	3.1	0.4	1.5	0.6	1.7	1.0
18:2n6	2.6	1.4	2.1	1.2	2.0	0.4	2.0	0.9
20:3n6	1.0	1.0	0.2	0.2	3.5	4.8	1.7	1.4
20:4n6	1.9	1.5	3.7	3.5	7.0	4.2	1.7	1.8
Σω-6	5.6	3.9	6.0	5.0	12.4	9.4	5.4	4.1

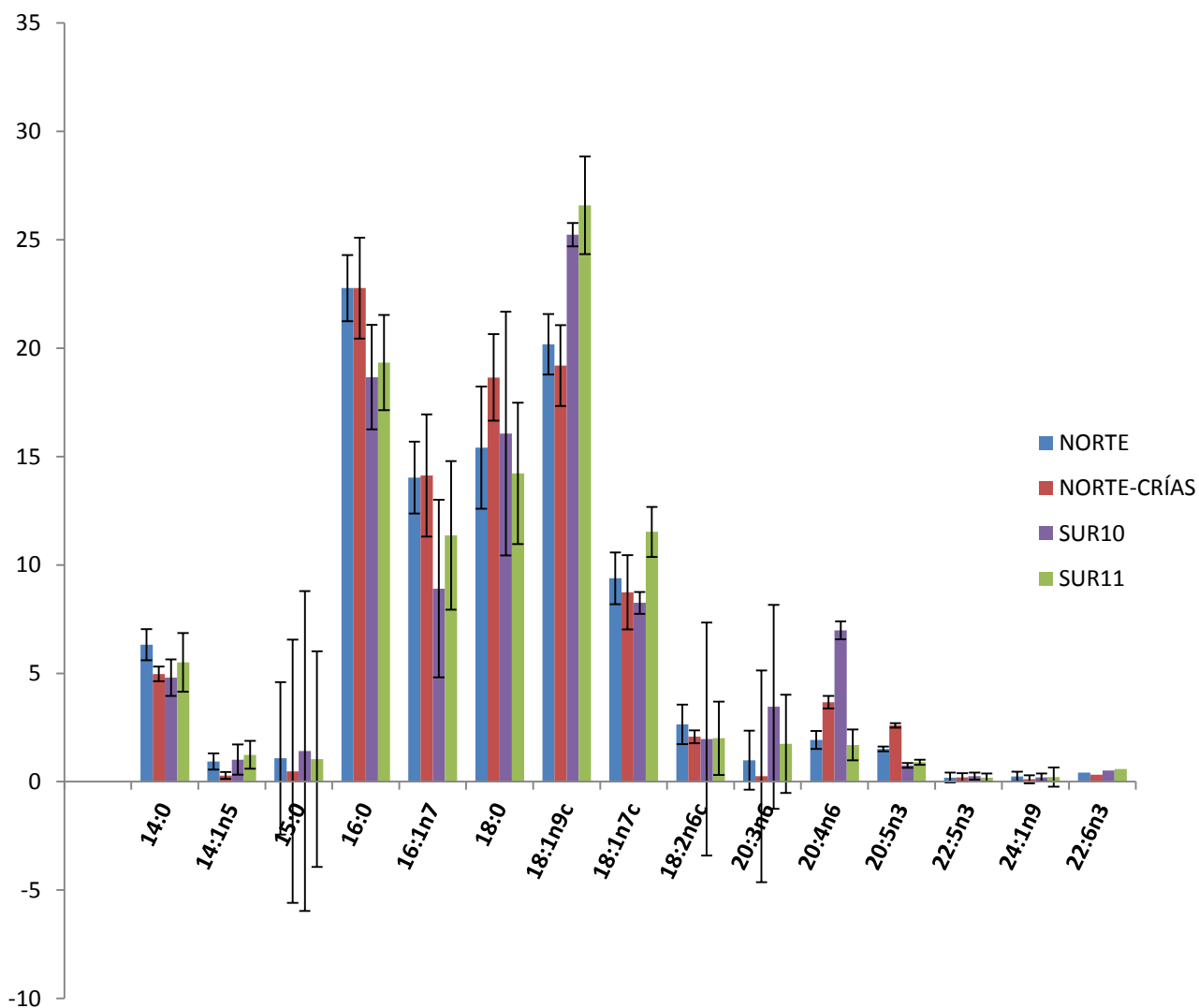


Figura 23. Perfil de ácidos grasos estructurales en piel de cuatro grupos de rorcual de Bryde del Golfo de California. Las líneas verticales representan los intervalos de confianza al 95%.

Los resultados del análisis de componentes principales indican que, los tres primeros componentes explicaron el 61% de la varianza. El componente 1 separó a un individuo del grupo Norte del resto de los grupos. El componente 2 agrupó a un individuo del grupo Sur11 y el componente 3 agrupó a tres individuos del grupo Sur11 y separó a un individuo del mismo grupo del resto de los grupos (Figura 24 y 25).

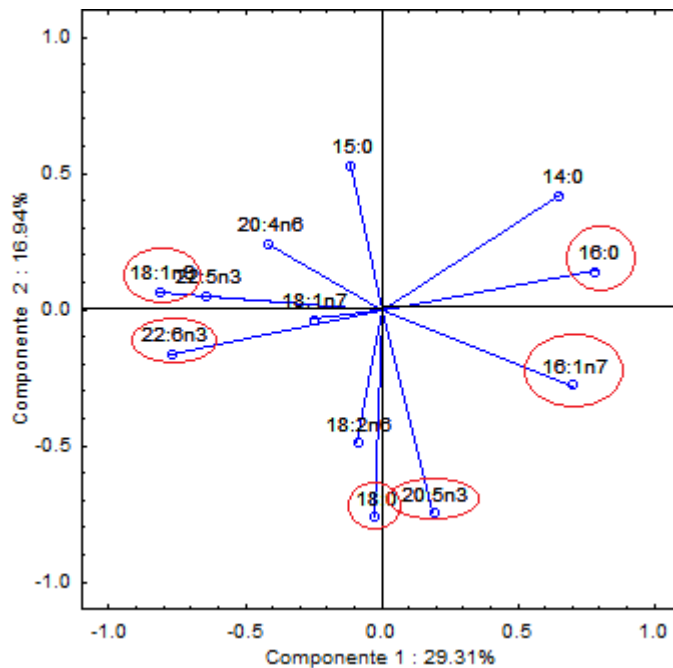
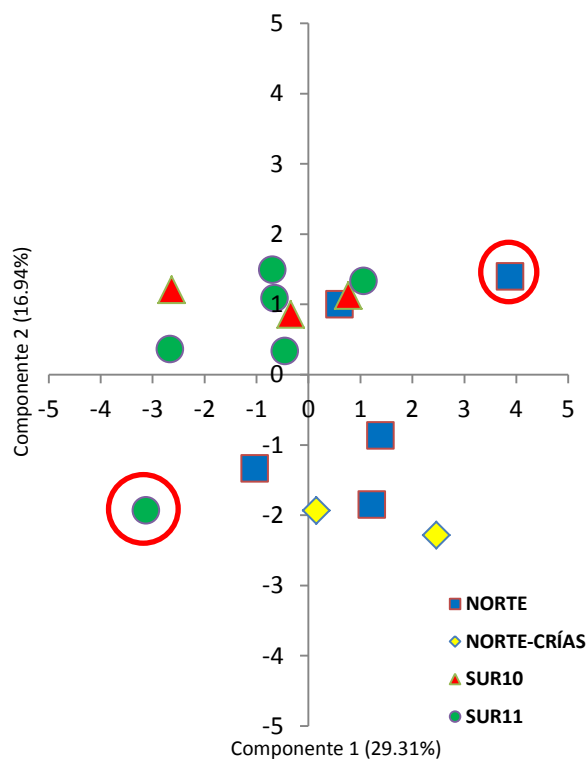


Figura 24. Proyección de los componentes principales 1 vs 2 de los ácidos grasos estructurales de cuatro grupos de rorcuales de Bryde. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

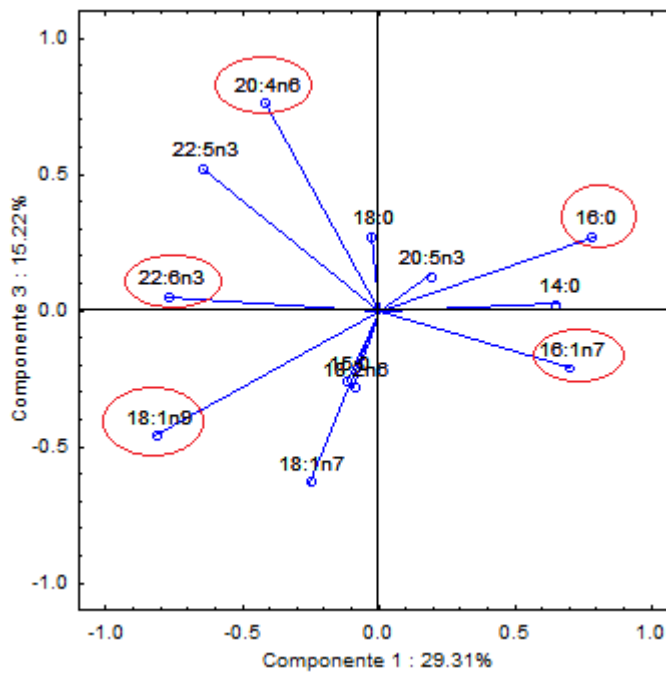
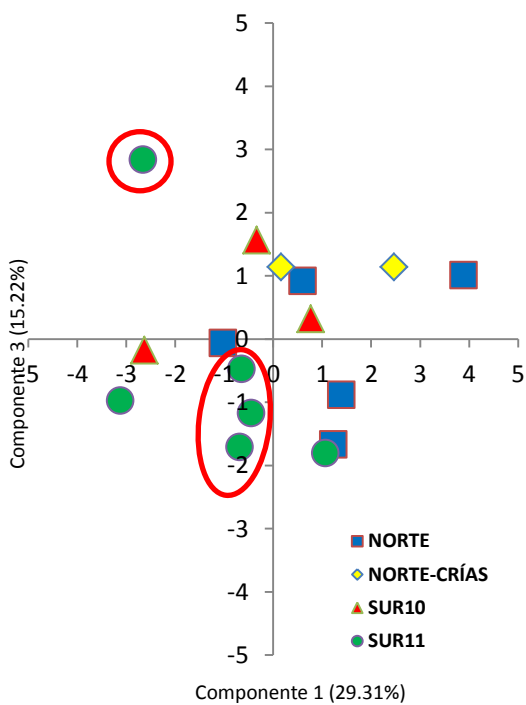


Figura 25. Proyección de los componentes principales 1 vs 3 de los ácidos grasos estructurales de cuatro grupos de rorcuales de Bryde. Los círculos indican la agrupación de los rorcuales, y los ácidos grasos con coeficientes de correlación mayor a 0.7.

Para el análisis de funciones discriminantes se encontró, una separación (*Lambda de Wilks* .00650. $F_{(21,12)}=2.7372$ $p < .379$). Hubo una separación significativa ($p < 0.05$) entre los grupos Norte vs Sur11, Sur10 vs Norte-Crías y Sur11 vs Norte-Crías (Tabla 11).

Tabla 14. Valores de probabilidad de diferencia entre cuatro grupos de rorcual de Bryde, se considera diferencia significativa cuando $p < 0.05$.

Grupo	Norte	Norte-Crías	Sur10
Norte-Crías	0.135529		
Sur10	0.115294	0.024492	
Sur11	0.038083	0.009379	0.290477

Para este análisis, seis ácidos grasos contribuyeron a la separación de los grupos (Figura 26).

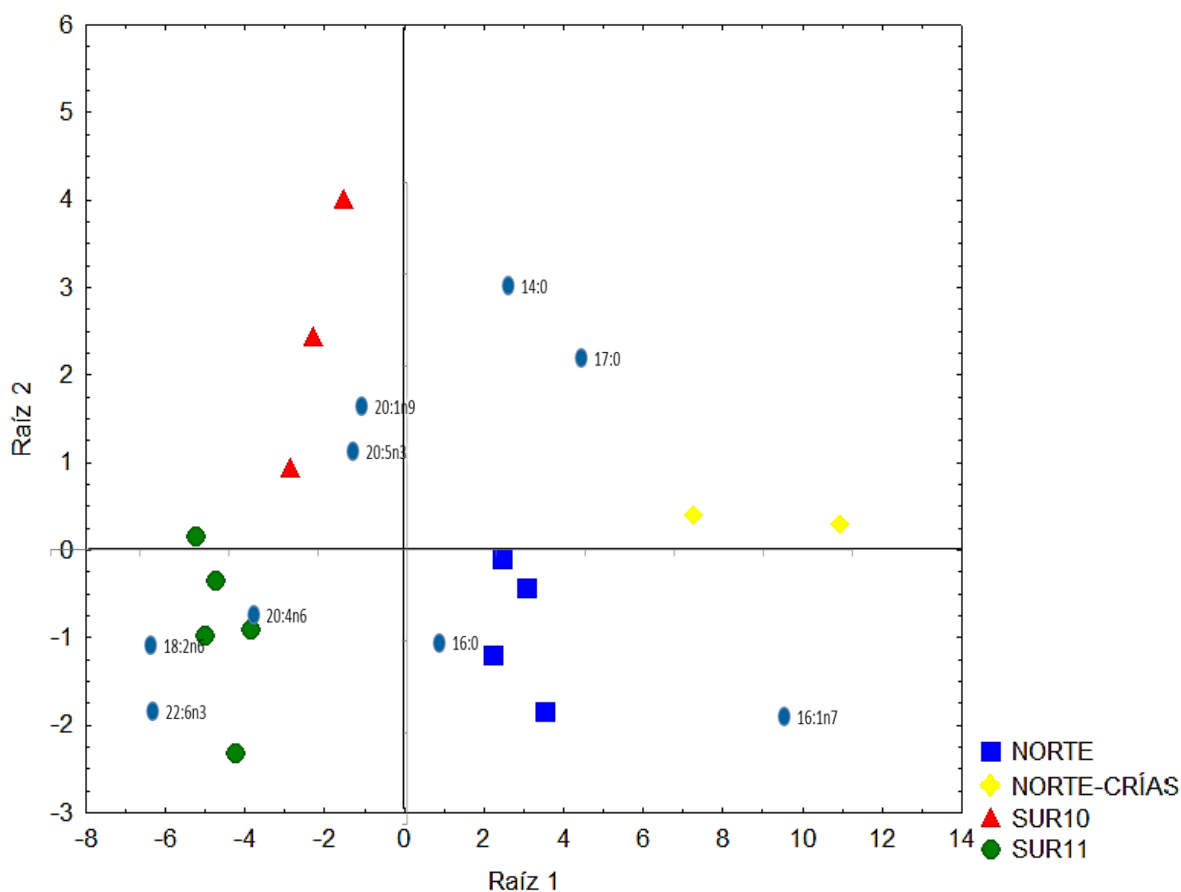


Figura 26. Proyección de análisis de funciones discriminantes de cuatro grupos de rorcual de Bryde determinado por ácidos grasos presentes en fosfolípidos de la piel.

DISCUSIÓN

Los resultados de los isótopos estables y los ácidos grasos de reserva sugieren diferencias en la dieta del rorcual de Bryde del Golfo de California como lo que sugieren Urbán y Flores (1996). Además, se observan diferencias entre los rorcuales de Bryde del norte y sur del GC en relación a su distribución y preferencia de alimento.

Isótopos estables

Variabilidad regional

Las diferencias encontradas en el $\delta^{15}\text{N}$ en este estudio sugieren que los rorcuales de Bryde del norte en relación con los rorcuales de Bryde del sur tienen preferencia por presas distintas, con una variación en el $\delta^{15}\text{N}$ de 2‰. Los rorcuales del norte probablemente se alimentan de presas de un nivel trófico más alto, como las sardinias. Sin embargo, generalmente se considera que entre un depredador y su presa existe un fraccionamiento isotópico aproximado de 3-5 ‰ (DeNiro y Epstein 1981a y Peterson y Fry 1987). Con base en este argumento, los resultados del $\delta^{15}\text{N}$ en los rorcuales del norte no muestran una preferencia clara por una presa, ya que el fraccionamiento isotópico que se encontró entre *Sardinops caeruleus* fue de ~5.3‰ y de *Nyctiphanes simplex* del sur ~ 4‰. Este resultado sugiere que la presa más afín de los rorcuales del norte es *Nyctiphanes simplex*, debido a que el intervalo del fraccionamiento isotópico coincide con lo mencionado por (DeNiro y Epstein 1981a y Peterson y Fry 1987). En cuanto a los rorcuales de Bryde del sur no se encontró una preferencia por alguna presa, ya que el intervalo de fraccionamiento isotópico con *Nyctiphanes simplex* y *Sardinops caeruleus* fue de ~ 4.4‰ y ~ 3.5‰ respectivamente, este fraccionamiento coincide con lo mencionado por DeNiro y Epstein (1981). Por lo tanto se sugiere que las presas de los rorcual de Bryde del sur son *Nyctiphanes simplex* y *Sardinops caeruleus*. Como lo mencionan Urbán *et al.* (1991), en el sur del Golfo de California fue visto alimentándose al rorcual de Bryde de *Sardinops caeruleus*, *Opisthonema libertate* y en algunas ocasiones de *Nyctiphanes simplex*.

Aunque las evidencias del fraccionamiento isotópico de los rorcuales del norte, apuntan a que tienen una mayor afinidad por los eufáusidos, no son contundentes debido a que las estimaciones de fraccionamiento isotópico se realizaron con presas de regiones y años distintos, probablemente estas variaciones en espacio y tiempo estén enmascarando las presas preferenciales de los rorcuales de Bryde del norte.

También se estimó el nivel trófico de los rorcuales de Bryde del norte y sur con base en el cálculo de nivel trófico de las presas y el valor promedio del material orgánico particulado del Golfo de California. El resultado de las estimaciones promedio de la posición trófica fue: rorcuales del sur 3.1 y rorcuales del norte 3.6, lo que sugiere una dieta más diversa para los rorcuales del sur, compuesta principalmente de Macrozooplancton y peces pequeños (Pauly *et al.* 1998), como lo mencionan Urbán *et al.* (1991), en el sur del Golfo de California fue visto alimentándose al rorcual de Bryde de *Sardinops caeruleus*, *Opisthonema libertate* y en algunas ocasiones de *Nyctiphanes simplex*.

Para los rorcuales del norte se sugiere una dieta más restringida, principalmente piscívora. Lo cual coincide con lo mencionado por Gendron *et al.* (2001), que *Balaenoptera edeni* muestra un nivel trófico, que apunta a una alimentación por peces.

En el caso de $\delta^{13}\text{C}$ los valores más altos se presentaron en los rorcuales del norte, en relación a los rorcuales del sur. Este resultado se puede explicar debido a que la zona del golfo norte que comprende desde el delta de Río Colorado hasta el sur de las Grandes Islas del Golfo: Es un ecosistema con muy alta productividad primaria, que se reflejaría en presas y depredadores. La gran actividad microbiana que genera materia orgánica y los procesos de remineralización que ocurren en el delta del Río Colorado que producen fitoplancton muy enriquecido se ve reflejado en un valor alto del $\delta^{13}\text{C}$ de -22‰ en la materia orgánica suspendida en comparación con el resto del Golfo que presenta un valor de $\delta^{13}\text{C}$ -20‰ (Aguñiga, 1999). La región sur presenta características más oceánicas, donde el aporte nutrientes es más limitado, la tasa de producción microalgal son muy bajas como

para disminuir drásticamente las concentraciones de CO₂ acuoso (enriquecido en ¹²C); por lo tanto, el valor del $\delta^{13}\text{C}$ del carbono fijado en la base de la cadena trófica de sitios oceánicos, es menor comparado con la señal del carbono fijado por el fitoplancton en zonas costeras (Gilbert y Allen 1943; Burton y Koch, 1999).

Debido a esto podemos sugerir que las muestras de piel de los rorcuales tomadas en la región del Golfo norte, tienen una marca isotópica de carbono que es característica de las Grandes Islas del Golfo de California y que al menos se están alimentando en esta región que tiene características costeras con un alto aporte de fitoplancton. Estas diferencias en las marcas isotópicas de carbono coinciden con Gamboa (2003), que con base a diferencias en el isótopo de carbono propuso dos ecotipos de tursiones: costeros y oceánicos. Asimismo Jaume (2004) encontró que el valor más alto de $\delta^{13}\text{C}$ en piel de *Balaenoptera physalus* fue en Bahía Kino en comparación con la Bahía de la Paz y Loreto. Estos resultados fortalecen la inferencia de que los rorcual de Bryde del norte tienen costumbres más costeras en relación a los rorcuales del sur que tienen costumbres más oceánicas, o al menos, que ocupan estas áreas para su alimentación.

Variabilidad interanual

En los resultados de las muestras de piel de los rorcuales de Bryde de la región sur no se encontraron diferencias en los isótopos estables de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, lo que indica que son rorcuales que se alimentan en la misma región con dieta similar.

Variabilidad intraanual

En cuanto a los resultados de rorcuales de Bryde muestreados en la región del sur pero en diferente temporada del año, se encontró una variabilidad importante en el $\delta^{15}\text{N}$ de (2.3‰), siendo más alto en los rorcuales de Bryde que se muestrearon durante la temporada cálida con un $\delta^{15}\text{N}$ de 19.1‰ *versus* temporada fría de un $\delta^{15}\text{N}$ 16.8‰. La variación intraanual en los rorcuales Bryde, podría explicarse con los altos valores del $\delta^{15}\text{N}$ periódicamente observado en la materia orgánica sedimentaria de la región sur del Golfo de California y en la Bahía de la Paz, a causa de la introducción de aguas rica en $\delta^{15}\text{N}$ proveniente de la corriente

subsuperficial ecuatorial (Aguñiga *et al.* 2010). Otra explicación que podría determinar la variación intraanual de los isótopos estables, es que durante los periodos muy cálidos, el descenso de la frecuencia de avistamientos de rorcual de Bryde en la Bahía de la Paz, se deba a que los rorcuales migran a zonas más norteñas del Golfo California, donde se agrupan en áreas con mayor disponibilidad de alimento, como las provincias de las grandes islas y canal de ballenas en la región del norte del Golfo de California (Flores *et al.* 1997). Región que durante el verano y el otoño las condiciones ambientales favorecen la alta disponibilidad de la sardina Monterrey en la costa occidental del alto Golfo en los alrededores de las Isla Angel de la Guarda (De Anda *et al.* 1994 y Zavala *et al.* 2002).

Asimismo el aumento en el $\delta^{15}\text{N}$ entre temporadas, se puede explicar con el incremento de .6 en la estimación del nivel trófico entre temporadas: fría con 3.1 y cálida con 3.7, incremento que esta relacionado con las variaciones en la dieta (Pauly, 1998, Newsome *et al.* 2010). Por lo tanto se sugiere un cambio de presa en la temporada fría versus la temporada cálida, siendo la última con nivel trófico más alto.

Ácidos grasos

En el rorcual de Bryde se encontró un mayor porcentaje de triglicéridos en el tejido subcutáneo que en el tejido epitelial. Asimismo, al analizar las dos clases lipídicas (neutro y polar) en ambos tejidos, se encontró una mayor proporción de lípidos neutros, en comparación a los lípidos polares del tejido subcutáneo. En contraste, se encontró mayor proporción de lípidos polares en relación a la proporción de lípidos neutros en el tejido epitelial. Al parecer la mayor proporción de ácidos grasos neutros en la grasa y de ácidos grasos polares en la piel es estable o frecuente en los cetáceos. Ya que este patrón está presente en algunos misticetos como la ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*), ballena de rudolphi (*Balaenoptera borealis*) y ballena azul (*Balaenoptera musculus*) (Ruchonnet *et al.* 2006; Rueda-Flores. 2007). En análisis similar, en tejidos (piel y grasa) de delfín calderón de aletas cortas (Traconis, 2010) se reporta la misma proporción (8:2) de ácidos grasos neutros en grasa *vs* piel y de (2:8) en ácidos grasos polares en grasa *vs* piel. En otro estudio realizado entre regiones corporales de un individuo de cachalote varado (Cruz-Vizcaíno, 2005) se reporta la abundancia de triglicéridos en la regiones cefálicas y media del cuerpo (75.1% y 76% respectivamente), contrario a la región caudal, donde encontró una mayor proporción de fosfolípidos. Debido a que los triglicéridos fueron los más abundantes en las muestras de los rorcuales de Bryde, la grasa subcutánea representa un buen tejido para estudiar fluctuaciones en la alimentación. De igual manera el tejido epitelial representa una excelente matriz orgánica para diferenciar entre poblaciones, grupos o zonas geográficas.

Lípidos neutros

La función principal de los lípidos neutros en la grasa de los organismos marinos es la de constituir un reservorio energético, estructurado principalmente por triglicéridos, así como de protector térmico, distinción de los mamíferos marinos como los cetáceos (Ackman, 1989 y Bergé y Bernathan, 2005). Dicho concepto está respaldado ya que se ha visto que los patrones de ácidos grasos de algunos productores primarios (base de la cadena trófica) pueden ser transferidos a través de las cadenas tróficas marinas sin ser modificados, por lo tanto pueden ser reconocidos en los depredadores tope (Iverson, 2008).

Comparación interanual

En relación a los lípidos neutros de la grasa, que representan la primera fuente de energía para el tejido, no se encontraron diferencias significativas entre los rorcuales del sur de 2010 y los rorcuales del sur de 2011. Tal vez porque son individuos que fueron muestreados en similar temporada del año y región geográfica. Por lo que indica que se están alimentando de las mismas presas. Esta aseveración coincide con lo reportado por Díaz-Gamboa (2003) y Traconis (2010), quienes confirman la hipótesis que las diferencias entre grupos de delfín calderón de aletas cortas del Golfo de California mediante los isótopos estables y el análisis de ácidos grasos de reserva se deben a distintos hábitos alimentarios y no a zonas con diferentes aportes de nitrógeno.

Comparación entre clases de edad

Los resultados que se encontraron entre grupos de rorcuales de Bryde del norte del Golfo de California: adultos y crías, indican que hay diferencias en los ácidos grasos (16:0, 16:1n7), siendo de mayor proporción para las crías en relación a los adultos, esta relación se puede explicar con la transferencia energética, de que algunos ácidos grasos esenciales son transferidos directamente de las madres a las crías vía leche, ya que al ser esenciales solo pueden obtenerse a partir del alimento, con poca o nula modificación. (Iverson, 1993).

Comparación entre regiones

A partir de los análisis de funciones discriminantes entre grupos utilizando los ácidos grasos de reserva (biomarcadores) en el tejido graso se encontraron diferencias significativas entre los rorcuales del norte (NORTE y NORTE- CRÍAS) versus rorcuales del sur (SUR 10 y 11). Esto se pueda explicar con el argumento de que el grupo norte tiene preferencia por presas distintas al grupo sur. Lo cual coincide con lo que sugieren (Urbán y Flores, 1996), que existen diferencias entre los rorcuales de Bryde del norte y sur en relación a su preferencia de alimento. Los biomarcadores que influyeron en la separación del grupo sur son 18:2n6 (plantas vasculares) (Copeman *et al.* 2009), 20:1n9 (zooplancton) (Parrish *et al.* 2000), 20:4n6 (fitoplancton) (Cohen *et al.* 1995), 20:5n3 (diatomeas) (Mourente *et al.* 1990) y 22:6n3 (dinoflagelados) (Copeman *et al.* 2009), en comparación con los del grupo norte 14:0 (Diatomeas) (Mourente *et al.* 1990), 16:0 (Bacterias) (Parrish *et al.* 2009), 16:1n7 (Diatomeas), (Mourente *et al.* 1990) y 17:0 (Bacterias) (Parrish *et al.* 2009). A pesar de que existen evidencias de algunos componentes para construir las rutas tróficas de ambos grupos (*v.g* grupo sur; fitoplancton- zooplancton) y (*v.g* grupo norte; detritus-fitoplancton-zooplancton), se pierde la relación al llegar a las presas preferente de esta especie que han sugerido diferentes autores como Urbán *et al.* (1991), Tershy *et al.* (1992) y Tershy (1993) incluyendo *Sardinops caeruleus*, *Pleuroncondes planipes*, *Opisthonema libertate* y *Nyctiphanes simplex*. Probablemente esta relación no se observa en este estudio debido a que los registros de perfil de ácidos grasos de estas presas no corresponden a la misma región y/o tiempo del rorcual de Bryde como lo que menciona Grahl-Nielsen y Mjaavatten (1991), la ausencia de reflejo del perfil de los ácidos grasos de la presa en el depredador puede ser a causa, porque se desconoce la presa o se tiene un gran número de ellas.

Lípidos estructurales

Comparación interanual

A partir del análisis de funciones discriminantes de los ácidos grasos de fosfolípidos en la piel de los rorcuales de Bryde del sur10 vs sur11 no se encontraron diferencias significativas. Los ácidos grasos que contribuyeron a la agrupación de estos dos grupos fueron el 17:0 y 18:2n6. Este resultado propone que los dos grupos de rorcuales muestreados en la misma región (sur) pertenecen a un mismo stock pese a que fueron muestreados con un intervalo de diferencia de un año. Esta aseveración se apoya debido a que los fosfolípidos forman parte de las membranas celulares y por lo tanto su perfil debe mantenerse estable a pesar de factores externos como pueden ser la dieta, estado reproductivo, migración, etc. Por lo que estos pueden ser utilizados como una firma natural a largo plazo (Grahl-Nielsen, 2004). Resultado similar a este estudio fue el de Rueda-Flores, (2007), que encontró una variación muy baja en el perfil de ácidos grasos estructurales de ballenas azules muestreadas entre 2003 y 2005, que concuerda con estudios previos poblacionales de ADN mitocondrial de esta especie, que menciona que solo existe una población de ballena azul en el Golfo de California.

Comparación entre clases de edad

Los resultados obtenidos de los ácidos grasos estructurales en la piel de dos crías de rorcuales de Bryde del grupo norte en relación a los rorcuales de Bryde adultos del norte y sur muestran una clara separación entre estos. Dicho hallazgo está relacionado en la forma en que los ácidos grasos estructurales son metabolizados y fijados en sus membranas celulares de acuerdo al estado fisiológico de los individuos (Rueda-Flores, 2007). Aún no se conocen las funciones de varios fosfolípidos de los cuales se derivan los ácidos grasos estructurales (Christie, 1989), debido a esto se cree que las diferencias entre categorías podrían atribuirse a la forma en que son utilizados estos ácidos grasos en diversas funciones fisiológicas (*v.g.* lactancia), así como para la obtención de energía característica para cada categoría de acuerdo a sus requerimientos energéticos como se observa en las crías de rorcual de Bryde.

Comparación entre regiones

Con base en los resultados obtenidos del análisis de funciones discriminantes de los ácidos grasos estructurales de los rorcuales de Bryde muestreados en las dos regiones, apuntan a que los rorcuales de Bryde del grupo norte en relación a los del grupo sur son diferentes unidades poblacionales, esto debido a que mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la composición de los ácidos grasos estructurales, lo cual concuerda con otros estudios realizados en cetáceos como el de Olsen y Grahl-Nielsen (2003) que compararon dos poblaciones de rorcual aliblanco. Asimismo Cruz-Vizcaíno (2005), quien diferenció unidades poblacionales de cachalote, y Traconis (2010) propuso dos unidades poblacionales de delfín calderón de aletas cortas en el Golfo de California mediante el análisis de ácidos grasos estructurales.

CONCLUSIONES

- A partir del análisis del isótopo de carbono, se sugieren dos agregaciones de rorcual de Bryde del Golfo de California; La del norte que esta asociada a zonas costeras y la del sur a zonas oceánicas.
- Se propone que la dieta de los rorcuales de Bryde del sur, esta compuesta de eufausidos y peces como las sardinas, a diferencia de los rorcuales del norte, que se alimentan principalmente de peces como los sardinas.
- La variación intraanual del isótopo de nitrógeno en los rorcuales del sur, sugiere un cambio de presa entre la temporada fría *versus* cálida.
- El análisis en los ácidos grasos de reserva, es una aplicación potente, para diferenciar zonas de alimentación y rutas tróficas determinadas por ácidos grasos biomarcadores.
- El análisis de los ácidos grasos estructurales, es una aplicación muy útil para diferenciar clases de edad y/o estado fisiológico en rorcual de Bryde.
- Se proponen dos unidades poblacionales de rorcuales de Bryde en el Golfo de California a partir del análisis de los ácidos grasos estructurales en la piel.
- Con base en los análisis de los ácidos grasos de reserva y estructurales se puede concluir que las diferencias de $\delta^{15}\text{N}$ en la piel de los rorcuales de Bryde del Golfo de California, se deben a distintos hábitos alimentarios intraespecíficos y no a la variación en el aporte de nitrógeno entre las regiones del Golfo.

LITERATURA CITADA

- ACKMAN, R. G., JH. HINGLEY, C.A. EATON, J.C. SIPOS. 1975a. Blubber fat deposition in mysticeti whales. *Can J. Zool.* 53: 1332-1339.
- AGUIÑIGA-GARCÍA, A. SANCHEZ Y N. SILVERBERG. 2010. Temporal variations of C,N, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ in organic matter collected by a sediment trap at Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, SW Gulf of California. *Continental Shelf Research* 30: 1692-1700.
- AGUIÑIGA-GARCÍA, S., F. GALVÁN-MAGAÑA, N. SILVERBERG, M. SOTO-JIMÉNEZ, Y. TORRES ROJAS, N. AGUILAR-CASTRO, M. MIRANDA, H. ARCE-OSUNA, J. CAMALICH-CAPIZO Y A. SÁNCHEZ. 2007. The scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* as an indicator of $\delta^{15}\text{N}$ shifts in particulate organic matter from contrasting oceanographic areas. P.107. En: Abstracts of Climate impacts on oceanic top predators. La Paz, B.C.S. México. 136 pp.
- AGUIÑIGA-GARCÍA, S. 1999. Geoquímica de la cuenca estuarina del Río Colorado: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, México. 155p
- ALTABET, M. A., PILSKALN, C., THUNELL, R., PRIDE, C., SIGMAN, D., CHAVEZ, F. y FRANCOIS, R. 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep Sea Research-Part I-Oceanographic Research Papers*, 46, 655-680.
- ALVAREZ-BORREGO, S. y LARA-LARA, J. R. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: Dauphin, J.P. y B.R. Simoneit (Eds.). *The gulf and peninsular province of the California*. AAPG. Memories. 47, 555-567.
- ANDERSON, J. 1879. *Anatomical and Zoological Researches: Comprising an Account of Zoological Results of the Two Expeditions to Western Yunnan in 1868 and 1875 and a Monograph of the Two Cetacean Genera, Platanista and Orca*. Bernard Quaritch, London, UK.
- BADAN-DANGON, A., KOBLINSKY, C. J. y BAUMGARTNER, T. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8, 13-22.
- BERGÉ, J. P. y BARNATHAN, G. 2005. Fatty acids from lipids of marine organisms: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds, and economical aspects. *Marine biotechnology* 1, 49-125.
- BOROBIA, M., P. J. GEARING, Y. SIMARD, J. N. GEARING y P. BELAND. 1995. Blubber fatty acids of finback and humpback whales from the Gulf of St. Lawrence. *Marine Biology* 122: 341-353.
- BRUSCA R. C., L. T. FINDELEY, P. A. HASTINGS, M. E. HENDRICKX, J. TORRE COSIO y VAN DER HEIDEN. 2005. Macrofaunal diversity in the Gulf of California. Pp 179-203 in J.-L.E. CARTON, G. CEBALLOS, y R. FELGER (eds): *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, NY.
- BUCKLAND, S. T. 1984. Monte Carlo Confidence Intervals. *Biometrics* 40:811-817.
- BUDGE, S. M., IVERSON, S. J. y KOOPMAN, H. N. 2006. Studying trophic ecology in marine ecosystems using fatty acids: a primer on analysis and interpretation. *Marine Mammal Science*, 22, 759-801.
- BURTON R. K, KOCH PL (1999) Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. *Oecologia* 119:578–585
- BUSQUETS, V. G. R. 2008. Variabilidad de Isótopos estables de nitrógeno y carbono en piel de ballena azul (*Balaenoptera musculus*). Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, 102pp.
- CHRISTIE, W. W. 1989. *Gas chromatography and lipids: a practical guide*. The Oily Press England. 184 pp.

- CHRISTIE, W. W. 2003. Lipids analysis. The oily Press, England. 416 pp.
- COHEN, Z., H. NORMAN Y Y. M. HEIMER 1995. Micoalgae as a Source of ω 3 Fatty Acids. World Rev Nutr Diet, 77, 1-31.
- DAS, K., BEANS, C., HOLSBECK, L., MAUGER, G., BERROW, S. D., ROGAN, E. y BOUQUEGNEAU, J. M. 2003. Marine mammals from northeast atlantic: relationship between their trophic status as determined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ measurements and their trace metal concentrations. Marine Environmental Research, 56, 349-365.
- DE ANDA, J. A. M., J.C. SEIJO y S. MARTÍNEZ. 1994. Recruitment and environmental variability in Monterrey sardine (*Sardinops sagax*) fishery from the Gulf of California, México. Investigaciones Pesqueras (Chile) 38:23-26.
- DEL ÁNGEL-RODRÍGUEZ, J., CARREÓN-PALAU, L., BAND-SCHMIDT, C., PACHECO-CHAVEZ, R. 2008. Source identification of fatty acids for key species in Bahía de La Paz, Gulf of California, México. CIBNOR. Poster presentado en la reunión de verano de la Sociedad Americana de Limnología y Oceanografía en Sant. John's, Newfoundland y Labrador Canada.
- DENIRO, M. J. SCHOENINGER, M.J. 1983. Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen. Variations within populations raised on monotonous diets. J. archaeol. Sci. 10:199-203.
- DENIRO, M. J. y EPSTEIN. S. 1981a. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. – Geochim. Cosmochim. Acta 45: 341–351.
- DENIRO, M. J. y EPSTEIN. S. 1977. Mechanisms of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. Science. 197: 261-263.
- DIAZ GAMBOA, R. E. 2003. Diferenciación entre tursiones *Tursiops truncatus* costeros y oceánicos en el Golfo de California por medio de isótopos estables de carbono y nitrógeno. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 62pp.
- DIZON, A. E., LUX, C.A., LEDUC, R.G., URBÁN-R, J., HENSHAW. M. y BROWNELL, R.L. . 1995. An interim phylogenetic analysis of sei and Bryde's whale mitochondrial DNA control region sequences. Presentado al comité científico internacional de la Comisión Ballenera Internacional. Paper SC/47/NP23 12pp.
- FLORES, M. R. 2007. Variabilidad de perfiles de ácidos grasos de Ballena Azul *Balaenoptera musculus* en el Golfo de California. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 67pp.
- FLORES, S., URBÁN R.J., DELGADO G.O, VARGAS, S.J. 1997. Avistamientos del rorqual tropical, *Balaenoptera edeni* (Cetacea: Balaenopteridae) y temperatura del agua, en Baja California Sur, México. Rev. Biol. Trop. 45 (3): 1209-1214.
- FOLCH, J., LEES, M. y STANLEY, G. H. S. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 226, 497-509.
- GENDRON, D., S. AGUIÑIGA y J. D. CARRIQUIRY. 2001. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in skin biopsy samples: a note on their applicability for examining the relative trophic level in three rorqual species. Journal of Cetacean Research and Management 3: 41-44.
- GILBERT, J. Y. y ALLEN, W. E. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the EW Scripps in 1939 and 1940. J. Mar. Res, 5, 89-110.
- GRAHL-NIELSEN, O. y O. Majaavatten. 1991. Dietary influence of fatty acid composition of blubber fat of seals as determined by biopsy: a multivariate approach. Mar. Biol. 110: 59-64.
- HERMAN, D. P., D. G. BURROWS, P. R. WADE, J. W. DURBAN, C. O. MATKIN, R. G. LEDUC, L. G. BARRETT-LENNARD y M. M. KRAHN. 2005. Feeding ecology of eastern North Pacific killer whales *Orcinus orca* from fatty acid, stable isotope, and organochlorine analyses of blubber biopsies. Marine Ecology Progress Series 302: 275-291.

- HOBSON, K. A. 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia*, 120, 314-326.
- INTERNATIONAL WHALING COMMISING. 1996. Report of the subcommittee on North Pacific Bryde's whales. Report of the International Whaling Commission 47: 147-159.
- IVERSON, S. J. 2009. Tracing aquatic food webs using fatty acids: from qualitative indicators to quantitative determination. *Lipids in Aquatic Ecosystems*, 281-308.
- IVERSON, S. J., FIELD, C., DON BOWEN, W. y BLANCHARD, W. 2004. Quantitative fatty acid signature analysis: a new method of estimating predator diets. *Ecological Monographs*, 74, 211-235.
- JAUME, S., 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 en Manejo de Recursos Marinos, CICIMAR, La Paz BCS, México. 63 pp.
- JOHNSON, G., FRANTZIS, A., JOHNSON, C., ALEXIADOU, V., RIDGWAY, S. y MADSEN, P. T. 2010. Evidence that sperm whale *Physeter macrocephalus* calves suckle through their mouth. *Marine Mammal Science*, 26, 990-996.
- KLINOWSKA, M. 1991. Dolphins, porpoises and whales of the world. The IUCN Red Data Book. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, U.K. Viii+429pp.
- KWAK, T. J. y ZEDLER, J. B. 1997. Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. *Oecologia*, 110, 262-277.
- LAVIN, M. F., G. GAXIOLA-CASTRO, J. M. ROBLES y K. RICHTER. 1995. Winter water masses and nutrients in the northern Gulf of California. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 100: 8587-8605.
- LEATHERWOOD, S., R. R. REEVES AND L. FOSTER. 1983. The Sierra Club handbook of whales and dolphins. San Francisco.
- LEATHERWOOD, S., REEVES, R. R., PERRIN, W. F., y EVANS, y W. E. 1988. Whales, dolphins, and porpoises of the Eastern North Pacific and Adjacent Arctic Waters. Mineola, New York: Dover Publications, Inc. 245pp
- LEE, S. H., D. M. SCHELL, T. L. MCDONALD y W. J. RICHARDSON. 2005. Regional and seasonal feeding by bowhead whales *Balaena mysticetus* as indicated by stable isotope ratios. *Marine Ecology Progress Series* 285: 271-287.
- LOCKYER, C. H. y S. G. BROWN. 1981. The migration of whales. Animal Migrations Society for Experimental Biology Seminar Series 13. Cambridge University Press. Cambridge. 105-137.
- LÓPEZ IBARRA, G. A. 2008. Estructura trófica de los copépodos pelágicos en el océano Pacífico Oriental Tropical. TESIS DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS, CICIMAR. La Paz Baja California Sur, 107pp.
- MALUF, L. Y. 1983. Physical oceanography. Island biogeography in the Sea of Cortez. University of California Press, Berkeley, California, USA: 26-45.
- MARSH, B. J. y B. D. Weinstein. 1966. Simple charring method for determination of lipids. *Journal of Lipid Res*, 7: 574-576.
- MOSS, B. y ROUND, F. E. 1967. Observations on standing crops of epipellic and epipsammic algal communities in Shear Water, Wilts. *British Phycological Bulletin*, 3, 241-248.
- MOURENTE, G., LUBIAN, L. M. y ODRIOZOLA, J. M. 1990. Total fatty acid composition as a taxonomic index of some marine microalgae used as food in marine aquaculture. *Hydrobiologia*, 203, 147-154.
- NEWSOME, S. D., CLEMENTZ, M. T. y KOCH, P. L. 2010. Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26, 509-572.

- NOLASCO, S. J. 2003. Contenido calórico y composición de ácidos grasos de la dermis de la ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* en aguas adyacentes a la Isla Socorro, Revillagigedo, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- OCHOA, D. R. 2009. Espectro trófico del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1758) en Baja California Sur: Aplicación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, BCS, México. 75p.
- OLSEN, E. y GRAHL-NIELSEN, O. 2003. Blubber fatty acids of minke whales: stratification, population identification and relation to diet. *Marine Biology*, 142, 13-24.
- O'REILLY, C. M., HECKY, R. E., COHEN, A. S. y PLISNIER, P. D. 2002. Interpreting stable isotopes in food webs: recognizing the role of time averaging at different trophic levels. *Limnology and oceanography*, 306-309.
- PALMER, J. D. y ROUND, F. E. 1967. Persistent, vertical-migration rhythms in benthic microflora. VI. The tidal and diurnal nature of the rhythm in the diatom *Hantzschia virgata*. *Biological Bulletin*, 132, 44-55.
- PÁMANES, J. G. y LARA, J. R. L. 2001. PASTOREO POR EL MICROZOOPLANKTON EN EL GOLFO DE CALIFORNIA MICROZOOPLANKTON GRAZING IN THE GULF OF CALIFORNIA. *Ciencias Marinas*, 27, 73-90.
- PARÉ, J. R. J., BÉLANGER, J. M. R. & STAFFORD, S. S. 1994. Microwave-Assisted Process (MAP™): a new tool for the analytical laboratory. *Trends Anal. Chem*, 13, 176-184.
- PARRISH, C. C. 2009. Essential fatty acids in aquatic food webs. *Lipids in Aquatic Ecosystems*, 309-326.
- PARRISH, C., ABRAJANO, T., BUDGE, S., HELLEUR, R., HUDSON, E., PULCHAN, K. y RAMOS, C. 2000. Lipid and phenolic biomarkers in marine ecosystems: analysis and applications. *Marine Chemistry*, 193-223.
- PAULY, D., A. W. TRITES, E. CAPULI y V. CHRISTENSEN. 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 55: 467-481.
- PETERSON B. J. y B. FRY. 1987. Stable isotopes in ecosystems. *Annual Review of Ecology Systematics*. 18: 293-320.
- PHILLIPS, D. L. 2001. Mixing models in analyses of diet using multiple stable isotopes: a critique. *Oecologia*, 127, 166-170.
- PORRAS, L. D. G. P. 2007. Importancia de los eufáusidos en la ecología alimentaria del rorcual común *Balaenoptera physalus* en canal de ballenas y bahía de Los Angeles, Baja California. Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología Marina CICESE. 146pp.
- POST, D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83, 703-718.
- REEVES, R. R., B. S. STEWART, P. J. CLAPHAM, J. A. POWELL y P. A. FOLKENS. 2002. Guide to marine mammals of the world. National Audubon Society. A Chanticleer Press Edition. New York. ISBN: 0-375-41141-0. 527pp.
- REILLY, S.B., BANNISTER, J.L., BEST, P.B., BROWN, M., BROWNELL JR., R.L., BUTTERWORTH, D.S., CLAPHAM, P.J., COOKE, J., DONOVAN, G.P., URBÁN, J. Y ZERBINI, A.N. 2008 *Balaenoptera edeni*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Treated Species. Version 2011. 1. www.iucnredlist.org . Downloaded on 27 September 2011.
- RIDGWAY, S. 2010. Being "there" for surprises and delights in cetacean and pinniped biology. *Marine Mammal Science*, 26, 761-786.

- RODEN, G. I. y. Emmilson., I. 1980. Oceanografía física del Golfo de California. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Contribución No. 90. 67pp.
- RODEN, G. I. y. G.W. GROVES. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. J. Mar. Res, 18, 10-35.
- RODRIGUEZ VALENZUELA, M. T. 2009. Contenido energético y ácidos grasos biomarcadores en dos rutas tróficas que llegan al lobo marino, *Zalophus californianus*. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, BCS, México. xiv, 108p.
- ROUND, F. E. 1967. The phytoplankton of the Gulf of California. Part I. Its composition, distribution and contribution to the sediments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1, 76-97.
- RUCHONNET, D. M. BOUTOUTE, C. GUINET y P. MAYZAUD. 2006. Fatty acid composition of Mediterranean fin whale *Balaenoptera physalus* blubber with respect to body heterogeneity and trophic interaction. Mar. Ecol. Prog. Ser. 311:165-174.
- RUEDA, F. M. 2007. Variabilidad de perfiles de ácidos grasos de ballena azul, *Balaenoptera musculus*, en el Golfo de California. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, BCS, México. 65 pp.
- SANTAMARÍA, A. 1994. El color de las aguas del Golfo de California registrado por el CZCS: relaciones de la biomasa fitoplanctónica y los procesos físicos de la mezcla. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Baja California, La Paz, BCS. 131 pp.
- SMITH, S. J., IVERSON, S. J. y BOWEN, W. D. 1997. Fatty acid signatures and classification trees: new tools for investigating the foraging ecology of seals. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54, 1377-1386.
- TERSHEY, B. R. 1992. Body size, diet, habitat use, and social behavior of Balaenoptera whales in the Gulf of California. Journal of mammalogy 73: 477-486.
- TERSHEY, B. R., G. A. ACEVEDO, D. BRÉESE y C. S. STRONG. 1993. Diet and feeding behavior of fin and Bryde's whales in the central Gulf of California, Mexico. Rev Inv Cient 1: 31-38.
- TRACONIS CORREA, J. 2010. Discriminación de grupos de calderones de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*) en el Golfo de California, México, mediante análisis de ácidos grasos. Tesis de Maestría. CICIMAR. La Paz, BCS, México. 79 pp.
- UNKOVICH, M., PATE, J., MCNEILL, A. y GIBBS, J. 2001. Stable isotope techniques in the study of biological processes and functioning of ecosystems, Springer.
- URBÁN R, J., VALLES J.R. y Gomez-Gallardo U, A. 1991. Relative abundance, time space distribution and some aspect of the biology of the tropical rorqual *Balaenoptera edeni*, in la La Paz Bay B.C.S., México. Paper presented at the Ninth Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Chicago, Illinois, December 1991 (unpublished).
- URBÁN R., J. y. S. FLORES. 1996. A note on Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) in the Gulf of California, México. R. Rep. Int. Whal. Commn.: 453-457.
- VALDEZ-HOLGUÍN, J. E. y LARA-LARA, J. R. 1987. Productividad primaria en el Golfo de California: efectos del evento El Niño 1982-1983. Ciencias Marinas, 13, 34-50.
- VANDER ZANDEN, M. J. y RASMUSSEN, J. B. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. Limnology and oceanography, 2061-2066.
- VIZCAINO, M. C. 2005. Relacion del perfil de ácidos grasos del cachalote *Physeter macrocephalus* y el calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California. Tesis de Maestria. CICIMAR. La Paz, BCS, México. 66pp.

- VOSS, M., DIPPNER, J. W., MONTOYA, J. P. 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen deficient waters of the Eastern Tropical Pacific Ocean (ETNP). *Deep Sea Research Part I* 48: 1905-1921.
- WADA, P.R. y Gerrodette. 1993. Estimates of cetacean abundance and distribution in the Eastern tropical Pacific. *Reports of the international Whaling Commission* 31:441-448.
- WHITLEDGE, G. W. & RABENI, C. F. 1997. Energy sources and ecological role of crayfishes in an Ozark stream: insights from stable isotopes and gut analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54, 2555-2563.
- YUNOKI, K., ISHIKAWA, H., FUKUI, Y. y OHNISHI, M. 2008. Chemical properties of epidermal lipids, especially sphingolipids, of the Antarctic minke whale. *Lipids*, 43, 151-159.

GLOSARIO

Ácido graso (AG): Unidad básica de los lípidos que les da sus características físicas y biológicas. Se forma por una cadena de átomos de longitud variable, unido en un extremo a un grupo carboxilo (COOH, cabeza polar), y en la cola hidrocarbonada (no-polar) presenta un grupo metilo (CH₃).

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

AG biomarcadores: AG característicos de organismos o grupo de organismos que pueden ser rastreados a través de las redes alimenticias, y que dan información sobre la condición del organismo en cuestión o de un proceso en el ecosistema.

AG esenciales (AGE): Son ácidos grasos que los organismos no pueden sintetizar y que necesitan para el correcto funcionamiento del metabolismo. El grupo de AGE incluye al ácido linoléico 18:2 ω₆ (LA) y el alfa-linoléico 18:3 ω₆ (ALA). El docosaheptanoico 22:6 ω₃ (EPA) es considerado como ácido graso esencial; que puede ser producido por algunos organismos como los mamíferos a partir del LA y el ALA pero a un nivel muy bajo e insuficiente.

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

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

Contenido energético: Valor energético expresado en la cantidad de kilocalorías o Kilojoules o megacalorías o megajoules.

Cromatografía de gases / Espectrometría de masas (GC/MS): Método que ofrece una alta resolución en las separaciones de mezclas de compuestos complejos (*e.g.* lípidos). En años recientes la GC/MS se ha considerado con una de las técnicas más valiosas para la identificación y cuantificación de ácidos grasos y sus derivados.

Enriquecimiento isotópico: Incremento en la señal isotópica como resultado de la discriminación del isótopo pesado sobre el ligero por diferentes procesos físicos y biológicos.

Estenófago: Organismo que se alimenta de un tipo o una variedad limitada de especies, usualmente con modos de alimentación altamente especializada.

Eufáusido: Crustáceo marino que pertenece al plancton parecido a los camarones comunes, y que no presentan maxilípedos. Después de los copépodos, son considerados segundos en importancia en la composición del zooplancton. Comúnmente se le conoce como Krill.

Fosfolípidos: Son los principales componentes de la membrana celular, así como también lo son de la estructura liposomal. Forman parte de los llamados lípidos estructurales, y, como molécula, su característica principal es su carácter anfílico, es decir, una parte de la molécula tiene afinidad por el agua (hidrófila) y la otra por la grasa (lipófila).

Flujo de energía: Proceso por el cual la energía captada por los productores primarios se transmite a lo largo de la cadena trófica.

Fraccionamiento isotópico (ϵ): Se refiere al equilibrio y tasa de reacción (efecto cinético) que causa diferencias en la señal isotópica entre reactivos y productos en una reacción química.

Fraccionamiento trófico: Cambio en los valores isotópicos (valores δ) que se da entre la presa y el depredador.

Fuentes de variabilidad isotópica: Factores que modifican o afectan los valores isotópicos (valores δ), pueden ser en el medio ambiente o en los tejidos de organismos.

Fuentes inorgánicas primarias acuáticas de C y N: Son las formas de carbón y nitrógeno inorgánico del medio que utilizan los productores primarios para llevar a cabo la fotosíntesis. Estas pueden ser naturales (*e.g.* provenientes de eventos surgencias) o potencialmente de origen antropogénico (NH_4^- o NO_3^- contaminantes de descargas de ríos).

Isótopo: Átomos del mismo elemento químico que tienen el mismo número atómico, es decir el mismo número de protones (Z) y electrones (e^-), pero diferente masa atómica (A) o número de neutrones (N).

Isótopos estables: Son átomos de un mismo elemento con igual número de protones pero diferente número de neutrones y que no presentan una desintegración espontánea a través del tiempo.

Lípidos: Son los ácidos grasos y sus derivados, así como sustancias relacionadas a estos compuestos de manera biosintética o funcional.

Material orgánico particulado (MOP): Material orgánico como secreciones, exudados celulares, material fecal de organismos vivos, restos de fitoplancton y

zooplancton, y material detrítico parcialmente o totalmente degradado que es retenido en un filtro de 0.45µm.

Maxilípedos: Apéndices articulados de los crustáceos que se encuentran entre la mandíbula y la región torácica; sirven para la captura del alimento.

n-3: También llamados ω-3 (omega-3) debido a que presentan un doble enlace en el tercer carbono contando a partir del extremo metilo. Son los ácidos grasos derivados a partir del ácido linoléico por medio de elongación de la cadena o desaturación e incluye ácidos grasos como el EPA y DHA.

n-6: También llamados ω-6 (omega-6) debido a que presentan un doble enlace en el sexto carbono contando a partir del extremo metilo. Son los ácidos grasos derivados a partir del ácido linoléico por medio de la elongación de la cadena o desaturación e incluye al ácido graso araquidónico.

Nivel trófico: Posición relativa de un organismo dentro de la trama trófica; dicha posición está determinada de acuerdo a la distancia existente entre un organismo y la utilización directa de la energía solar.

Saponificación: Reacción química entre un éster de ácido graso (o un lípido saponificable, portador de residuos de ácidos grasos) y una base o alcalino, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido. Estos compuestos tienen la particularidad de tener una parte polar y otra apolar (o no polar), con lo cual pueden interactuar con sustancias de propiedades dispares.

Síntesis de *novo* en ácidos grasos: Biosíntesis de los ácidos grasos a partir de los carbohidratos o proteínas.

Stock: Término utilizado para referirse a entidades biológicas o de manejo. Un stock biológico se caracteriza por presentar poco o nulo intercambio genético con otros individuos pertenecientes al mismo stock. Un stock de manejo se define como un grupo de individuos de la misma especie que son manejados por separado.

Surgencias: Fenómeno oceanográfico que consiste en el movimiento vertical de las masas de agua profundas hacia la superficie, también es llamado “afloramiento”. Incluyendo un desplazamiento horizontal en las aguas superficiales.

Tasa de recambio isotópico: Es el tiempo que tardan los tejidos de los organismos en presentar una señal isotópica particular (dieta) y está relacionada directamente con tasa de formación de los tejidos.

Triglicérido: Componente mayoritario de los lípidos de reserva formado por tres cadenas de ácidos grasos unidas a un glicerol mediante el grupo carboxilo.