

Informe final* del Proyecto V015
Proporción de isótopos estables de carbono (C-13), en la fauna bentónica de diferentes latitudes dentro de la ruta migratoria de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*)

Responsable: Dr. Javier Caraveo Patiño
Institución: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC
Dirección: Mar Bermejo # 195, Playa Palo de Santa Rita, La Paz, BCS, 23090 , México
Correo electrónico: Jcaraveo04@cibnor.mx
Teléfono/Fax: Tel.: (612)125 3633 y (612)125 3633; (612) 12 384 84 ext. 3445
Fecha de inicio: Noviembre 15, 2001
Fecha de término: Diciembre 17, 2003
Principales resultados: Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Caraveo Patiño, J. 2005. Proporción de isótopos estables de carbono (C-13), en la fauna bentónica de diferentes latitudes dentro de la ruta migratoria de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste SC. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. V015.** México D. F.

Resumen:

Una revisión sobre los estudios de alimentación de la ballena gris y los fundamentos básicos del concepto de biocomplejidad, permitieron el diseño de una investigación cuya estrategia está dirigida a contestar incógnitas generales del sistema biológico del cual esta especie forma parte. Con el fin de incursionar en el entendimiento de las interacciones que pueden existir dentro de cualquier sistema biológico, desde la perspectiva del movimiento reproductivo anual de la ballena gris. Resultados preliminares, representan la evidencia científica que prueba que realmente este cetáceo se alimenta en las lagunas de reproducción. Sustentados mediante evidencias gráficas (fotografías) y científicas (análisis de isótopos estables de carbono). Los cuales sugieren la existencia de fuentes de carbono intermedias entre el extremo norte y sur de su migración reproductiva. Por tanto, el primer objetivo troncal de este proyecto, es el de verificar si el gradiente isotópico detectado en las barbas colectadas en Bahía Magdalena, realmente representan los cambios isotópicos latitudinales de las comunidades bentónicas entre la parte norte y sur de su migración. Ya que es, de éstas comunidades donde obtiene su principal fuente de alimento. El segundo, será la determinación de los perfiles de ácidos grasos esenciales, de diferentes comunidades bentónicas a lo largo de la ruta migratoria de la ballena gris. Con el fin de verificar si existe alguna similitud con el perfil detectado en la laguna más sureña de reproducción.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



INFORME FINAL

Proporción de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LCPUFAS), en la fauna bentónica de diferentes latitudes dentro de la ruta migratoria de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*).

JAVIER CARAVEO PATIÑO.

Responsable del Proyecto

INSTITUCIÓN: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.. Mar Bermejo # 195, Col. Playa Palo de Sta. Rita, Apartado Postal 128, La Paz, Baja California Sur, Mexico. C.P. 23000, R.F.C.: CIB940530C73, Tel. (112) 5-36-33; Fax (112)5-36-25, <http://www.cibnor.mx>

INTRODUCCIÓN

En diferentes épocas se han realizado estudios en ballena gris encaminados a la detección de una posible actividad alimentaria fuera de las zonas polares de alimentación. Los resultados, coinciden en su mayoría en una inapetencia fuera de estas zonas. Algunos de ellos lo han concluido mediante revisiones de contenidos estomacales a lo largo de las rutas de migración (Andrews, 1914; Pike, 1962; Sacammon, 1968; Rice y Wolman, 1971; entre otros), o en las lagunas mismas de reproducción (Sacammon, 1968). Otros mediante observaciones de actividad alimentaria en campo, tales como rastros fecales o huellas sobre el fondo originadas por su actividad alimentaria (Oliver *et al.*, 1983).

No obstante, hay trabajos que proporcionan información que refuta la total inapetencia de la ballena gris fuera de las zonas polares. En ellos se reportan observaciones en campo que sugieren una actividad alimentaria en las lagunas de reproducción (Swartz y Jones, 1987; Mate y Harvey, 1984; Norris *et al.*, 1983; Villa-Ramírez *et al.*, 1981; Swartz y Jones, 1980; Sprague *et al.*, 1978; Norris *et al.*, 1977; Walker, 1975, 1971), y también a lo largo de su ruta de migración (Darling, 1984; Oliver *et al.*, 1984; Pike, 1962). Destacando las de Walker (1975), quien observó ballenas con agua lodosa derramándose de sus barbas y restos de sedimento en la superficie dejados por ellas mismas. Años más tarde Norris *et al.* (1977) y Sprague (*op. cit.*) observan la misma conducta pero, en sitios cercanos a las entradas de las lagunas de reproducción.

En 1999 en Bahía de los Angeles, B.C.S. se reporta nuevamente las observaciones descritas por Walker (1975) (Sánchez-Pacheco *et al.*, 2001), y durante el 2000 en laguna Ojo de Liebre (comunicación personal de Arón Esliman Salgado, Coordinador del programa de ballena gris y pesquerías en la Reserva de la Biosfera de San Sebastián Vizcaíno, B.C.S.).

La anterior permite considerar dos escenarios. Uno, que todas las observaciones incidentales de actividad alimenticia de ballena gris fuera de las zonas polares sugieren un posible consumo de alimento, pero por ser incidental su registro, no permite asegurar que la alimentación registrada tanto en las bahías de reproducción (Villa-Ramírez *et al.*, 1981; Nerini, 1984), como a lo largo de su ruta de migración ocurra de forma absoluta. Al considerar que los estudios realizados sobre alimentación de ballena gris demuestran que las zonas polares son los únicos lugares donde se pueden satisfacer altas demandas de alimento. No representan evidencia científica suficiente para descartar el segundo escenario, relacionado a que la ballena gris fuera de las zonas polares dirige su actividad alimenticia posiblemente a satisfacer concentraciones específicas de ciertos compuestos metabólicos, en vez de grandes biomásas de alimento como ocurre en Alaska.

ANTECEDENTES

Durante el año 2000 en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. de La Paz, B.C.S., se verificó la factibilidad de la utilización de la técnica de isótopos estables en barbas de ballenas gris como fuentes de información para evaluar la hipótesis de que sí la total inapetencia fuera de las zonas polares de alimentación es cierta, el patrón isotópico de carbono a lo largo de las barbas en todas las ballenas debería reflejar únicamente el valor correspondiente de la fuente de carbono de dichas regiones; es decir, una proporción constante entre los isótopos ^{12}C y ^{13}C , es decir, un $\delta^{13}\text{C} \approx \text{constante}$.

La interpretación de los resultados isotópicos obtenidos de un ejemplar de 8.5 metros de longitud sugirió que ésta ballena nació en Bahía Magdalena, donde comenzó a incorporar carbono en sus barbas a partir de la fuente de carbono de esta localidad. Posteriormente, durante su desplazamiento al Polo Norte siguió incorporando carbono de distintas fuentes, cuyas signaturas de $\delta^{13}\text{C}$ reflejaron una disminución en la proporción de ^{13}C , hasta llegar a las áreas de alimentación localizadas entre la parte más norteña del Mar de Bering y la más sureña del Chukchi. Más tarde, migró nuevamente hacia el sur, consumiendo las mismas fuentes de carbono y fijando los mismos valores hasta llegar a Bahía Magdalena, donde murió. Lo que permite concluir que este espécimen vivió un año, que es el tiempo que necesitó para llegar a Alaska, permanecer durante un periodo, y regresar.

Sí fuese cierta la hipótesis que las ballenas grises no comen mientras están lactando, las barbas de todos los ballenatos de ballena gris de un año de edad, debería reflejar solamente el $\delta^{13}\text{C}$ de Alaska. El cual debería ser depositado primero a través de la leche, dado que la capa de grasa de la madre de ballena gris se origina en esa región, y más tarde, cuando las crías comen por sí mismas en la zona polar después del destete. Sin embargo, los análisis isotópicos no soportan esta aseveración, permiten plantear la hipótesis de que posiblemente mientras las ballenas grises permanecen en las lagunas de reproducción, las ballenas madres dirigen su actividad a satisfacer uno o algunos compuestos metabólicos necesarios para la reproducción y/o la lactancia.

Posiblemente, a pesar de que las madres de ballena gris pueden pasar una gran cantidad de grasa de sus reservas de Alaska a través de la leche, también podrían agregar otros compuestos metabólicos provenientes de las lagunas de reproducción, en el caso anterior de Bahía Magdalena. Lo cual originaría un cambio en la signatura isotópica de carbono que la madre ofrece al ballenato vía leche. Cuya diferencia isotópica con respecto a la signatura de la capa de grasa de la madre, disminuiría conforme se acerquen ambos a las fuentes de carbono de Alaska, ya que es en esta región donde cada año la capa de grasa es reabastecida.

Lo anterior, sugirió hacer una nueva aproximación sobre la ecología alimenticia de la ballena gris desde una nueva perspectiva. Pero no únicamente metodológica, sino principalmente conceptual, la cual permitiera el diseño de una estrategia de investigación dirigida a buscar información que permita responder la incógnita ¿Qué

compuestos metabólicos requerirían las ballenas grises madres de las lagunas de reproducción de México?, la primera estrategia de búsqueda se dirigió a los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LCPUFA), por que recientemente en algunos mamíferos, se han considerado como esenciales durante la reproducción, además de "reguladores" en la salud y estabilidad de los ecosistemas marinos (Arts *et al.* 2001). Estudios relacionados con el uso de AGE en ballena gris, no existen. Es en pinnípedos donde se han realizado la mayoría de los estudios relacionados con AGE como fuente de información para entender las relaciones tróficas de mamíferos marinos.

Por lo anterior, durante el año 2000, se realizó una primera prospección sobre la hipótesis de que los LCPUFA son parte de la respuesta a la incógnita anterior. Ello mediante una comparación entre los ácidos de los anfípodos bentónicos colectados cuando se alimentaban un gran número de ballenas en Bahía Magdalena en ese año, y los de las dermis de dos ballenas grises, un subadulto y una ballena gris madre. Considerando el perfil de este tejido como fuente de información de las necesidades energéticas recientes de ácidos grasos esenciales. Los datos revelaron que los ácidos grasos esenciales con mayor abundancia tanto en los anfípodos como en la dermis de ambas ballenas, fueron los mismos productos finales de la serie omega-3. Con la diferencia que los anfípodos de Bahía Magdalena, presentaron una mayor concentración. Lo cual incrementó la factibilidad que los LCPUFA son un vínculo entre la ballena gris y los anfípodos de las lagunas de reproducción.

Como estrategia dentro de esta investigación el objetivo de este estudio se centró a corroborar si existe diferencia latitudinal entre los perfiles de LCPUFA de las distintas fuentes de alimento de ballena gris detectadas a lo largo de su ruta migratoria. Con el principal interés de detectar las posibles diferencias en las fuentes de carbono en ambos extremos de su migración reproductiva.

Objetivo principal:

Verificar si en los puntos intermedios de la ruta migratoria de la ballena gris donde se ha detectado actividad alimenticia, los anfípodos presentan un gradiente latitudinal en los valores de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (LCPUFA).

Objetivos específicos:

- 1) Determinar los perfiles de LCPUFA de las fuentes de alimento de ballena gris (principalmente anfípodos) a lo largo de su ruta migratoria.
- 2) Detectar si existen diferencias latitudinales en los perfiles de LCPUFA de las faunas detectadas como alimento a lo largo de la ruta migratoria de ballena gris.
- 3) Determinar los perfiles de LCPUFA en diferentes fracciones del plancton donde se ha detectado actividad alimentaria de ballena gris en su ruta migratoria.

METODOLOGÍA

Trabajo de campo

Se consideraron seis diferentes puntos latitudinales de muestreo a lo largo de la ruta migratoria de la ballena gris: Bahía San Quintín, Baja California, México a los 30° de Latitud Norte; Arcata, California, USA a los 41° Latitud Norte; Isla Vancouver, Canadá a los 49° Latitud Norte; y Mar de Bering, USA a los 65° Latitud Norte. Las localidades fueron previamente seleccionadas mediante dos estrategias. La primera bajo una revisión bibliográfica de los sitios donde se ha reportado actividad alimenticia de ballena gris en las costas de Canadá y Estados Unidos. La segunda, haciendo una correspondencia entre la información de las firmas de $\delta^{13}\text{C}$, detectadas en las barbas del ejemplar analizado en el 2000, haciendo una correspondencia con la variación latitudinal entre las fuentes de carbono determinadas en México y Alaska. Ello, con el fin de tener la mejor aproximación a los sitios cuya fuente de carbono generó las firmas registradas en las barbas. La siguiente tabla mostró los resultados del análisis.

| PUNTO | B A R B A S | | | Localidades mencionadas en estudios previos de alimentación de B. Gris cerca de dichas latitudes | FUENTE |
|-------|---------------------|---------------|-------------------|---|--|
| | Signatura 13C (ppm) | Longitud (cm) | Latitud Norte (°) | | |
| 1 | -16.61 | 2.00 | 30.04 | Bahía San Quintín B.C. | Oliver et al. (1983) |
| 2 | -17.03 | 3.50 | 41.63 | - (Crecente City, Klamath River mouth, Orick, Big Lagoon Patrick's point) en California USA - (G. Tate (personal communication, 1982) notó huellas en el fondo, como las del Mar de Bering cerca de las bocas de los ríos en California. | Mallonee (1991) Nerine (1984) |
| 3 | -17.23 | 5.00 | 47.15 | - J.I. Sumich (com. per.) estimó que el 50% de los avistamientos de ballenas alimentándose son en las áreas cercanas a las bocas de los ríos de Oregon y Washington. (a los 47°LN esta la boca mas grande de los ríos de Washington) - Southern west coast of Vancouver Island B. C. Canada. | Nerine (1984) Oliver y Slatery (1985) |
| 4 | -17.59 | 7.00 | 57.09 | - South of the Bering Sea (Pacheca Bay) | Oliver y Slatery (1984) |
| 5 | -17.90 | 8.80 | 65.64 | - The northern Bering Front Nome. | Highsmith y Coyle (1992) |

El esfuerzo de muestreo de cada latitud se realizó en las localidades detectadas por otros investigadores. Seleccionando dentro de estas el sitio con mayores avistamientos de ballenas grises alimentándose. Se trató de realizar los muestreos, durante las mismas fechas anuales en las que se han registrado los mayores avistamientos, coordinando así las campañas de muestreo con los movimientos hacia el Norte de las ballenas.

Ahora bien dado que el principal interés de la propuesta, fue comprobar la existencia de una variación latitudinal entre las posibles fuentes de carbono que usa la ballena gris en su movimiento anual. En cada localidad seleccionada se muestrearon 10 diferentes estaciones de muestreo que se consideraron como replicas.

De cada estación se tomaron las variables de temperatura del agua, oxígeno disuelto y salinidad.

Ambiente Bentónico

De cada estación se tomaron dos muestras: una para los análisis de ácidos grasos y otra para análisis de isótopos estables. No obstante que dentro de los objetivos del proyecto no se contempla el análisis de la composición específica, cuando fue posible se tomó una tercera muestra para fijarla en formol.

De las muestras para análisis de isótopos estables y ácidos grasos, el material colectado con la draga se tamizó a través de una malla de 1mm, colocando todos los anfípodos retenidos sobre la misma en dos viales criogénicos y congelándolos con nitrógeno líquido. Cuando se colectó la muestra para identificación taxonómica se preservaron en una solución de formol al 10% neutralizado, y se almacenarán en cubetas de 20 litros para su transporte y envío al CIBNor en La Paz, B.C.S., México.

El muestreo se realizó en dos etapas. La primera de ellas comprendió las latitudes sureñas (Baja California, México y California, USA), y la segunda las de la parte norte (Canadá y Alaska). La cual se realizó después de haber llevado el material de la primera a La Paz B.C.S., México. Esto con el fin de no enviar este material por paquetería, disminuyendo así la gestión de trámites de aduana y permisos, además de tratar de evitar a lo máximo la probabilidad una pérdida del material.

Ambiente pelágico

En cada estación se hizo un muestreo del plancton mediante la colecta de agua con botellas Van Dorn. Se separó el fitoplancton al filtrar un litro de agua de mar por una malla de 20 μ , y concentrando el material sobre un filtro de fibra de vidrio Whatman GF/F. Para zooplancton, se filtró otro litro de agua pero a través de una malla de 64 μ , concentrándose también en filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F. Ambos filtros se guardaron en viales criogénicos y se congelaron para su transportación en nitrógeno líquido. Cuando las condiciones lo permitieron, se colectó la fracción de plancton > a 20 μ mediante arrastres verticales u oblicuos (según las condiciones del oleaje) con una red cónica (de 20 μ de luz de malla), concentrando el material mediante un tamiz con una luz de malla de 20 μ y colocándolo en bolsas plásticas previamente etiquetadas para su congelación. Todo el material colectado de cada localidad se transportó hielo del campo al laboratorio más cercano, donde se congelaron a -20°C.

También de este ambiente, no obstante que no se contempló dentro de los objetivos del proyecto la composición específica del plancton, cuando fue posible se colectó plancton mediante una muestra de 100 mililitros de agua fijada con formol al 4%.

Trabajo de laboratorio.

Todo el material fue liofilizado y pulverizado para homogeneizar el contenido de lípidos antes de la extracción.

Análisis de ácidos grasos

Los análisis de ácidos grasos representan un primer indicador de una variabilidad bioquímica latitudinal entre las fuentes de Carbono de la ballena gris. Sin embargo, el análisis se enfocó en los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga de las familias omega-3 y omega-6, también denominados LCPUFA debido a lo expuesto anteriormente y que el objetivo del proyecto es el de analizar la posible variación latitudinal existe entre los perfiles globales de las comunidades de plancton y bentos, no entre los componentes que conforman cada comunidad de cada latitud (especies). Así mismo se verificó la presencia de algún patrón en la variación de LCPUFA entre las diferentes fracciones del plancton colectadas y los anfípodos detectados como fuente de alimento de la ballena gris.

Extracción de ácidos grasos

Los lípidos totales se extrajeron de acuerdo a la metodología de Bligh y *Dyer* (1959), y metilación de ácidos grasos de Sato y Murata, (988), previa homogenización de cada muestra. El contenido total de ácidos grasos se analizó con un cromatógrafo de gases (HP G 1800 B) con una columna silica omega-wax 250 (Supelco), fijado a un inyector-vaporizador programable y un detector de ionización de masas. Los LCPUFA fueron identificados comparando los espectros de masas obtenidos contra los registrados en una librería del National Institute of Standards and Technology y los tiempos de retención de varios estándares comerciales.

Resultados

Trabajo de campo

Para garantizar el éxito del muestreo en las seis regiones programadas, se consideró antes de salir a realizar cada campaña, establecer contactos y/o colaboraciones con investigadores que hayan detectado avistamientos de actividad alimenticia de ballena gris en cada una de las latitudes a visitar. De las cinco campañas programadas en dos no fue posible coleccionar material. En California, USA no obstante que se contó con el apoyo de la Dra. Dawn Goley (Humboldt State University), el mal tiempo impidió realizar el muestreo. En el Golfo de Alaska tampoco fue posible realizar la campaña debido a que en Alaska, es en el Mar de Bering donde se ubican los principales sitios de alimentación de ballena gris (Dr. Raymond C. Highsmith y el Dr. Ken Coyle de la Universidad de Alaska Fairbanks), además del Mar de Chukchi.

Debido a las intensas revisiones de migración en la entrada y salida de los aeropuertos de Estados Unidos y Canadá, a razón de los atentados de Nueva York. Se

optó por no coleccionar las replicas para formol. Ello, con la intención de reducir al máximo la posible pérdida del material congelado.

En la campaña de San Quintín se coleccionaron muestras de anfípodos de 10 estaciones distribuidas al azar en la Bahía San Quintín. En cada una de ellas se hizo un muestreo de plancton (20μ y 64μ), se tomo la temperatura del agua, oxígeno disuelto y salinidad y si se coleccionó la muestra de formol. Únicamente se detectó una ballena gris en tránsito dentro de la bahía, por lo que no fue posible ubicar las estaciones de muestreo en los sitios precisos donde se ha detectado actividad alimenticia de este cetáceo. Tampoco fue posible realizar el arrastre vertical del plancton por lo somero de la bahía y por la fuerza de la corriente de marea.

La campaña de Vancouver se realizó en colaboración con el Dr. Dave Duffus y la M.S. Heather Patterson del University of Victoria (Whale Laboratory, Dept. of Geography, University of Victoria). Investigadores que desde hace algunos años han estudiado la alimentación de la ballena gris en esta zona. Ellos han detectado que este cetáceo consume tanto organismos bentónicos (anfípodos) como planctónicos (mysidáceos). También, que en algunos años existe una mayor actividad alimenticia en algunos de los dos tipos de presa. Durante la campaña se observó una mayor actividad alimenticia sobre mysidáceos, por lo que se acordó ubicar cinco estaciones de muestreo en los lugares donde se observó ballenas alimentándose de estos organismos, y otras cinco en lugares donde se observó consumen anfípodos en otros años. Donde se coleccionó mysidáceos, no fue posible coleccionar anfípodos por que las agregaciones de estos crustáceos planctónicos se localizaron alrededor de conglomerados rocosos. De cada estación se coleccionaron muestras del plancton ($<20\mu$ y $<64\mu$), además la fracción del plancton $> 20\mu$, coleccionada con arrastre vertical con una red cónica de 20μ de luz de malla). Así como también se determinó la temperatura del agua, oxígeno disuelto y salinidad.

La campaña de Alaska como ya se informó en el segundo informe se realizó con el apoyo del Dr. Highsmith, quien permitió participar en un crucero oceanográfico de la Universidad de Alaska Fairbanks. El crucero solo tenía contemplado las necesidades del proyecto del Dr. Highsmith, cuyo objetivo principal fue hacer un muestreo sobre la comunidad de anfípodos, dentro de una red de estaciones distribuidas a lo largo del Mar de Bering, justo donde se ha detectado la mayor actividad alimenticia de ballena gris y también en el Mar de Chukchi. De cada estación se tomó cinco replicas para determinar la composición específica de la comunidad y una más para el proyecto V015. Fue posible detectar mediante un CTD la profundidad de mayor productividad, y coleccionar dos litros de agua de dicha profundidad. Uno para determinar ácidos grasos en el plancton menor a 20 micras (fitoplancton), y otro anexando el zooplancton menor a 64 micras. De la muestra de bentos se procedió a separar los anfípodos y congelarlos tanto para la determinación de ácidos grasos como de isótopos estables. Las condiciones logísticas del crucero impidieron utilizar el equipo para medir las variables fisicoquímicas programadas y no obstante que fue posible obtener copia de la información generada por el CTD, aún no ha sido posible verla por que se encuentra bajo programas generados del propio equipo, los cuales no ha sido posible conseguir.

Análisis de los resultados de LCPUFA

Anfípodos y otras faunas detectadas como alimento de ballena gris

El análisis se enfocó en los LCPUFA, los productos finales de las series omega-3 y omega-6 (ácido araquidónico, ARA; eicosapentaenoico, EPA; docosahexaenoico, DHA), particularmente en la concentración total de estos ácidos en todo el cuerpo de las faunas colectadas, como una notación de microgramo de ester de metilo de ácido graso por miligramo de peso seco de muestra. Comparando el patrón de los perfiles de las faunas colectadas en el proyecto y el de la fauna identificada como fuente de carbono de ballena gris en Bahía Magdalena (BM) durante el año 2000 (Figura 1). Los resultados revelaron una similar concentración de ARA en todas las campañas y entre replicas, así como también que fue el LCPUFA con la más baja concentración. Mostraron también que para todas las latitudes el LCPUFA con mayor concentración es el EPA, el cual presentó la mayor variabilidad entre replicas y entre latitudes, pero fue el único que presentó un gradiente latitudinal. Particularmente el DHA fue el LCPUFA que no presentó ningún patrón entre latitudes, no obstante también presentó una baja variabilidad entre replicas. Cabe señalar el perfil semejante que presentaron los anfípodos y los mysidaceos en la campaña de Vancouver, particularmente en ARA y DHA, así como también entra la fauna detectada como fuente de alimento en el Mar de Bering y la laguna más sureña de reproducción de la ballena gris (Bahía Magdalena, BC Sur), particularmente también en Ara y DHA.

Al observar la Figura 2 donde se muestra una comparación entre latitudes entre las relaciones directas entre LCPUFAs, se hacen evidente también el semejante comportamiento entre mysidaceos y anfípodos de la Isla de Vancouver. Particularmente en la relación DHA/ARA entre el Mar de Bering y Bahía Magdalena presentaron el mismo valor entre replicas y entre regiones. Se observa también que entre la fauna del Mar de Chukchi y Bering la relación EPA/DHA es prácticamente la misma entre replicas y entre las dos latitudes. Finalmente la relación EPA/ARA permite agrupar a las latitudes en dos regiones, la norteña agrupando a Canadá y Alaska como la región con los más altos valores, y la sureña, las de Baja California con los menores valores en esta relación.

Plancton

Con la intención de analizar el comportamiento de las concentraciones de LCPUFA, junto con sus precursores respectivos (ácido linoleico (L) de la familia omega-6 y linoléico (LN) de la familia omega-3). Se analizó los porcentajes relativos a la concentración total resultante de la suma de la concentración absoluta encontrada de L, LN, ARA, EPA y DHA de cada muestra de plancton <20 μ , <64 μ , así como de las otras fracciones de mayor talla del plancton cuando se pudieron colectar, comparándolas con la información de los anfípodos bentónicos respectivamente. Ello con la finalidad de hacer una comparación de los cambios en las proporciones relativas entre LCPUFA y sus precursores respectivos en diferentes fracciones del plancton de cada latitud

(Figura 3). Los resultados mostraron que en las cuatro latitudes la menor proporción entre ácidos grasos es la del ARA a cualquier fracción del plancton y en anfípodos. Se muestra que en las fracciones del plancton de $<20\mu$, $<64\mu$, el ARA únicamente se presentó en las latitudes del Mar de Bering y Chukchi. En Vancouver se detectó solo en las fracciones $>20\mu$ y en anfípodos. En la Bahía San Quintín solo en anfípodos. También se observó que en cualquier latitud existe un incremento en la proporción de EPA hacia las fracciones de mayor talla, y un comportamiento inverso en el DHA. Particularmente en Vancouver este patrón se detectó fuertemente al incluir la fracción $>20\mu$ y mysidaceos. El EPA fue el ácido con mayor proporción en los organismos planctónicos mayores a 20μ .

En la figura 4, se presentan las proporciones de los precursores de los LCPUFA (L y LN) en las diferentes fracciones del plancton y en anfípodos en cada latitud. Se observa en ambos precursores un comportamiento semejante al DHA y antagónico al detectado en el EPA, en cualquier latitud, existe un decremento en la proporción de ambos precursores en los organismos mayores a 20μ . Particularmente en Vancouver este patrón se detectó fuertemente al incluir la fracción $>20\mu$ y mysidaceos.

Variables Físicoquímicas

Únicamente en las campañas de Bahía San Quintín e Isla Vancouver fue posible utilizar el equipo para determinar las variables físicoquímicas (Temperatura, Oxígeno disuelto y Salinidad). En la figura 5 se observa que los valores promedios presentan muy baja variabilidad entre replicas.

Análisis estadístico.

Debido a la baja variabilidad entre replicas, se observa que los promedios y el error estándar determinados para cada medición, ya sea biológica o físicoquímica. Fueron suficiente herramienta para entender la variabilidad entre las replicas de cada latitud y estandarizar la comparación lo más simple posible.

Al hacer el ejercicio en una de las campañas donde se determinó las variables físicoquímicas, y verificar si el análisis de componentes principales podría explicar mejor la variabilidad máxima entre las mediciones y sus reapiques. Los eigenvalores del análisis mostraron que el primer componente agrupó a la concentración de los tres LCPUAs de cada reapique y las mediciones físicoquímicas con muy baja participación en la explicación de la variabilidad de las replica. En consecuencia se optó por utilizar la representación grafica más sencilla para analizar los datos, que es la que se presenta en las figuras anexas.

Discusión

Anfípodos y otras faunas detectadas como alimento de ballena gris

Una característica que tienen las redes tróficas marinas son los bajos montos de ácidos grasos omega-6 y altas concentraciones de omega-3. Característica bioquímica que se corroboró tanto en los resultados de anfípodos, como en los del plancton. El gradiente latitudinal encontrado en las concentraciones de EPA refleja la adaptación fisiológica de los organismos de ambientes templados y polares. Si consideramos que los ácidos grasos con menor punto de fusión son los que presentan el mayor número de dobles enlaces o denominados poliinsaturados, como el EPA.

Ahora bien, considerando que en la actualidad se sabe que en muchas especies de mamíferos durante la parte final de la gestación y la primera etapa de la lactancia, la maquinaria enzimática para sintetizar los productos finales de la serie omega-3 (EPA y DHA) se encuentra inactiva. Se puede suponer una dependencia total de la madre para satisfacer estos compuestos metabólicos. Actualmente se ha comprobado para algunos mamíferos, que la capacidad de síntesis materna durante este periodo es insuficiente dado las altas demandas del feto en gestación. Al analizar la relación entre ambos ácidos en los anfípodos detectados como fuente de alimento de ballena gris a lo largo de su migración reproductiva, únicamente los anfípodos de Bahía Magdalena presentan una relación similar a los anfípodos del Mar de Bering. Ello permite asumir que una misma concentración de DHA a lo largo de las comunidades de anfípodos, garantiza obtener siempre una misma concentración de DHA independientemente que se ubiquen fuera de las zonas polares de alimentación. Lo cual es una gran ventaja para la especie, si se considera el gasto energético que requiere su síntesis. Posiblemente también resulte una ventaja si también se considera que se ha comprobado recientemente para otros mamíferos como ratones y cerdos, que es un riesgo consumir concentraciones elevadas de DHA. Ello, por que puede ocasionar un desequilibrio entre los LCPUFA de las series omega-3 y omega-6, reflejándose más tarde en las crías, en problemas de capacidad de respuesta al medioambiente.

Por otro lado, si consideramos como regla aplicable a la especie ballena gris, lo que se ha encontrado en otros mamíferos, sobre la importancia de una óptima proporción entre los productos finales de la serie omega-3 y 6 cuando se encuentra en una condición fisiológica relacionada con la fase final de la gestación, el alumbramiento y la primera etapa de la lactancia. Una disminución latitudinal de EPA en las comunidades de las que se alimenta durante su migración al sur, ofrece a las madres gestantes una semejante proporción entre los productos finales de la serie omega-3 cuando llegan a las lagunas de reproducción en México. Si la relación óptima que requiere la ballena gris en sus últimas etapas de gestación, es efectivamente una semejante proporción entre los productos finales de la serie omega-3, y entre series. La relación que presentan los anfípodos del mar de Bering no es la adecuada, sino la que se encuentran en las lagunas de reproducción como la que presentan los anfípodos de Bahía Magdalena. Tal aseveración no es difícil de aceptar si se considera que los LCPUFA de ambas series utilizan la misma maquinaria metabólica, lo cual origina una competencia natural entre ácidos por la maquinaria enzimática.

Es pertinente mencionar que en la latitud de Vancouver, una variación en la fuente de ácidos grasos como anfípodos o mysidáceos, no afecta la aseveración anterior por que ambas fuentes tienen el mismo perfil de LCPUFAs. En el caso de San Quintín, la diferencia en el DHA con respecto a las otras latitudes, probablemente se debió a que la ubicación exacta de las estaciones no se determinaron con los anfípodos que son alimento de ballena gris, debido no se detectaron con precisión por falta de avistamientos de ballenas alimentándose.

Plancton

Dado que es el fitoplancton quien tiene la capacidad de sintetizar los productos finales de la serie Omega-3 y 6, los LCPUFA son conservativos en las redes tróficas. A mayor longitud dentro del plancton o a niveles alejados de la producción primaria dentro de las redes tróficas, la capacidad de síntesis se pierde y en consecuencia es menor la presencia de los precursores de ambas familias de ácidos grasos ya que las necesidades de estos metabolitos se satisfacen en la dieta. Por tanto, la composición de lípidos en el cuerpo de los animales depende principalmente sobre su dieta, que resulta ser uno de los factores que generan las diferencias entre los lípidos de animales que habitan diferentes regiones. Otro son los cambios estacionales o latitudinales, originando por una influencia combinada de factores tales como la luz, deficiencia de nutrientes, temperatura, etc.

Los resultados de LCPUFAs en el plancton justo cuando se colectó las muestras de bentónicas o de mysidáceos, permite detectar que la proporción entre ácidos a cualquier nivel mayor a 20μ es la misma en cualquier latitud. Lo cual refleja el carácter conservativo de los LCPUFAs en las redes tróficas. El incremento de EPA según aumenta la talla de los organismos, posiblemente se deba a que esta característica refleja la capacidad de almacenar sustancias de reservas.

Al observar el comportamiento de los precursores de ambas familias de ácidos grasos, se pudo corroborar también el carácter conservativo de los LCPUFAs. Conforme disminuye la presencia del fitoplancton en la fracción del plancton (al incrementar la talla) la presencia de los precursores son menores. Característica que se detecta a cualquier latitud.

Cada grupo trófico en particular tiene una composición de lípidos determinada por su capacidad enzimática particular, su hábito alimenticio, sus necesidades particulares de ácidos grasos y el lugar donde habita. Ello, ha permitido usar estas moléculas como marcadores para saber las relaciones tróficas, y describir quien se come a quien. Lo que ha originado una gran cantidad de estudios descriptivos. Sin embargo, son pocas las aproximaciones que analizan las características holísticas que definen a los sistemas que conforman las redes tróficas en cualquier sistema biológico.

Al considerar a la ballena gris no como una especie aislada sino una componente más dentro de un sistema. Se puede pensar que su permanencia depende de su capacidad de mantener su relación dentro del mismo. Por tanto, sus necesidades

de LCPUFA resultan sumamente útiles para analizar los procesos que permiten mantener su relación con el sistema biológico del cual forma parte desde una visión holística, como la que sugiere la biocomplejidad.

REFERENCIAS:

ANDREWS, R.C., 1914. Mem. Amer. Mus. Nat. Hist., 1:227-287.

BLIGH, E.G. Y W.J. DYER, 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian Journal Cell Biology 58:911-917.

DARLING, J.D., 1984. "Gray Whales off Vancouver Island, British Columbia." In *The Gray Whale*, eds. M.L. Jones, S.L. Swartz, and S. Leatherwood, pp. 267-288. Orlando: Academic Press.

FRY, B., Y C. ARNOLD, 1982. Rapid $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ turnover during growth of brown shrimp (*Penaeus aztecus*). Oecologia 54:200-204.

HIGHSMITH, R.C. Y COYLE K.O. 1992. Productivity of arctic amphipods relative to gray whale energy requirements. Marine Ecology Progress Series. Vol 82 (July):141-150.

MALLONEE, J.S. 1991. Behaviour of gray whales (*Eschrichtius robustus*) summering off the northern California coast from Patrick's point to Crescent City California USA. Canadian J. of Zoology 69(3):681-690.

MATE, B. Y J. HARVEY, 1984. "Ocean Movements of Radio-Tagged Gray Whales." In *The Gray Whale*, eds. M.L. Jones, S.L. Swartz, and S. Leatherwood, pp. 33-55. Orlando: Academic Press.

NORRIS, K.S., R.M. GOODMAN, B. VILLA-RAMÍREZ, Y L. HOBS, 1977. Fish. Bull., 75:159-172.

NORRIS, K.S., B. VILLA R., G. NICHOLS, B. WURSIG Y K. MILLER, 1983. "Lagoon entrance and other aggregations of gray whales, *Eschrichtius robustus*." In *Behavior and Communication of Whales*, ed. R. Payne, pp. 259-293. Boulder: Westview Press.

NERINI, M, 1984. "A Review of Gray Whale Feeding Ecology." In *The Gray Whale*, eds. M.L. Jones, S.L. Swartz, and S. Leatherwood, pp. 423-450. Orlando: Academic Press.

OLIVER, J.S, P.N. SLATTERY, M.A. SILBERSTEIN Y E.F. O'CONNOR, 1983. A comparison of Gray Whale (*Eschrichtius robustus*), feeding in the Bering sea and Baja California. Fishery Bull., 81(3): 513-522.

OLIVER, J.S., P.N. SLATTERY, M.A. SILBERSTEIN, Y E.F. O'CONNOR, 1984. "Gray Whale Feeding on Dense Ampeliscid Amphipod Communities near Bamfield, British Columbia." *Can. J. Zool.* 62:41-49.

PIKE, G.C., 1962. Migration and feeding of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). J. Fish. Res. Board Can. 815-838.

RICE, D.W., Y A.A. WOLMAN, 1971. The life history and ecology of the gray whale, (*Eschrichtius robustus*). Am. Soc. Mammal, Soc. Publ. 3,142p.

SACAMMON, C.M., 1968 [1874]. The Marine Mammals of the North-western Coast of North America Described and Illustrated Together with an Account of the American Whale-Fishery. New York: Dover Publications.

SÁNCHEZ-PACHECO J.A., A. VÁZQUEZ-HANCKIN Y R. DE SILVA-DÁVILA, 2001. Gray whales' mid-spring feeding at Bahía de los Ángeles, Gulf of California, México.. Mar. Mammals. Science.

SATO, M. Y N. MURATA, 1988. Membrane lipids. Methods an Enzimology 167:251-259.

SPRAGUE , J.G., N.B. MILLER, Y J.L. SUMICH, 1978. Jour Mammal., 59(2):425-427.

SWARTZ, S.L. Y M.L. JONES, 1980. Gray Whales, *Eschrichtius robustus*, during the 1977-1988 and 1978-1979 Winter Seasons in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. Washington DC: U.S. Department of Commerce, NTIS PB80-202989. 34 pp.

SWARTZ, S.L. Y M.L. JONES, 1987. "At Play in Baja's San Ignacio Lagoon." *National Geographic* 171:754-771.

VILLA-RAMÍREZ, B., K.S. NORRIS, G. NICHOLS, B. WÜRSIG Y K. MILLER, 1981. Agrupamientos de ballenas grises, *Eschrichtius robustus* (Lilljeborg, 1861) y entrada a las bahías en Baja California Sur, México, como estrategias alimentarias. Ser. Zool. (1):447-478,22-XII-1982.

WALKER, T.J., 1971. "The California Gray Whale Comes Back. *National Geographic* 139:394-415.

WALKER, T.J., 1975. Whale. Primer Cabrillo Hist. Soc., San Diego, 65.

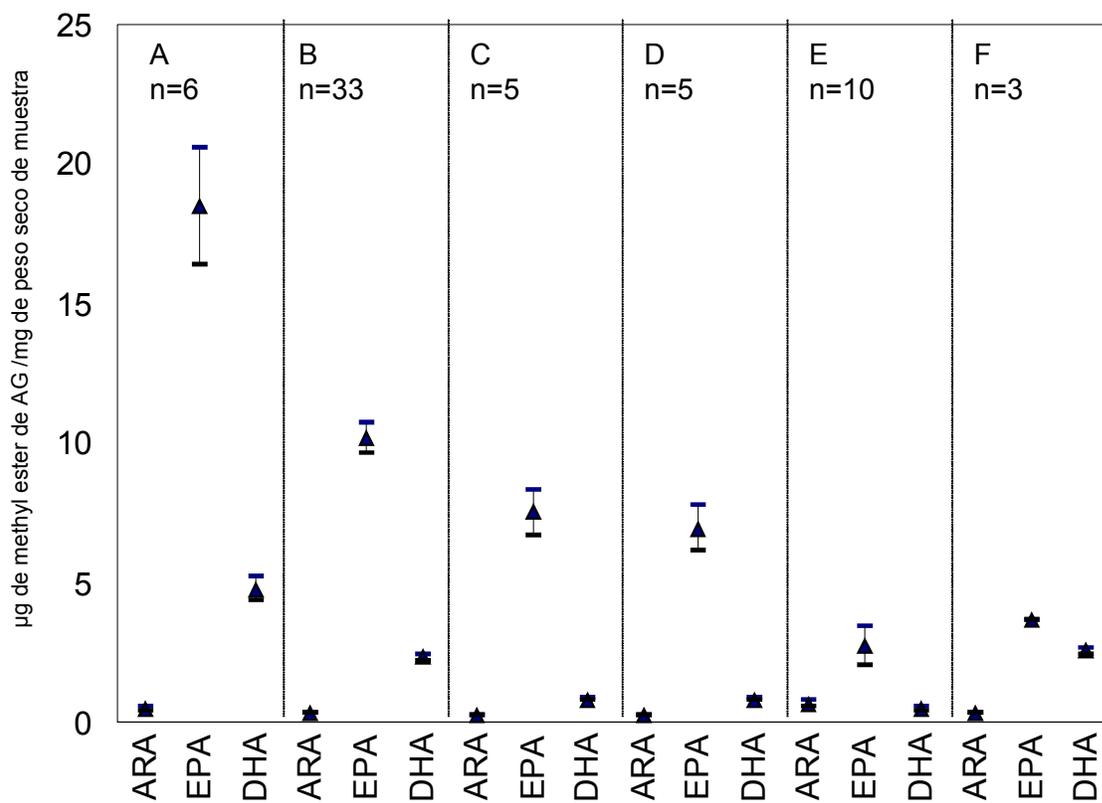


Figura 1. Concentraciones de ARA, EPA y DHA en presas de ballena gris. Detectadas en el Mar de Chukchi, anfípodos (A); Mar de Bering, anfípodos (B); Isla Vancouver, mysidaceos (C); Isla Vancouver, anfípodos (D); Bahía San Quintín, anfípodos (E); Bahía Magdalena, anfípodos (F). Las barras verticales y los símbolos indican el promedio entre replicas \pm error estándar, y n las replicas empleadas para caracterizar cada zona.

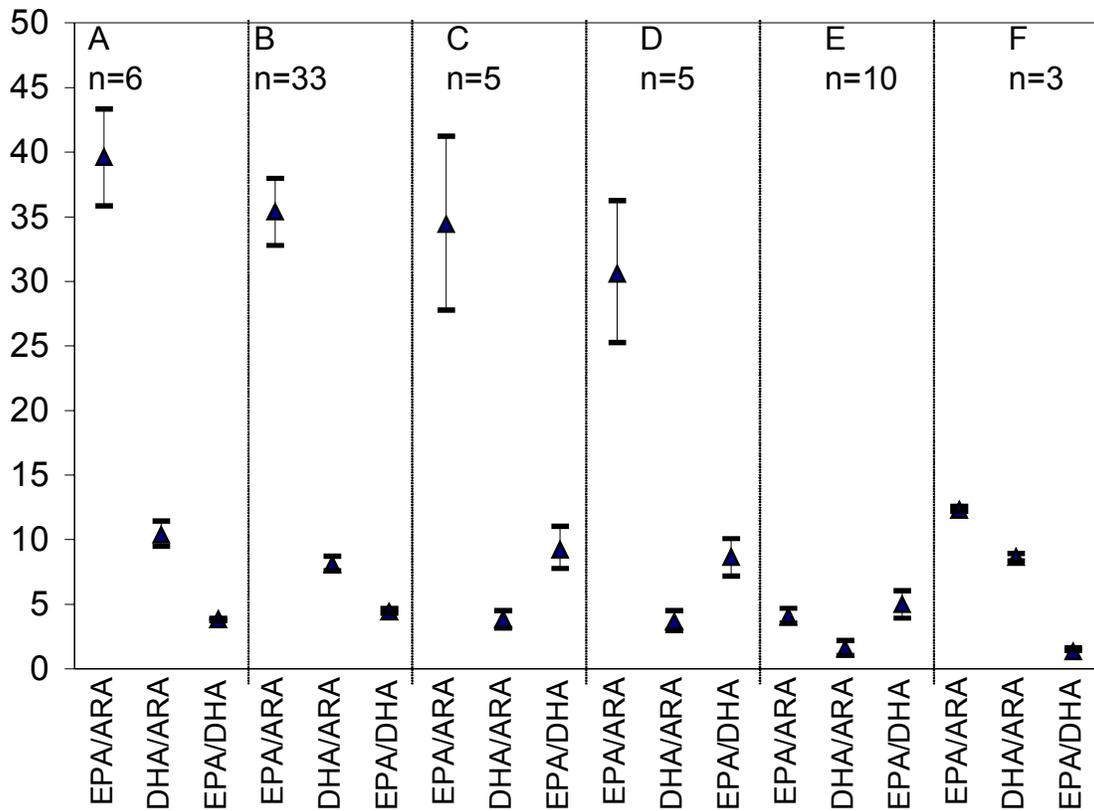


Figura 2. Relaciones entre LCPUFA en presas de ballena gris. Detectados en el Mar de Chukchi, anfípodos (A); Mar de Bering, anfípodos (B); Isla Vancouver, mysidaceos (C); Isla Vancouver, anfípodos (D); Bahía San Quintín, anfípodos (E); Bahía Magdalena, anfípodos (F). Las barras verticales y los símbolos indican el promedio entre replicas \pm error estándar, y n las replicas empleadas para caracterizar cada zona.

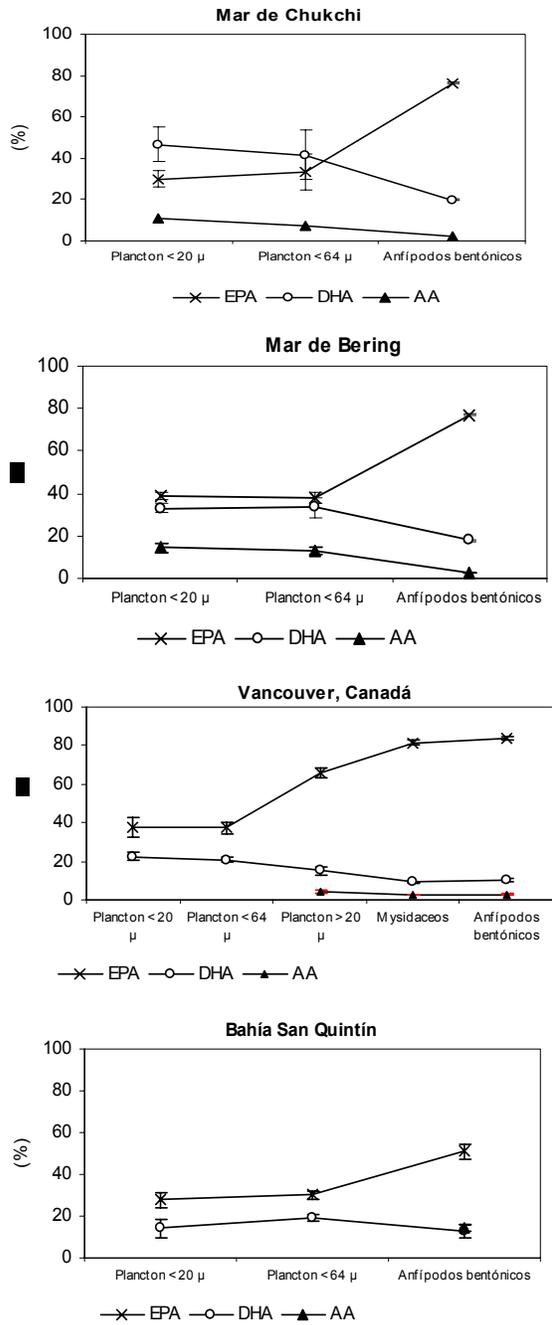


Figura 3. Concentraciones de los LCPUFA detectados en el plancton y las presas de ballena gris en diferentes latitudes dentro de su ruta migratoria. Las barras verticales y los símbolos indican el promedio entre replicas \pm error estándar, y “n” las replicas empleadas para caracterizar cada zona.

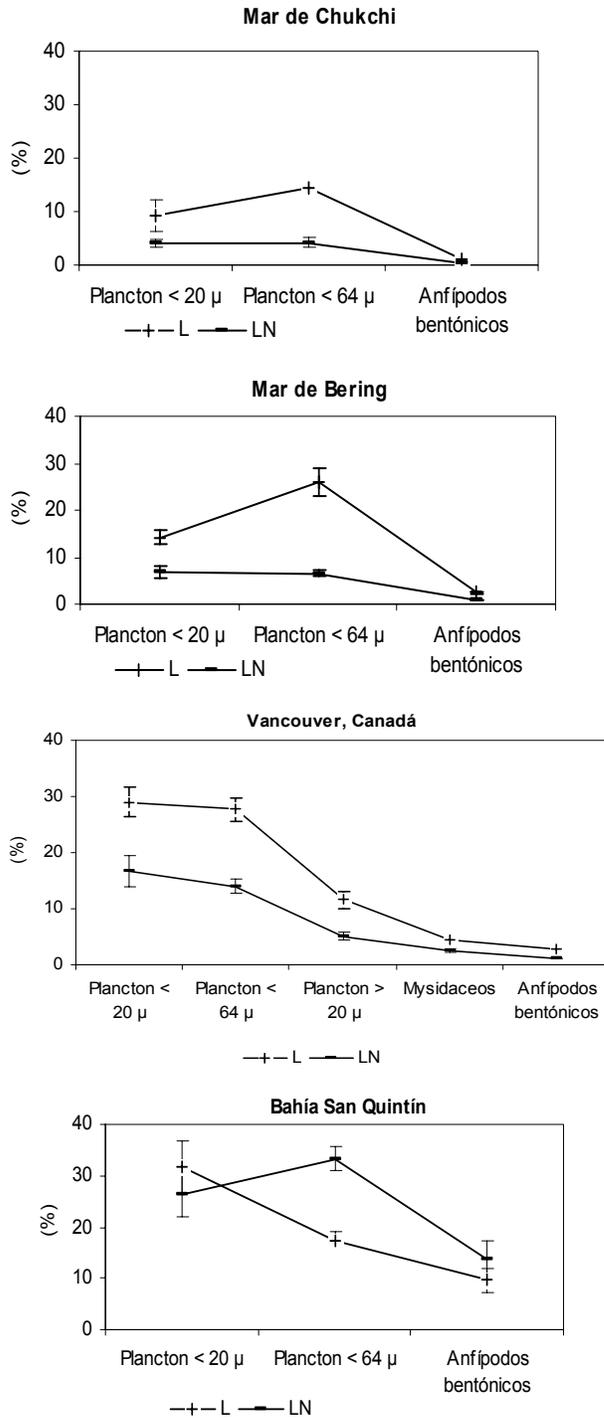


Figura 4. Concentraciones de los ácidos grasos precursores de los LCPUFA detectados en el plancton y las presas de ballena gris en diferentes latitudes dentro de su ruta migratoria. Las barras verticales y los símbolos indican el promedio entre replicas \pm error estándar, y “n” las replicas empleadas para caracterizar cada zona.

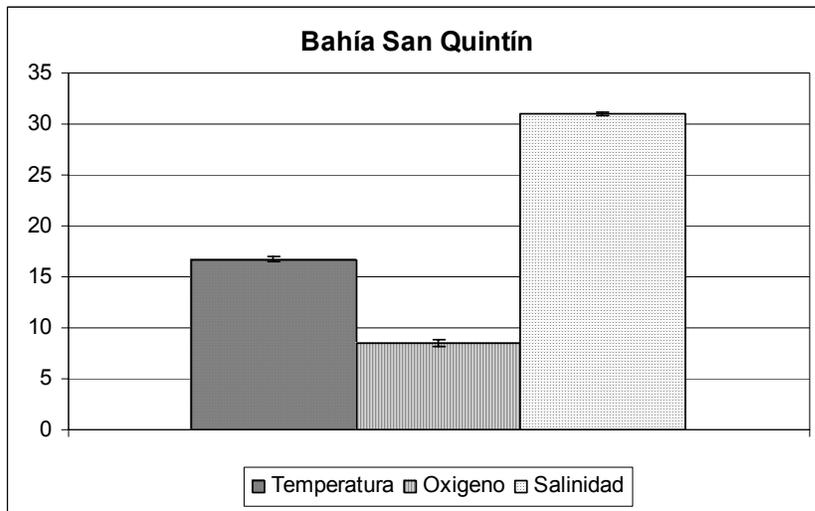
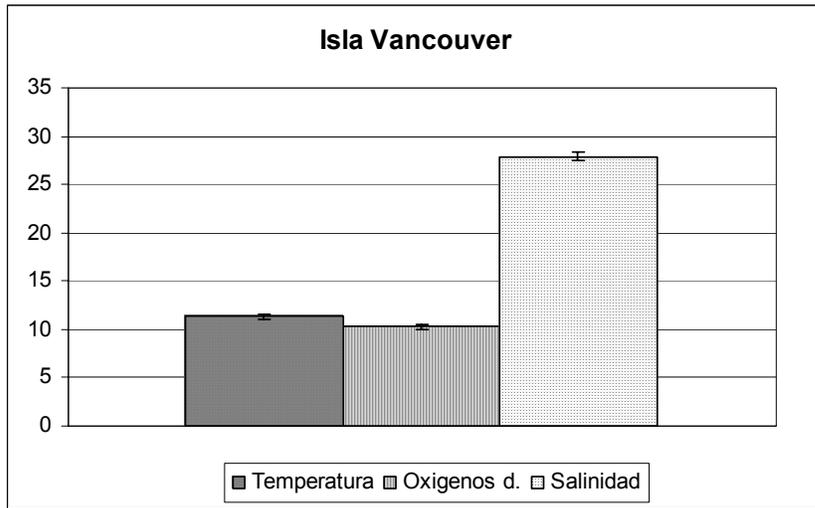


Figura 5. Variables fisicoquímicas en dos localidades dentro de la ruta migratoria de la ballena gris. Las barras verticales y los símbolos indican el promedio entre replicas \pm error estándar, $n=10$. “n” representa las replicas empleadas para caracterizar cada zona.