



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



“VARIACIÓN ONTOGÉNICA EN HÁBITOS  
ALIMENTICIOS DEL MARLIN RAYADO (*Kajikia  
audax*) Y PEZ ESPADA (*Xiphias gladius*) EN EL  
PACÍFICO ORIENTAL”

TESIS

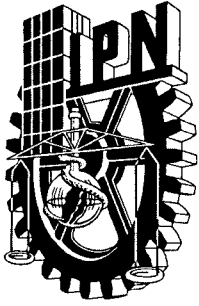
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

TATIANA ALEXANDRA ACOSTA PACHÓN

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2015





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 19 del mes de Noviembre del año 2015

El (la) que suscribe MC. TATIANA ALEXANDRA ACOSTA PACHÓN Alumno (a) del Programa

DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

con número de registro A120040 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. SOFÍA ORTEGA GARCÍA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"VARIACIÓN ONTOGÉNICA EN HÁBITOS ALIMENTICIOS DEL MARLIN RAYADO

(*Kajikia audax*) Y PEZ ESPADA (*Xiphias gladius*) EN EL PACÍFICO ORIENTAL"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: tatyacosta@gmail.com - sortega@ipn.mx

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

MC. TATIANA ALEXANDRA ACOSTA PACHÓN

*Nombre y firma del alumno*

*A mis padres Alejandro y Ma. Edilma quienes lo son todo en mi vida.  
Por guiarme en este camino de la vida que aunque no es fácil, ellos  
siempre con su gran amor, paciencia y enseñanzas han hecho que  
toda mi vida sea un sinfín de alegrías. Gracias por hacer de  
mi la persona que soy ,por inculcarme todos los valores  
que son necesarios para triunfar en la vida.  
Los amo con todo mi corazón.*

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por ser quien me permite cumplir todos mis sueños y logros, por ayudarme siempre, y por ser mi todo. Y porque siempre ha estado conmigo en toda mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de doctorado otorgada durante el periodo Enero 2012 - Diciembre 2015. Y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) por la beca otorgada en el periodo Enero 2013 – Diciembre 2015.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por el apoyo recibido para la participación en los congresos, IscoEcol (2014) y Tuna Conference (2015).

A mi directora de tesis la Dra. Sofía Ortega García por sus enseñanzas, por los consejos, por ser una guía en este proceso y por introducirme en el mundo de los picudos. Porque aunque hubieron momentos difíciles, siempre estuvo apoyándome. Por brindarme la oportunidad y confianza necesaria para la realización de esta tesis. Mil y mil gracias por todo.

Al Dr. Felipe Galván, por todo su apoyo, por ayudarme siempre en todo lo que necesite y por sus valiosos consejos. Por los comentarios hechos para que este trabajo quedara lo mejor posible. Muchas gracias.

Al Dr. Fernando Elorriaga, gracias por todos los consejos, por su apoyo incondicional, por asesorarme en las múltiples preguntas y por su amistad. Gracias por tomarse el tiempo de revisar y dar los comentarios precisos a esta tesis. Mil gracias.

Al Dr. German Ponce, por todo su apoyo y ayuda con esta tesis. Gracias.

Al Dr. Rogelio González, por aceptar a último momento hacer parte de este comité, por el aporte bibliográfico y por todos los comentarios hechos a esta tesis. Gracias.

A la Dra. Heidi Dewar, por proporcionar parte de las muestras utilizadas, así como el análisis de las mismas para esta tesis.

A la Southwest Fisheries Science Center (San Diego) y a la Universidad de California Santa Cruz, por permitirme el uso de las instalaciones para procesamiento de las muestras de esta tesis.

A mi esposo, Raúl Octavio, gracias, porque aunque fue un camino muchas veces difícil tu siempre estuviste a mi lado, apoyándome incondicionalmente, siempre dándome palabras de animo y soportando cada una de mis locuras. Gracias, porque siempre tuviste la mejor disposición de ayudarme en todo y quererme tanto, gracias por tanto amor. Te amo con todo mi ser.

A mis padres, Alejandro y Ma. Edilma, por todas sus enseñanzas, por siempre estar ahí, por apoyarme siempre en todo y aunque estamos lejos siempre los siento conmigo. Los quiero demasiado.

A cada uno de los integrantes de mi familia, los Acosta, los Pachón y los Martínez-Rincón, gracias por su apoyo incondicional, por ayudarme siempre en todo lo que necesito, por estar ahí en los buenos y malos momentos. Y aunque estamos lejos gracias por siempre estar pendientes de mi en todo momento. Los quiero muchísimo a todos.

A Nadya C. Ramirez, amiga, gracias porque aunque estamos lejos siempre estás ahí, no tengo palabras para agradecerte por todo, muchas gracias. Por los viajes, las locuras y tantas aventuras compartidas en todo el tiempo que llevamos de amistad. Por apoyarme, y ser parte de todo este proceso. Te extraño y quiero muchísimo.

A mis amigos que están lejos, Luz María, Maricela, Sandra, Ana Castillo, Dalia, Elizabeth, Carlos Pachon, Damián, Angélica, Carlos Polo, Fabián, Margarita, Ana, y Peggy y a los que están aquí, Sarahi, Andrea, Michelle, Casandra, Norberto, gracias por siempre estar pendientes de mi y por su apoyo en todo este proceso, por los momentos compartidos, por las múltiples charlas, los consejos recibidos y las locuras que nos caracterizan, millones de gracias.

Al departamento de servicios escolares, en especial a Cesar Casas por toda su ayuda con todos los trámites y dudas. Y a Susy y Roberto por toda su ayuda siempre en cómputo. Muchas gracias

Y a todas las personas que de alguna forma hicieron posible que este logro en mi vida profesional se hiciera realidad. Miles de gracias!

Esta tesis se desarrolló con el apoyo de los proyectos SIP claves: 20150861, 20141071, 20130550 y 20120640. El proyecto externo “De la bahía a los bancos: relaciones tróficas entre bahía magdalena y la comunidad de peces pelágicos fuera de la bahía” SIP-2012-RE/19 dirigidos por la Dra. Sofía Ortega García.



# Índice general

Índice de figuras .....	IV
Índice de tablas .....	VIII
Glosario .....	X
Resumen .....	XIV
Abstract .....	XV
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades de los recursos .....	1
1.2. La pesquería .....	4
1.3. El ecosistema pelágico .....	5
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>10</b>
2.1 Marlin rayado ( <i>Kajikia audax</i> ) .....	10
2.2 Pez espada ( <i>Xiphias gladius</i> ) .....	10
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>14</b>
<b>5. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>15</b>
5.1 Objetivos particulares .....	15
<b>6. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>17</b>
6.1 Baja California Sur (B.C.S.) .....	17
6.2 California (CA) .....	19
6.3 Zona de Transición del Pacífico Norte (ZTPN) .....	20
<b>7. METODOLOGÍA .....</b>	<b>22</b>
7.1 Recolecta de muestras .....	22

7.1.1 Marlin rayado.....	22
7.1.2 Pez espada .....	23
7.2 <i>Determinación de edad</i> .....	24
7.3 <i>Muestreo y análisis isotópico de los anillos de crecimiento en espinas de marlin rayado y pez espada</i> .....	26
7.3.1 Comparación entre laboratorios .....	27
7.3.2 Prueba de desmineralización .....	28
7.3.3 Análisis isotópico de bandas de crecimiento .....	29
7.4 <i>Preparación y análisis isotópico de músculo en marlin rayado y pez espada</i> .....	31
7.4.1 Extracción de lípidos .....	31
7.5 <i>Comparación entre los valores isotópicos de pez espada colectados en B.C.S., CA y ZTPN</i> .....	32
7.6 <i>Comparación de los valores isotópicos de marlin rayado y pez espada en B.C.S.</i> .....	33
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
8.1 <i>Comparación entre laboratorios</i> .....	34
8.2 <i>Prueba de desmineralización</i> .....	34
8.3 <i>Marlin rayado – B.C.S.</i> .....	34
8.4 <i>Pez espada</i> .....	46
8.4.1 <i>Baja California Sur</i> .....	46
8.4.2 <i>California</i> .....	56
8.4.3 <i>Zona de Transición del Pacífico Norte</i> .....	66

8.5 Comparación entre los valores isotópicos de pez espada colectados en B.C.S., CA y ZTPN.....	78
8.6 Comparación de valores isotópicos de marlin rayado y pez espada de B.C.S. ....	82
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>87</b>
9.1 Prueba de desmineralización.....	87
9.2 Marlin rayado y Pez espada .....	89
9.2.1 Marlin rayado.....	89
9.2.2 Pez espada .....	94
9.3 Comparación entre los valores isotópicos de pez espada colectados en B.C.S., CA y ZTPN.....	101
9.4 Comparación de marlin rayado y pez espada capturados en B.C.S.....	107
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>
<b>11. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>12. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>113</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Área de estudio mostrando los giros subártico y subtropical, la zona de transición, y las zonas asociadas al frente subártico (SAFZ) y a la zona del frente subtropical (STFZ), así como las corrientes influyentes.....	19
Figura 2. Especies muestreadas. a) Marlin rayado, se destaca la primera aleta dorsal y aumento de la cuarta espina dorsal (modificado de Kopf <i>et al.</i> , 2010). b) Pez espada, se destaca la aleta anal y aumento de la segunda espina anal (modificado de Cerna, 2009; Young <i>et al.</i> , 2010). LMF: Longitud maxilo-furca, LOF: Longitud ojo-furca. ....	24
Figura 3. Mediciones realizadas a las espinas y sección transversal para lectura de anillos. a) Marlin rayado, cuarta espina dorsal y b) Pez espada, segunda espina anal. ....	26
Figura 4. a). Procesamiento de las espinas de marlin rayado y pez espada. b) Imagen del muestreo en los anillos en las bandas de crecimiento en una espina de pez espada. ....	30
Figura 5. Relación entre longitud (LMF; cm) y (A) valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espinas dorsal (ed) en <i>Kajikia audax</i> .....	37
Figura 6. Relación entre longitud maxilo-furcal (LMF; cm) y (A) valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ de espinas dorsal (ed) en <i>Kajikia audax</i> . 38	
Figura 7. Perfiles ontogénicos de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espina de 15 marlines rayados. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( <i>n</i> ) por cada clase de edad. ....	39
Figura 8. Perfiles ontogénicos de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espina de 15 marlines rayados. ....	40
Figura 9. Valores isotópicos promedio ( $\pm\text{DE}$ ) de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en espina de 15 marlines rayados.....	41
Figura 10. Perfiles ontogénicos de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ de espina de 15 marlines rayados. Los números en la parte superior representan el número de muestras ( <i>n</i> ) por cada clase de edad.....	42
Figura 11. Perfiles ontogénicos de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en espina de 15 marlines rayados.....	43

Figura 12. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ y $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ de músculo de 15 marlin rayados colectados en Baja California Sur. ....	44
Figura 13. Relación de los valores de (A) $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ y (B) $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ entre cuarta espina dorsal (ed) y el músculo (m) de <i>Kajikia audax</i> .....	45
Figura 14. Relación de la longitud (LMF; cm) y (A) los valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) los valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ de espina anal (ea) en <i>Xiphias gladius</i> capturados en Baja California Sur. ....	49
Figura 15. Relación de la longitud (LMF; cm) y (A) los valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) los valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ de espina anal (ea) de <i>Xiphias gladius</i> colectados en Baja California Sur. ....	50
Figura 16. Perfil general de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espina de 15 peces espada capturados en Baja California Sur. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( <i>n</i> ) por cada clase de edad.....	51
Figura 17. Perfiles ontogénicos de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espina de 15 peces espada colectados en Baja California Sur. ....	52
Figura 18. Valores promedio ( $\pm\text{DE}$ ) de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ y $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espina de 15 peces espada colectados en Baja California Sur.....	53
Figura 19. Perfil general de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en espina de 15 peces espada capturados en Baja California Sur. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( <i>n</i> ) por cada clase de edad.....	54
Figura 20. Perfiles ontogénicos de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en espina de 15 peces espada colectados en Baja California Sur. ....	55
Figura 21. Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ y $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en músculo de 15 peces espada colectados en Baja California Sur. ....	56
Figura 22. Relación entre la edad y (A) los valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) los valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ de espina anal (ea) en peces espada capturados en California.....	59
Figura 23. Relación entre la edad y (A) valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en espina anal (ea) de peces espada colectados en California. ....	60

Figura 24. Perfil general de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espina de 14 peces espada capturados en California. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad. ....	61
Figura 25. Perfiles ontogénicos de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ de espinas de 14 peces espada colectados en California. ....	62
Figura 26. Valores isotópicos promedio y ( $\pm\text{DE}$ ) de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ ( $\text{‰}$ ) en espina de 15 peces espada colectados en California. ....	63
Figura 27. Perfil general de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en espina de 14 peces espada capturados en California. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad. ....	64
Figura 28. Perfiles ontogénicos de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ en espina de peces espada colectados en California. ....	65
Figura 29. Valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ y $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ de músculo de peces espada colectados en California. ....	66
Figura 30. Relación de longitud (LMF; cm) y (A) de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) valores de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ de segunda espina anal (ea) en peces espada capturados en la zona de transición del Pacífico Norte. ....	69
Figura 31. Relación de la longitud (LMF; cm) y (A) valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en músculo (m) y (B) valores de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en segunda espina anal (ea) de peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte. ....	70
Figura 32. Perfil general de $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ en espinas de 15 peces espada capturados en la zona de transición del Pacífico Norte. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad. ....	71
Figura 33. Perfiles ontogénicos de $\delta^{15}\text{N}$ en espinas de 15 peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte. ....	72
Figura 34. Valores promedio y ( $\pm\text{DE}$ ) de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ ( $\text{‰}$ ) en espinas de 15 peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte. ....	73
Figura 35. Perfil general de $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ en espina de 15 peces espada capturados en la zona de transición del Pacífico Norte. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad. ....	74

Figura 36. Perfiles ontogénicos de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en espina de 15 peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte. ....	75
Figura 37. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de músculo de peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte. ....	76
Figura 38. Relación entre los valores isotópicos de (A) $\delta^{15}\text{N}$ (‰) y (B) $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de la segunda espina anal (ea) y músculo (m) de peces espada. ....	77
Figura 39. Porcentaje de individuos por tendencias en los perfiles isotópicos individuales de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en peces espada colectados en Baja California Sur, California y zona de transición del Pacífico Norte. ....	78
Figura 40. Comparación del valor promedio de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (B) en espina anal de pez espada de Baja California Sur (BCS), California (CA) y zona de transición del Pacífico Norte (NPTZ). ....	80
Figura 41. Comparación del valor promedio de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (B) en músculo de pez espada de Baja California Sur (BCS), California (CA) y zona de transición del Pacífico Norte (NPTZ). ....	82
Figura 42. Valores promedio $\pm$ desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (B) obtenidos en marcas sistemáticas en espina anal de peces espada y espina dorsal de marlin rayado capturados en Baja California Sur (B.C.S.). ....	84
Figura 43. Valores promedio $\pm$ desviación estándar de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (B) de músculos de peces espada y marlin rayado capturados en Baja California Sur (B.C.S.). ....	85
Figura 44. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ (A) y $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (B) y desviación estándar de los valores obtenidos en músculos y espinas de peces espada y marlin rayado capturados en Baja California Sur. MR = Marlin rayado, PE = Pez espada. ....	86

## Índice de tablas

Tabla 1. Número de muestras colectadas por zonas y por especies. ....	22
Tabla 2. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de espinas y músculo de marlin rayado colectados en B.C.S. en 2012. La edad representa número de anillos de crecimiento. Proporciones de isótopos estables fueron medidas en bandas sistemáticas para cada pez.....	35
Tabla 3. Edad, longitud maxilo-furcal (LMF), y valores isotópicos de carbono y nitrógeno en músculo y espina dorsal de <i>Kajikia audax</i> por edad.....	36
Tabla 4. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de bandas sistemáticas (0.26 – 0.27 mm) de espina anal y músculo en cada uno de los peces espada colectados en B.C.S. en 2013. La edad se representa por el número de anillos de crecimiento.....	47
Tabla 5. Edad, longitud (LMF) y valores isotópicos de carbono y nitrógeno en <i>Xiphias gladius</i> capturado en B.C.S.....	48
Tabla 6. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de bandas sistemáticas (0.26 – 0.27 mm) de aleta anal y músculo en cada uno de los 14 peces espada colectados en California en 2014. Edad representada por el número de anillos de crecimiento.....	56
Tabla 7. Edad y valores isotópicos de carbono y nitrógeno en <i>Xiphias gladius</i> capturado en California por edad.....	58
Tabla 8. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de bandas sistemáticas (0.26 – 0.27 mm) de aleta anal y músculos de peces espada colectados en ZTPN. La edad representa el número de anillos de crecimiento. 67	
Tabla 9. Edad, promedio de longitud (LMF), y promedio de valores isotópicos de carbono y nitrógeno en espina y valores isotópicos de músculo de <i>Xiphias gladius</i> para cada edad colectado en zona tropical del Pacífico Norte.....	68
Tabla 10. Valores $p$ de la prueba Wilcoxon entre las tres zonas y valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en espina aleta anal <i>Xiphias gladius</i> . ....	79
Tabla 11. Valores $p$ de las pruebas a posteriori entre las tres zonas y valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en músculo <i>Xiphias gladius</i> . ....	81



Tabla 12. Valores isotópicos promedio de *Kajikia audax* y *Xiphias gladius* en espina dorsal y anal, respectivamente, y músculo..... 83

## Glosario

**Anillo de crecimiento.** Un anillo completo en espinas de peces picudos, consiste de una amplia zona opaca, seguida por una delgada zona translúcida.

**Banda sistemática.** Banda de ~0.25 mm diámetro, con una profundidad de 2 mm, y que varía en número de bandas dependiendo del grosor del anillo de crecimiento de la espina de la aleta.

**Capa mínima de oxígeno (CMO).** Capa profunda constituida por una masa de agua con concentraciones de oxígeno por debajo de los  $10\mu \text{ mol l}^{-1}$ . El proceso de desnitrificación ocurre en esta zona por debajo de los  $2\mu \text{ mol l}^{-1}$  de oxígeno.

**Clorofila-a.** Es uno de los pigmentos más comunes presente en los organismos que realizan fotosíntesis, cuyo resultado es la liberación de oxígeno. Se usa como un estimado indirecto de la biomasa fitoplanctónica o algal que se presenta en un ecosistema.

**( $\delta$ ) Delta.** Notación adoptada para expresar diferencias relativas en las razones de isótopos entre una muestra y un estándar. Se expresa en unidades de partes por mil (‰).

**$\delta^{13}\text{C}$ .** Diferencia expresada en partes por mil entre el contenido de  $^{13}\text{C}$  de una muestra con respecto al del estándar Pee Dee Belemnite. Generalmente en estudios de alimentación se usa para definir el tipo de ambiente que utilizan los consumidores.

**$\delta^{15}\text{N}$ .** Diferencia expresada en partes por mil entre el contenido de  $^{15}\text{N}$  de una muestra con respecto al del estándar nitrógeno atmosférico.

**Desnitrificación.** Proceso microbiano mediante el cual se da la reducción de nitratos para la producción de N molecular ( $\text{N}_2$ ). El déficit de nitratos guarda una relación lineal positiva con los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ .

**Ecosistema.** Unidad fundamental de la biosfera que representa un nivel de organización que funciona como un sistema, en el cual se manifiestan conjuntamente los factores abióticos (físicos y químicos), así como los factores bióticos (los que provienen de los seres vivos).

**Eddies.** Es una corriente contraria o remolino, a la corriente principal cuando el flujo del fluido pasa por un obstáculo. El flujo en movimiento crea un espacio desprovisto de flujo que fluye hacia abajo a un lado del obstáculo, permitiendo en el vacío la creación de un remolino de líquido.

**Epipelágico.** Organismos que viven dentro de la zona fótica, desde la superficie hasta la termoclina, usualmente entre 0 y 200 m.

**Fraccionamiento isotópico.** Aumento en la concentración de un isótopo estable que se presenta en un consumidor respecto a su presa, resultado de una discriminación metabólica el isótopo pesado.

**Isótopo.** Átomo de un mismo elemento con igual número de protones y electrones pero diferente número de neutrones.

**Isótopo estable o pesado.** Isótopo que no se desintegra tan fácilmente como los ligeros o que es discriminado al descomponerse durante procesos metabólicos debido a sus características atómicas.

**Mesoescala.** Medida de fenómenos meteorológicos. Que tiene una duración entre 1 y 12 horas o una extensión horizontal entre 1 y 100 Km o una altura entre 1 y 10 Km.

**Mesopelágica.** Aguas marinas situadas entre 200 y 1000 metros de profundidad, por debajo de la zona epipelágica. Esta región se caracteriza por que penetra algo de luz solar, aunque insuficiente para la fotosíntesis.

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

**Pee Dee Belemnita (PDB).** Es un fósil de Belemnita americana de la formación geológica Pee Dee de Carolina del Sur, USA. Es utilizado como estándar para expresar la abundancia isotópica de carbono.

**Pelágico.** Organismos que viven en mar abierto en la columna de agua que no está sobre la plataforma continental.

**Razón carbono-nitrógeno (C/N).** Cantidad de carbono dividido entre la cantidad de nitrógeno presente en una muestra, generalmente en miligramos.

**Surgencia.** Movimiento vertical de agua más profunda, fría, pobre en oxígeno pero rica en nutrientes hacia la superficie.

**Tasa de recambio isotópico.** Periodo en el que las concentraciones isotópicas de un tejido reflejan la señal isotópica de una dieta. Los tejidos con una tasa de recambio isotópica rápida reflejarán una dieta reciente; mientras que aquellos tejidos con una tasa de recambio lenta reflejarán una dieta promedio de periodos largos de tiempo.

**Termoclina.** Estrato o capa de la columna de agua cuya temperatura decrece rápidamente con la profundidad, por lo que el gradiente de temperatura en esta zona es mayor (cambios de 1 °C o más por metro). Separa masas de aguas superficiales menos densas y masas de agua más profundas de mayor densidad.

**Transporte de Ekman.** Es el movimiento de las masas de agua oceánicas con un ángulo con respecto a la dirección del viento en la capa superficial del océano. En la

capa superficial se inicia con la acción del viento sobre el agua cercana a la superficie del océano.

## Resumen

Investigar la ecología trófica de los depredadores tope es crítico para entender su rol en las redes tróficas y monitorear el efecto de las pesquerías sobre la dinámica trófica de los ecosistemas. Sin embargo, poco se conoce acerca de la historia de vida temprana de varias especies migratorias, incluyendo el marlin rayado (*Kajikia audax*) y pez espada (*Xiphias gladius*). Se analizó la variación ontogénica del hábitat trófico del marlin rayado y pez espada, recolectados en Baja California Sur, California y la zona de Transición del Pacífico Norte, a través de mediciones de isótopos estables de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) en las espinas de las aletas dorsales o anales. Se determinó la edad de estos organismos mediante el conteo de anillos de crecimiento de la cuarta espina dorsal (marlin rayado) y de la segunda espina anal (pez espada), y se colectó hueso de polvo de las espinas de las aletas. Se determinaron diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $t = -16.93$ ,  $p < 0.05$ ) de muestras control y desmineralizadas, pero no de  $\delta^{15}\text{N}$ , sugiriendo que el ácido clorhídrico (HCl) altera la composición natural de carbono isotópico de las proteínas de hueso. Los análisis indican que no existe relación entre la talla del marlin rayado o el pez espada y los valores isotópicos. No se detectaron diferencias significativas entre los valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  en las diferentes clases de edad de marlin rayado; sin embargo los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentan en función de la edad. Es probable que exista un cambio ontogénico en zona de alimentación. Se establecieron perfiles isotópicos diferentes tanto para  $\delta^{15}\text{N}$  como para  $\delta^{13}\text{C}$  en el pez espada en función de la edad, lo que podría indicar estrategias de alimentación diferentes. Es posible que el pez espada no sea una especie altamente migratoria, ya que se presentan diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $H_{(2,454)} = 313.8$ ,  $p < 0.01$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $H_{(2,454)} = 115.7$ ,  $p < 0.01$ ). El pez espada y el marlin rayado presentaron un uso de hábitat trófico diferente, basado en las diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $Z = 5845.5$ ,  $p < 0.05$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $Z = 4348$ ,  $p < 0.001$ ). El uso de análisis de isótopos estables a través de hueso de espina para trazar cambios ontogénicos en dieta y hábitat de marlin rayado y pez espada es recomendado, con una aplicación potencial en la diferenciación de peces de diferentes regiones.

## Abstract

Investigating the feeding ecology and migration of top predators is critical to understand their role in food webs and monitor the effect of fisheries on food webs dynamics. However, little is known about the early life history of many migratory species, including striped marlin (*Kajikia audax*) and swordfish (*Xiphias gladius*). Ontogenetic variation in trophic status and habitat was analyzed in striped marlin and swordfish collected in Baja California Sur, California and the North Pacific Tropical Zone, measuring stable isotopes of carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) in the bone of the dorsal and anal fin spine. The age of the organisms were determined counting the growth rings in the fourth dorsal spine (striped marlin) and in the second anal spine (swordfish), and bone powder of the fin was collected. Significant differences were determined in  $\delta^{13}\text{C}$  ( $t = -16.93$ ,  $p < 0.05$ ) values between control and demineralized samples, but no for  $\delta^{15}\text{N}$ , suggesting that hydrochloric acid (HCl) alter the natural carbon isotopic composition of protein. The analysis showed that there was no relationship between the size of striped marlin or swordfish and the isotopic values. No significant differences were detected in  $\delta^{15}\text{N}$  mean values through the different age classes in striped marlin; however the  $\delta^{13}\text{C}$  values increased as a function of age. Probably ontogenetic changes exist in the feeding area. Different isotopic profiles were established, for both  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in swordfish as a function of age, perhaps reflecting different ontogenetic foraging strategies. It is possible that swordfish is not a highly migratory species, because significant differences in the  $\delta^{15}\text{N}$  ( $H_{(2,454)} = 313.8$ ,  $p < 0.01$ ) and  $\delta^{13}\text{C}$  ( $H_{(2,454)} = 115.7$ ,  $p < 0.01$ ) values were found. The swordfish and striped marlin are using different feeding habitats, due to significant differences in  $\delta^{15}\text{N}$  ( $Z = 5845.5$ ,  $p < 0.05$ ) and  $\delta^{13}\text{C}$  ( $Z = 4348$ ,  $p < 0.001$ ) that were established. The use of stable isotope analysis along bone spines to trace ontogenetic shifts in diet and habitats of striped marlin and swordfish is recommended, with a potential application to differentiate fish from different regions.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades de los recursos

El marlin rayado (*Kajikia audax*) y el pez espada (*Xiphias gladius*) pertenecen al grupo conocido como peces de pico o picudos. El marlin rayado es una especie epipelágica de distribución oceánica que se encuentra principalmente en aguas tropicales y subtropicales de los Océanos Pacífico e Índico, entre los 45°N y los 45°S (Nakamura, 1985). Estudios genéticos en marlin rayado, utilizando cinco micro-satélites (n= 373) determinaron cuatro stocks de esta especie para el Océano Pacífico Oriental; conformados por 1) Taiwán, Japón, Hawái, y California, 2) Australia, 3) Ecuador y 4) México (McDowell y Graves, 2008), aunque existen cuestionamientos al respecto, debido al flujo migratorio que existe entre animales marcados satelitalmente entre California y Baja California (Domeier, 2006).

Se cree que *K. audax* presenta fidelidad al sitio por lo menos nueve meses, y al parecer, realiza movimientos estacionales (Domeier, 2006); aunque aún se desconocen patrones de movimiento y uso de hábitat. Asimismo, la carencia de movimientos anuales a gran escala de un gran número de peces de esta especie, ha llevado a la confirmación de que es menos migratoria de lo que se pensaba o que por lo menos no presenta esta conducta en un nivel tan alto como otros marlines y atunes (Holts y Bedford, 1990; McDowell y Graves, 2008). Aunque Squire y Suzuki (1990) mediante la evaluación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y marcas convencionales, determinó que existe cierta migración de esta especie en el Pacífico oriental, que va de individuos desde Centroamérica con dirección noreste hacia Baja California, permaneciendo por un periodo de tiempo en esta zona y posteriormente regresando a Centroamérica. Estos datos deben ser usados con precaución, ya que los cambios de CPUE pueden reflejar cambios en la captura o disponibilidad más que de movimiento (Squire y Suzuki, 1990).

En el Océano Pacífico, sus presas principales incluyen, macarela (*Scomber japonicus*) y calamar (*Dosidicus gigas*) de tamaño mediano (LaMonte, 1955; Kopf *et al.*, 2010; Young *et al.*, 2010a; Abitía-Cárdenas *et al.*, 2011), siendo estas especies de



gran importancia pesquera, así como otros taxa, entre los que se incluyen sardinias (*Sardinops sagax caerulea*) y crustáceos, los cuales solo se reportan para el Pacífico mexicano (Abitía-Cárdenas *et al.*, 2011). Se alimentan principalmente en el día, y a profundidades menores de 50 m (Young *et al.*, 2010b).

El marlin rayado alcanza tallas de hasta 4 m de longitud total (Nelson, 2006) y edad máxima de 11 (machos) y 12 (hembras) años en individuos colectados en Baja California Sur (Melo-Barrera *et al.*, 2003); mientras que en el caso de animales colectados en Nueva Zelanda, la edad máxima para machos es de siete años y de 8.5 años para hembras (Kopf, 2010). El crecimiento de esta especie es particularmente rápido durante los estadios larval y juvenil, alcanzando más del 45% de su longitud máxima en el primer año de vida (Melo-Barrera *et al.*, 2003).

La determinación de edad se realiza generalmente mediante el conteo de anillos de crecimiento que se forman anualmente en las espinas dorsales, conforme el pez crece. Estas espinas, son de una estructura calcificada, compuesta por hueso sólido cortical (Melo-Barrera y Felix-Uraga, 2004; Kopf, 2010; Kopf *et al.*, 2011). Un anillo completo consiste de una amplia zona opaca (crecimiento rápido) seguido por una delgada zona translúcida (crecimiento lento) vista bajo una luz reflejada (Ehrhardt *et al.*, 1996; Kopf *et al.*, 2010).

La zona opaca se forma en los meses de primavera-verano y la zona translúcida o clara, se forma durante invierno (Ehrhardt *et al.* 1996, Sun *et al.* 2002, Melo-Barrera y Felix-Uraga 2004). Es probable que las diferencias entre los dos tipos de bandas sean debidas a los requerimientos bioenergéticos de la maduración gonádica de las hembras y a las diferencias en patrones migratorios de alimentación (Ehrhardt *et al.*, 1996).

Se sabe poco sobre la historia de vida en las etapas tempranas del marlin rayado, ya que los juveniles son raramente reportados en pesquerías comerciales o recreativas (Squire and Au, 1990; González-Armas *et al.*, 2006), asimismo los patrones de migración de esta especie en el Océano Pacífico suroeste y alrededor del mundo, han sido poco definidos (Kopf, 2010).

El pez espada es una especie epipelágica y mesopelágica (Tserpes y Tsimenides, 1995; Ménard *et al.*, 2007), que se distribuye en aguas tropicales, subtropicales y templadas alrededor del mundo, entre los 50°N y 45°S en el Océano Pacífico Occidental y entre los 50°N y 35°S en el Océano Pacífico Oriental (OPO), incluyendo California y Hawái (Nakamura, 1985). En la actualidad es poco lo que se conoce acerca del número de stocks de esta especie en el Océano Pacífico, así como de la preferencia de hábitat, los patrones migratorios o la frecuencia en que las poblaciones de esta especie se mezclan (Abascal *et al.*, 2010).

Estudios realizados con marcadores satelitales indican posiblemente un flujo migratorio bajo, sin poder determinar patrones migratorios o estructura de stocks (Dewar *et al.*, 2011). Los análisis de ADN mitocondrial sugiere que la población del pez espada en el Océano Pacífico no es homogénea (Reeb *et al.*, 2000), pero se encontraron diferencias significativas entre muestras regionales de Hawái, el Océano Pacífico noreste (México y Ecuador), el Océano Pacífico sureste (Chile) y Australia (Alvarado-Bremer *et al.*, 2006). Sin embargo, todavía se desconoce el grado de diferenciación, las zonas geográficas a las cuales pertenecen los posibles stocks, y el significado de la heterogeneidad genética de las poblaciones a nivel ecológico y evolutivo.

Con respecto a sus hábitos alimenticios, en aguas de la Península de Baja California, México, se ha determinado que se alimentan principalmente de calamares, como *Dosidicus gigas* y de cefalópodos téutidos, octópodos y vampiromórfidos (Markaida y Hochberg, 2005). Se considera que hay un cambio de dieta al aumentar la talla de los peces, lo que indicaría que probablemente los juveniles de esta especie se alimentan en mayor proporción de peces, mientras que los adultos lo hacen de calamares (Chancollon *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2006). Sin embargo, Clarke *et al.*, (1995) analizando 132 estómagos de pez espada colectados en 1992-1993 cerca de Islas Azores y no encontraron diferencias en la dieta con respecto a la talla o sexo.

Esta especie alcanza una longitud total de hasta 4.5 m (Nelson, 2006). El método más comúnmente usado para la determinación de la edad en pez espada, es mediante

el conteo de bandas o anillos que se forman en las estructuras calcificadas, como otolitos o espinas de la aleta anal, en particular la segunda espina. Cada anillo de crecimiento en esta espina, es depositado anualmente (Ehrhardt 1992, Tserpes y Tsimenides 1995; Sun *et al.*, 2002; Arocha *et al.*, 2003; DeMartini *et al.*, 2007).

## **1.2. La pesquería**

Los picudos son parte del grupo de depredadores tope pelágicos que han reducido su abundancia debido a la explotación por la pesca comercial (Myers y Worm, 2003), lo que ha generado preguntas acerca de las consecuencias ecológicas de la explotación. Más del 90% de la mortalidad de los peces de pico a nivel mundial ha sido generada por la pesquería de palangre (Cox *et al.*, 2002). Mientras que 317,073 marlines, peces vela y otras especies han sido capturadas mediante pesquería recreacional alrededor del mundo desde 1954 (Ortiz *et al.*, 2003). Esta última pesquería tienen un mayor impacto económico (Ditton y Stoll 2003).

En el OPO, los picudos son capturados principalmente por las pesquerías de palangre de Japón, y por pesquerías recreativas (Hinton, 2003). Se capturan cantidades menos importantes con red de trasmallo y otros tipos de pesca. Durante los últimos años, las mayores capturas comerciales fueron realizadas por las pesquerías de Japón, Polinesia Francesa y Taipei Chino (Bedford y Hagerman, 1983; Hinton, 2003). En California, las pesquerías de picudos estaban representadas por tres tipos: a) la pesca con arpón; b) la pesca deportiva y c) la pesca con red de deriva. Esta última fue cancelada desde 1981 ya que generó un gran impacto debido a que en un solo lance se capturaron hasta 3,121 peces espada (Bedford y Hagerman, 1983), por lo que en la actualidad continúan solo las dos primeras.

En Hawái, opera tanto la pesquería recreacional como la comercial. Los artes de pesca incluyen, pesca con curricán, cebo vivo cerca de la superficie y pesquería de palangre (Nitta y Henderson, 1993). En el Pacífico mexicano, la explotación de picudos está regulada por la NOM-017-PESCA-1994, en la cual se establece que la captura de estos organismos está reservada de manera exclusiva a la pesca deportiva-recreativa

dentro de la franja de 50 millas náuticas, contadas a partir de la línea base desde la cual se mide el Mar Territorial (Diario Oficial de la Federación, 1994).

Fuera de las 50 millas, pero dentro de la Zona Económica Exclusiva Mexicana (ZEEEM), se permite su captura por la flota comercial solo de manera incidental, por embarcaciones con permiso para capturar tiburón o pez espada, con excepción de dos zonas con veda permanente para la captura de picudos ubicadas en aguas adyacentes a Baja California Sur y el estado de Chiapas (Diario Oficial de la Federación, 1994). Las especies de picudos que se capturan con mayor frecuencia con este arte de pesca son el marlin rayado (*Kajikia audax*), el pez vela (*Istiophorus platypterus*), el marlin azul (*Makaira nigricans*) y en menor magnitud el pez espada (*Xiphias gladius*) (Klett-Traulsen *et al.*, 1996; Carta Nacional Pesquera, 2004).

### **1.3. El ecosistema pelágico**

El ecosistema pelágico marino es de gran importancia ya que abarca el 99% del volumen de la biósfera (Pauly *et al.*, 2002). Además que en él es donde se lleva a cabo la mayor parte del proceso fotosintético, es regulador del ciclo y almacenamiento de carbono, de la dinámica de los gases de efecto invernadero y contiene una gran diversidad y riqueza de especies (Duffy y Stachowicz, 2006).

Actualmente, este ecosistema se enfrenta a una serie de amenazas que incluyen la sobrepesca, la contaminación, el cambio climático, la eutrofización, la explotación e introducción de especies (Game *et al.*, 2009), desconociendo los efectos que estas amenazas pueden tener sobre la estructura y función de las redes tróficas, así como la relación ecológica que hay entre las especies tope y el grado de impacto ecológico a nivel de ecosistema (Kitchell *et al.*, 2002; Olson *et al.*, 2010; Young *et al.*, 2010b).

Los depredadores tope, como especies clave, mantienen la estabilidad de las redes tróficas ya que tienen un efecto sobre la estructura de los ecosistemas en el ambiente pelágico (Young *et al.*, 2010b), y por lo general, la sobrepesca de éstos puede generar desestabilidad en la estructura y dinámica trófica (Kitchell *et al.*, 2002; Hinke *et al.*, 2004; Olson *et al.*, 2010) ocasionando posible colapso en el ecosistema (Beverton, 1990). Asimismo, cambios en el ambiente (por ejemplo, temperatura), modifican la distribución espacial y temporal de las especies de todos los niveles tróficos, afectando consecuentemente, la disponibilidad de alimento y ejerciendo

control sobre las poblaciones (Carey y Robinson, 1980), además de afectar la productividad y sustentabilidad (reclutamiento y crecimiento) de las especies (Nakamura, 1985).

La investigación sobre la estructura y función de las redes alimenticias del ecosistema pelágico es muy importante en la evaluación de pesquerías (Landry, 1977). Los niveles tróficos más altos que habitan este ecosistema, están representados por atunes, peces de pico, tiburones y mamíferos marinos (Olson y Watters, 2004), y aunque los atunes han sido el objetivo principal de muchas pesquerías a nivel mundial (Kume y Joseph, 1969, Cox *et al.* 2002, Hinke *et al.*, 2004, Olson y Watters, 2004), otros depredadores tope también han sido objeto principal de explotación, entre los que se encuentran tiburones (Kitchell *et al.*, 2002), ballenas (industria de la caza ballenera, pos- II Guerra Mundial; Danner *et al.*, 2006) y varias especies de picudos (Kitchell *et al.*, 2002; Okamoto y Bayliff, 2003).

No obstante la importancia de estas especies, se conoce poco sobre sus poblaciones, uso de hábitat, movimientos e interacciones con la red trófica de los ambientes pelágicos, especialmente de las especies de picudos (Olson *et al.*, 2010). Esta es información que es necesaria para una evaluación precisa de los impactos de su captura en las diversas pesquerías, así como el efecto del cambio climático en los ecosistemas (Young *et al.*, 2010b).

Una técnica complementaria en los estudios de ecología trófica que permite entender y estructurar las redes alimenticias, es la de análisis de isótopos estables. Este método, se basa en la premisa de que la proporción isotópica de carbono y nitrógeno ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) del tejido de un depredador está compuesta por la señal isotópica del alimento asimilado en un periodo de tiempo determinado (DeNiro y Epstein, 1978). Este lapso de tiempo, dependerá del metabolismo del tejido escogido, así como de la especie, indicando que la composición isotópica del depredador generalmente refleja la información isotópica de sus presas con un grado de fraccionamiento (DeNiro y Epstein, 1978), el cual refleja un enriquecimiento en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  que usualmente equivale +2‰ entre plantas a herbívoros y de +1‰

en los siguientes niveles tróficos, y de 3 a 3.4‰ en  $\delta^{15}\text{N}$ , entre los valores del depredador y la presa (DeNiro y Epstein, 1978, 1981).

Por lo general, las comparaciones de los valores isotópicos entre depredadores y presas potenciales, pueden definir relaciones tróficas, y trazar el flujo de nutrientes en las redes alimenticias de un ecosistema dado (Rau *et al.*, 1983; Wada y Hattori, 1991; Hobson y Welch, 1992). El isótopo estable de nitrógeno da una aproximación del nivel trófico (DeNiro y Epstein, 1981), mientras que el de carbono es un buen indicador del hábitat utilizado durante la alimentación, ya que está directamente influenciado por factores que actúan en el nivel primario de la producción (DeNiro y Epstein, 1981; Rau *et al.*, 1983). Sin embargo, estudios recientes han determinado que el isótopo de nitrógeno es aún mejor indicador del hábitat que el isótopo de carbono, ya que está influenciado por los valores isotópicos de la línea base entre las cuencas oceánicas, relacionados con el régimen regional cíclico del nitrógeno (Somes *et al.*, 2010).

Diferentes procesos oceánicos afectan los valores isotópicos ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) de los productores primarios (Rau *et al.*, 1982; Altabet *et al.*, 1999). A escala global, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de fitoplancton disminuyen de latitudes bajas a altas (Rau *et al.*, 1982; Goericke y Fry, 1994), mientras los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de materia orgánica particulada (MOP) son determinados por la utilización de nutrientes de los productores primarios y la fuente de nitrógeno utilizada; por ejemplo, nitratos, amonio,  $\text{N}_2$  (Wada y Hattori, 1991; Altabet *et al.*, 1999).

La variabilidad espacial y temporal de procesos bioquímicos entre cuencas oceánicas, y zonas costeras u oceánicas determinan los valores isotópicos de línea base (productores primarios) que se incorporan y conservan a través de las redes tróficas, por lo cual, los tejidos de los depredadores tope también reflejan estas variaciones geográficas (Takai *et al.*, 2000; Ruiz-Cooley *et al.*, 2010). Asimismo, se pueden analizar isótopos estables en tejidos metabólicamente activos como sangre, músculo e hígado, y metabólicamente inactivos como piel, hueso y diente, permitiendo

la existencia de ventanas temporales de información diferentes (Tieszen *et al.*, 1983, Hobson y Welch, 1992, Macneil *et al.*, 2006). El recambio de las proporciones de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en el atún aleta azul del Pacífico (*Thunnus orientalis*) ocurre más rápido en el hígado (86 días) que en el músculo (184 días), debido a una mayor actividad metabólica, y una síntesis de proteínas más rápida en el hígado (Madigan *et al.*, 2012). Además la composición de aminoácidos del hígado y el músculo blando difiere en peces marinos (Pinnegar y Polunin, 1999).

Por otra parte, en tejidos metabólicamente inactivos como otolitos y huesos de peces, los valores isotópicos pueden reflejar información de hasta años (Kennedy *et al.*, 2002; Estrada *et al.*, 2006; Kerr *et al.*, 2006; Mendes *et al.*, 2007). Los valores isotópicos en este tipo de tejidos, permiten reconstruir historias de vida (cambios ontogénicos) en relación a la dieta y el uso de uno o más hábitats para fines alimentarios. Por ejemplo, se han analizado isótopos estables en diente de cachalote (*Physeter macrocephalus*) para determinar inferencias sobre movimientos ontogénicos (Mendes *et al.*, 2007), en plumas (tejido compuesto de quitina) de calamares (*Dosidicus gigas*) para detectar variaciones ontogénicas y geográficas (Ruiz-Cooley *et al.*, 2010), en vértebras tanto de tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) para reconstruir la historia de vida alimentaria de los individuos (Estrada *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2012), como de tiburón salmón (*Lamna ditropis*) determinando cambio de hábitat ontogénico de oceánico a nerítico (Carlisle *et al.*, 2015).

En el caso del tiburón blanco, se pudo establecer que el análisis isotópico secuencial en vértebras muestra una tendencia al aumento de  $\delta^{15}\text{N}$  en función de la distancia desde el centro hacia fuera de la vértebra, sugiriendo que es posible analizar la historia trófica individual dentro de este grupo de peces. Asimismo, se han podido detectar dos cambios ontogénicos de alimentación en tiburón blanco: El primero, después del nacimiento, cuando se presenta el cambio de alimentación de saco vitelino a peces; y el segundo al alcanzar una longitud total de >341 cm, cambiando su dieta de peces a mamíferos marinos, ej. pinnípedos (Estrada *et al.*, 2006).

Por lo anterior, se considera que el análisis de isótopos estables tanto en músculo blanco de la región dorsal, como en las espinas de las aletas (dorsal y anal) de picudos, pueden proporcionar información sobre la variación ontogénica (ya sea de dieta y/o movimiento) y pueden ser utilizados para definir hábitat y/o conectividad entre zonas geográficas. Sin embargo, a la fecha ningún estudio ha investigado estos aspectos, ni estas estructuras en el marlin rayado y pez espada.

En el presente estudio se construirá y comparará el perfil ontogénico de estas especies, a partir del análisis de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en anillos de crecimiento en espinas de la aleta anal y dorsal, respectivamente. De modo particular, se desarrolla por primera vez el uso de esta técnica en este tejido para investigar estrategias de alimentación, uso de hábitat, movimientos y posible conectividad del pez espada entre Baja California Sur, California y la zona de transición del Pacífico Norte (ZTPN).



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Marlin rayado (*Kajikia audax*)

Se han realizado pocos estudios de marlin rayado que tengan que ver con isótopos estables. Los tres que hasta el momento se conocen son los realizados por, Revill *et al.* (2009), Torres Rojas *et al.* (2013) y Richert *et al.* (2015). Revill *et al.* (2009) al analizar músculo blanco de marlin rayado colectado en la pesquería de palangreros atuneros que operan al este de Australia, determinaron que las presas presentan valores isotópicos similares a los del depredador por lo que concluyen que la relación positiva que generalmente se presenta entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y el tamaño promedio de los peces, para el caso particular de marlin rayado no se cumple.

Resultados similares fueron encontrados por Torres-Rojas *et al.*, (2013), en aguas adyacentes a Baja California Sur. Richert *et al.* (2015) compararon los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de varios depredadores pelágicos en aguas adyacentes a Cabo San Lucas y determinaron que los valores isotópicos de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlin rayado (*Kajikia audax*) no son significativamente diferentes (Richert *et al.*, 2015). Es importante mencionar que el músculo blanco ha sido el único tejido que se ha analizado isotópicamente para marlin rayado.

### 2.2 Pez espada (*Xiphias gladius*)

Al igual que el marlin rayado, los análisis de isótopos estables para pez espada solamente se han realizado en músculo blanco. Valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (11.8‰ a 16.2‰) y de  $\delta^{13}\text{C}$  (-17.4‰ a -15.0‰) en músculo de esta especie en el Océano Índico Occidental, evidenciaron una relación entre el tamaño del organismo y los valores isotópicos, así como una concordancia con la latitud en la cual los animales fueron capturados. Este último resultado se presenta, debido a la variación espacial que se presenta en los valores isotópicos, ya que es el resultado de los diferentes procesos oceánicos en la base y a través de la red trófica en el Océano Índico (Ménard *et al.*, 2007).

Revill *et al.* (2009) encontraron valores isotópicos en un intervalo para  $\delta^{15}\text{N}$  de 9.1‰ a 15.7‰ y para  $\delta^{13}\text{C}$  de -23.9‰ a -17.1‰, infiriendo que es un depredador tope generalista, que probablemente comparte hábitos alimenticios con otros depredadores tope como es el atún aleta amarilla, por lo menos en el Océano Índico. Asimismo, un estudio realizado al este de Australia pudo establecer que a medida que el pez espada incrementa su longitud, su dieta varía de peces pequeños a calamares, entre los cuales, los peces pequeños como los mictófidios presentan valores de  $\delta^{15}\text{N}$  mucho más bajos que los calamares (Young *et al.*, 2006).

Por último, Young *et al.* (2010b) analizando isótopos estables y contenido estomacal en diferentes depredadores pelágicos tope, determinaron que hay una diferenciación del uso de hábitat, y que probablemente existe una relación entre la longitud de presas y los depredadores. No hay información disponibles de la tasa de recambio del músculo blanco para picudos, el único dato con el que se cuenta fue el obtenido por Revill *et al.* (2009) al este de Australia, el cual indica un tiempo probable de residencia del pez espada de por lo menos 2 meses.

No se han realizado estudios a partir de estructuras duras en ninguna de estas dos especies; sin embargo, en especies similares como el marlin azul (*Makaira nigricans*) y marlin blanco (*Tetrapturus albidus*), se ha cuantificado la composición isotópica en otolitos para examinar la estructura poblacional de ambas especies al occidente del Océano Atlántico Norte. La variabilidad de  $\delta^{18}\text{O}$  en los otolitos de estas especies fue más alta en las regiones donde los individuos mostraron un mayor grado de movimiento (confirmado por estudios de marcado satelital en las mismas regiones) (Wells *et al.*, 2010). Una variabilidad menor de  $\delta^{18}\text{O}$  se encontró en otolitos de marlin azul colectado en el Golfo de México lo que fue atribuido al poco movimiento que esta especie presenta fuera de esta cuenca. Mientras que, una variabilidad mayor de  $\delta^{18}\text{O}$  en otolitos en marlin blanco significa que existe un movimiento mayor de esta especie (Wells *et al.*, 2010).

Asimismo, otros estudios han analizado movimientos de depredadores tope usando la técnica de isótopos estables. Ménard *et al.* (2007) analizando músculo

blanco de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y pez espada (*Xiphias gladius*) determinó que hay un efecto significativo de la latitud en los valores isotópicos de carbono y nitrógeno, pero sobre todo en  $\delta^{15}\text{N}$ , indicando que el efecto latitudinal se debe a las diferencias en la dinámica del nitrógeno que existe en la base de la red trófica y que se propaga a través de la red hasta los depredadores tope. El patrón observado en las poblaciones de ambas especies en el Océano Índico sugiere que existe un comportamiento de residencia, ya que no se presentaron variaciones en los valores isotópicos a través del tiempo.

Por otro lado, Carlisle *et al.* (2015) determinaron la existencia de variación ontogénica en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de anillos de crecimiento de las vértebras del tiburón salmón (*Lamna ditropis*), identificando que las áreas de crianza se presentaron en zonas oceánicas y que un cambio ontogénico se generó conforme a la edad avanzaba, pasando de áreas oceánicas a un mayor uso de hábitats neríticos. Lo anterior, demostró que el uso de esta técnica permite reconstruir patrones de uso de hábitat en especies pelágicas altamente migratorias a través de su ontogenia.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Poco se conoce acerca de las perturbaciones tanto naturales como antropogénicas que han cambiado la dinámica poblacional de las especies. Estos efectos posiblemente tengan un impacto negativo sobre los ecosistemas, debido a que los depredadores tope regulan las poblaciones de las presas y el balance de las redes tróficas. Este estudio propone un nuevo enfoque a la investigación de la historia trófica y los posibles cambios ontogénicos en los movimientos de peces de gran importancia comercial, como son estas dos especies de peces de pico. Debido a la naturaleza migratoria transfronteriza de estas especies, una gestión de manejo de stocks debe existir, pero esta sólo se puede lograr a través de la cooperación internacional.

El conocimiento de la variabilidad en el estatus trófico, dieta y movimientos, a través de las diferentes etapas de vida de los picudos, proporciona un punto de referencia para comprender de un mejor modo el impacto de la pesca comercial en la dinámica trófica de estas especies. Adicionalmente, el entendimiento sobre una probable conectividad de peces entre California, Baja California Sur y la ZTPN, así como el grado en el que estos se mueven para alimentarse, es esencial para el diseño de estrategias eficaces de gestión.

#### 4. HIPÓTESIS

- Debido a que el marlin rayado y el pez espada son especies altamente migratorias y que sus tejidos pueden integrar cambios ontogénicos de dieta así como de hábitat que podrían ser detectadas isotópicamente, gracias a la especificidad de los procesos bioquímicos que caracteriza a los ecosistemas. Se espera que los perfiles isotópicos de marlin rayado y del pez espada reflejen cambios tróficos y de uso de hábitat.
- Los cambios ontogénicos de dieta y movimiento diferirán entre especies debido al diferente uso de hábitat y a las variaciones de presas, las cuales pueden cambiar estacional o anualmente.
- Se espera que el pez espada se mueva dentro y quizá entre Baja California Sur, California y la Zona de Transición del Pacífico Norte (NPTZ); mientras que el marlin rayado probablemente presente movimientos entre Baja California Sur y California.
- Debido que los tejidos analizados: músculo y espina (hueso) presentan una composición diferente, se espera que los valores isotópicos sean distintos entre sí, y esto aplique para ambas especies.

## 5. OBJETIVO GENERAL

Construir el perfil ontogénico del marlin rayado y del pez espada mediante el análisis de isótopos estables de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) en músculo blanco y en las espinas de la aleta dorsal (marlin rayado) y anal (pez espada), para inferir cambios ontogénicos en dieta y movimientos.

### 5.1 *Objetivos particulares*

1. Determinar los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en los anillos de crecimiento presentes en la cuarta espina de la aleta dorsal del marlin rayado y en la segunda espina de la aleta anal del pez espada.
2. Cuantificar los cambios isotópicos a lo largo de los perfiles de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en marlin rayado y pez espada, para diferenciar movimiento y/o cambios en la dieta.
3. Conocer la variación de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  a lo largo de las diferentes etapas de vida de los individuos (juvenil y adulto) de marlin rayado en B.C.S. y de pez espada en las tres zonas.
4. Identificar una posible conectividad del pez espada entre Baja California Sur, California y la Zona de Transición del Pacífico Norte mediante los valores isotópicos obtenidos tanto en espina como en músculo.
5. Determinar la relación que existe entre los valores isotópicos de la última marca de crecimiento de la espina dorsal (marlin rayado) o anal (pez espada) y los valores isotópicos del músculo en las dos especies.
6. Comparar los valores isotópicos de marlin rayado y pez espada capturados en Baja California Sur en diferentes tejidos (espinas y músculo), para

determinar patrones de interacción trófica entre las dos especies, en diferentes ventanas temporales.

## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende tres localidades, Baja California Sur, México; California, E.U.A y la Zona de Transición del Pacífico Norte (Fig. 1).

### 6.1 Baja California Sur (B.C.S.)

La costa occidental de la Península de Baja California incluye la porción más sureña del Sistema de la Corriente del California (SCC), que forma el margen oriental del gran giro oceánico del Pacífico norte y una de las zonas de surgencia costera por viento más importantes (Lynn and Simpson, 1987), el cual se extiende, en el norte, desde la ZTPN (~50°N, separando el Pacífico Norte y los giros de Alaska), y al sur hasta las aguas subtropicales de Baja California, México (Hickey, 1979). En el área de Bahía Magdalena, la surgencia por viento es más fuerte durante abril-mayo desfasándose hasta julio en el extremo norte del sistema, alrededor de 45°N; presentándose la mayor intensidad en la Cuenca Santa Bárbara durante mayo-junio (Lluch-Belda, 2000; Pantoja *et al.*, 2012).

Estacionalmente, las surgencias por viento incorporan a la superficie aguas sub-superficiales, frías y ricas en nutrientes a lo largo de la costa. Asimismo, la Corriente de California (CC), que es un flujo superficial (hasta 300 m de profundidad) que transporta agua subártica del Pacífico hacia el ecuador, se desplaza desde alrededor de los 48°N hasta los 25°N aproximadamente, con una mezcla de agua del centro del Pacífico norte que penetra hasta el oeste (Huyer, 1983).

Por otro lado, el Golfo de California que se comunica en su parte sur con el Océano Pacífico, en la región conocida como Boca del Golfo de California, es una región que se encuentra bajo la influencia de dos corrientes de gran escala: el brazo tropical de la CC [corriente fría que fluye hacia el Ecuador], y la Corriente Costera Mexicana [CCM, es una corriente superficial que transporta agua cálida hacia el polo] (Fig. 1; Godínez *et al.*, 2010).



La CCM fluye normalmente durante el otoño e invierno hacia el norte, y su flujo puede llegar hasta Cabo Corrientes en junio y julio. Esta corriente es la extensión más septentrional de la Corriente Costera de Costa Rica, y por tanto de la Contracorriente Ecuatorial del Norte antes de unirse a la Corriente Ecuatorial del Norte, permitiendo que una parte de esta corriente costera continúe a través de las costas dentro del Golfo de California (Kessler, 2006; Lavín *et al.*, 2006). Los flujos geostroficados hacia el sur son mayormente observados en la primera mitad de año, debilitando la CCM superficial y aparentemente permitiendo que agua de la CC penetre profundamente en los trópicos (Kessler, 2006).

La costa de Baja California Sur es una zona de transición oceánica, en la que masas de agua superficiales y sub-superficiales diferentes convergen. Estas masas de agua corresponden a: Agua de la Corriente de California, la cual se caracteriza por tener temperatura y salinidad baja ( $T < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $S < 34.6$ ); agua Superficial Tropical, caracterizada por temperaturas altas y salinidades medias ( $T > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $S = 34.7$ ); agua Sub-superficial Subtropical, con una salinidad promedio de 34.7 y una temperatura que oscila entre 8 y 18  $^{\circ}\text{C}$ ; agua Intermedia del Pacífico, presentando un rango de salinidad de 34.5 a 34.75 y un rango de temperatura de 5 a 20  $^{\circ}\text{C}$ ; agua del Golfo de California, conocida por su amplio rango de temperatura ( $> 12^{\circ}\text{C}$ ) y salinidad alta (35) y agua del centro del Golfo de California, la cual es altamente salina ( $>35$ ) y templada (promedio 23.5 $^{\circ}\text{C}$ ) (Cepeda-morales *et al.*, 2013; Leon-Chavez *et al.*, 2010). Asimismo, es un área caracterizada por presentar zona mínima de oxígeno, siendo esta una característica oceanográfica importante de resaltar (Lam *et al.*, 2009).

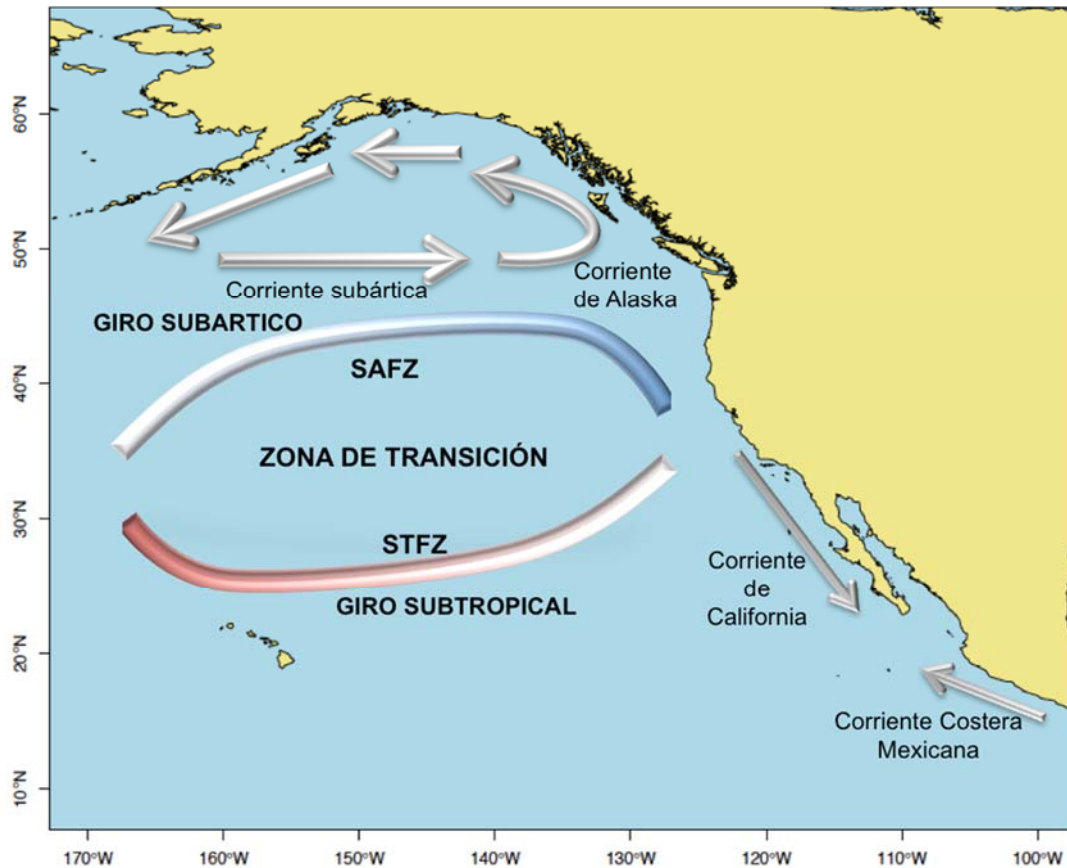


Figura 1. Área de estudio mostrando los giros subártico y subtropical, la zona de transición, y las zonas asociadas al frente subártico (SAFZ) y a la zona del frente subtropical (STFZ), así como las corrientes influyentes.

## 6.2 California (CA)

Esta área está influenciada principalmente por el Sistema de la Corriente de California (SCC). Diversos patrones y procesos ocurren en el SCC, incluyendo surgencia impulsada por el viento, la Corriente de California (Fig. 1) y la subcorriente de California. Esta última, se origina en el Pacífico ecuatorial este y fluye hacia el polo a través de la costa de Norte América (Lynn y Simpson, 1987). Desde el continente el flujo de los ríos, proporcionan agua dulce la cual induce a la flotabilidad, así como a la entrada de nutrientes al sistema. La costa irregular, la batimetría y la variación temporal dan como resultado una variedad de patrones y procesos en todos los niveles de organización en esta zona (Checkley y Barth, 2009). El SCC es forzado a gran escala por los vientos asociados con la presión elevada del Pacífico Norte, las bajas presiones

Aleutianas y el sistema de baja presión termal desde California Central hasta el norte de México.

Asimismo, por el transporte de Ekman el agua de la zona costera proviene de surgencias; mientras que el agua oceánica, se ve influenciada por el bombeo de Ekman (Checkley y Barth, 2009). Las propiedades del agua del SCC están determinadas por cuatro masas de agua, cada una definida por su temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes en el momento en que entran en la Corriente de California (Lynn y Simpson, 1987).

### **6.3 Zona de Transición del Pacífico Norte (ZTPN)**

La zona comprendida entre 30° y 45°N es comúnmente conocida como la zona de transición subártica-subtropical en el Pacífico Norte, ZTPN (Fig.1, Roden 1991). En esta zona de transición la concentración de clorofila es  $>0.25 \text{ mg/m}^3$ . La ZTPN es distintiva de los frentes tropical y subártico aunque estacionalmente migra entre estos dos frentes (Polovina *et al.*, 2001).

La ZTPN es una característica persistente que se mueve hacia el norte y sur estacional e interanualmente (Bograd *et al.*, 2004). La producción primaria anual tiene un rango de  $0.15$  a  $0.75 \text{ g Cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$  con valores máximos durante primavera y en mínimos entre septiembre y noviembre; registrando valores mayores durante la presencia de eventos de “El Niño” (Karl *et al.*, 1995), así como una ZTCF más serpenteante, lo cual genera áreas de convergencia, aumentando así la oportunidad de forrajeo de depredadores marinos (Polovina *et al.*, 2001).

Es una zona amplia de características oceánicas, está delimitada en el norte y sur por zonas de frentes, en las cuales uno o varios frentes serpenteantes y eddies ocurren; estos frentes individuales son altamente variables en tiempo y espacio. Es una región compleja en la cual las estructuras de flujos de mesoescala y las agregaciones biológicas están presentes todo el tiempo, permitiendo a las poblaciones de plancton responder a estos flujos de variación temporal, siguiendo estos flujos o migrando parcialmente a través de estos (Roden, 1991). Esta es una zona dinámica

con una influencia fuerte sobre los recursos marinos pelágicos, ya que es probable que en este frente converjan especies pelágicas para desovar o alimentarse (Polovina *et al.*, 2001).

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 *Recolecta de muestras*

Aunque se recolectaron más de 30 espinas de cada una de las especies para cada una de las zonas, se seleccionaron aquellas de los individuos más grandes considerando que serían peces de mayor edad, los cuales podrían presentar un número mayor de anillos de crecimiento y por ende mayor información, por lo que solamente se utilizaron 15 espinas y músculos por especie en cada una (Tabla 1).

Tabla 1. Número de muestras colectadas por zonas y por especies.

<b>Zona</b>	<b>Especie</b>	<b>Año</b>	<b>Tejidos</b>	<b>Muestras</b>
B.C.S.	Marlin rayado	2012	Espinas	15
			Músculos	15
	Pez espada	2013	Espinas	15
			Músculos	14
ZTPN	Pez espada	2012	Espinas	15
			Músculos	13
California	Pez espada	2014	Espinas	14
			Músculos	14

#### 7.1.1 *Marlin rayado*

**Baja California Sur (B.C.S.).** Con la finalidad de tener certeza en la extracción de la cuarta espina se colectaron las aletas dorsales completas y una muestra de músculo de la parte dorsal de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, de organismos capturados por la flota deportiva en Cabo San Lucas, B.C.S. durante 2012 (Tabla 1). Se registró la información de la longitud maxilo-furcal (LMF, cm), longitud ojo-furca (LOF, cm; Fig. 2a), peso total (Kg), sexo (determinado por observación directa de las gónadas) y fecha de colecta.

### **7.1.2 Pez espada**

**Baja California Sur (B.C.S.).** Con la finalidad de tener certeza en la extracción de la segunda espina anal se colectaron las aletas anales completas y una muestra de músculo de la parte dorsal de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, de organismos capturados por la flota comercial que contaron con permiso para capturar pez espada durante 2013 (Tabla 1). La información de captura incluyó longitud maxilo-furcal (LMF en cm; Fig. 2b), fecha, sexo y posición geográfica de captura.

**Zona de transición del Pacífico Norte (ZTPN).** Al igual que en B.C.S. se colectaron las aletas anales completas de 15 organismos, capturados en cruceros de investigación realizados por Southwest Fisheries Science Center – NOAA de junio a diciembre de 2012 (Tabla 1), en colaboración con la Dra. Heidi Dewar. La información de captura incluyó en algunos casos longitud maxilo-furcal (LMF, cm) o longitud ojo-furca (LOF, cm), peso total (Kg), fecha, y posición geográfica de la captura. Asimismo, se colectó una muestra de músculo de la parte dorsal de cada uno de los organismos, con excepción de tres de ellos.

**California (CA).** Se colectaron 14 aletas anales, en cruceros de investigación realizados por Southwest Fisheries Science Center –NOAA en 2013 (Tabla 1), también en colaboración con la Dra. Heidi Dewar. La información de captura solamente incluyó la longitud ojo-furca (LOF, cm) en cuatro individuos y la posición de colecta. Asimismo, se tomó una muestra del músculo interno, de aproximadamente 1cm<sup>2</sup>, de cada una de las aletas de los organismos muestreados.

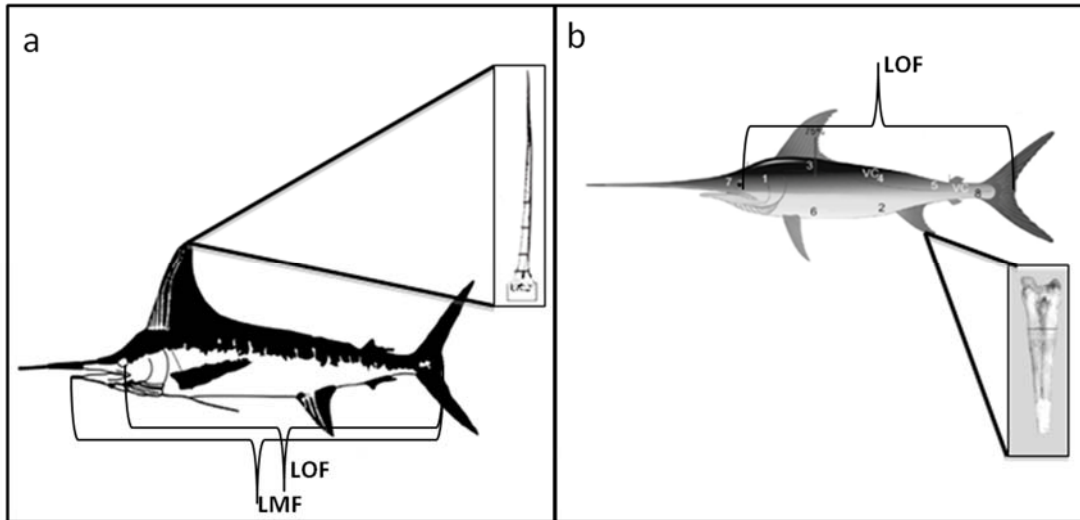


Figura 2. Especies muestreadas. a) Marlin rayado, se destaca la primera aleta dorsal y aumento de la cuarta espina dorsal (modificado de Kopf *et al.*, 2010). b) Pez espada, se destaca la aleta anal y aumento de la segunda espina anal (modificado de Cerna, 2009; Young *et al.*, 2010). LMF: Longitud maxilo-furca, LOF: Longitud ojo-furca.

## 7.2 Determinación de edad

De la aleta completa, se separó la espina deseada (cuarta dorsal o segunda anal), dependiendo de la especie. Cada una de ellas se limpió manualmente con la ayuda de un cuchillo y bisturí, extrayendo la mayor cantidad de tejido accesorio posible. Luego de que las espinas estuvieron limpias, se secaron en un horno convencional a 60 °C por 24 h.

La segunda espina anal es la principal estructura usada para la determinación de edad en el pez espada porque las bandas anuales de crecimiento son claramente visibles, y presentan una matriz más pequeña y un mayor diámetro por banda de crecimiento anual (Berkeley y Houde 1983). La edad de los individuos fue determinada siguiendo los protocolos de Ehrhardt *et al.* (1996), Sun *et al.* (2002) y DeMartini *et al.* (2007). Para determinar la talla a la cual los peces espada se consideran juveniles o adultos, se tomó la clasificación establecida por Arocha *et al.* (2003) en la cual, se consideran adultos a los individuos >6 años y tallas superiores a 177 cm de longitud maxilo-furcal (LMF), juveniles a los individuos de 2 – 6 años y tallas de entre 120 – 177 cm LMF, y animales de primer año a individuos de <2 años y tallas <120 cm LMF.

Las espinas en marlin rayado están compuestas de hueso cortical y la cuarta espina dorsal ha sido usada principalmente para determinar la edad y crecimiento de esta especie. Se utilizan estas estructuras en vez de otras partes duras ya que generalmente pueden ser extraídas más rápido y más fácil en comparación con otras estructuras duras, como los otolitos, los cuales son más pequeños y la visualización de los anillos es más difícil, y en el caso de las vértebras, estas al parecer no crecen proporcionalmente a la longitud del cuerpo (Hill *et al.*, 1989; Kopf *et al.*, 2010).

Con la finalidad de realizar los cortes de las espinas de acuerdo a las metodologías de Kopf *et al.* (2008) y DeMartini *et al.* (2007) para marlin rayado y pez espada respectivamente, se realizaron algunas mediciones, como fueron, longitud total de la espina, la amplitud máxima del cóndilo,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{4}$  de amplitud del cóndilo, diámetro de la espina donde se realizaría el corte y diámetro de la espina en la parte superior (Fig. 3a y b). Debido a que se utilizan diferentes espinas y zonas de corte para el conteo de las bandas de crecimiento en ambas especies, se describe el procedimiento efectuado en cada una de ellas.

En el caso del marlin rayado, los anillos de crecimiento tienen una mejor visualización en la cuarta espina dorsal realizando el corte a  $\frac{1}{4}$  de la amplitud máxima del cóndilo (Fig. 3A; Kopf *et al.* 2008, 2010, 2011). Ambas medidas se toman desde el punto de máxima amplitud del cóndilo hacia la parte distal de la espina (Fig. 3A). Mientras que en el caso del pez espada, el corte se realizó a  $\frac{1}{2}$  de la amplitud máxima del cóndilo. Lo anterior considerando algunos trabajos previos que determinaron que esta medida es la mejor para observar las marcas de crecimiento (Fig. 3B; Ehrhardt *et al.*, 1996; Sun *et al.*, 2002; DeMartini *et al.*, 2007).

Una vez determinado el punto de corte, se procedió a cortar las espinas utilizando una cortadora Isomet low speed saw (Buehler) con hoja de diamante. Este primer corte fue de un grosor de entre 0.5 a 1 mm, dependiendo del diámetro de la espina en este punto. Una vez obtenido el corte, se adhirió a un portaobjetos con resina acrílica Cytoseal 280 (Thermo Scientific, UK), y en el momento en que la resina estuvo seca por completo, se procedió a realizar el conteo de los anillos de crecimiento para cada



uno de los organismos de ambas especies (Fig. 3). Los anillos fueron contados usando un microscopio estereoscópico de luz transmitida a una magnificación de 10X, y digitalizadas para su posterior revisión y medición de grosor de cada uno de los anillos. Las lecturas fueron realizadas sin información previa del pez muestreado (ej. Longitud, peso, etc.) y con lectura duplicada por el mismo lector con una tiempo promedio de tres meses entre cada lectura.

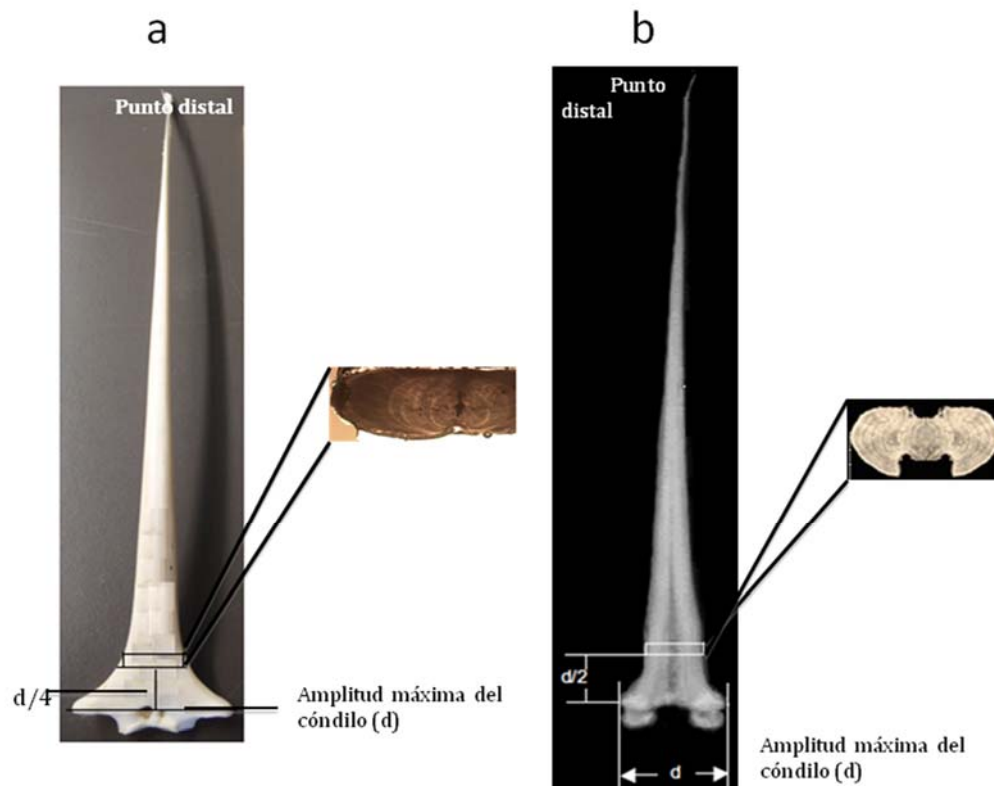


Figura 3. Mediciones realizadas a las espinas y sección transversal para lectura de anillos. a) Marlin rayado, cuarta espina dorsal y b) Pez espada, segunda espina anal.

### **7.3 Muestreo y análisis isotópico de los anillos de crecimiento en espinas de marlin rayado y pez espada**

El muestreo de los anillos de crecimiento fue el mismo para ambas especies. Luego de realizar el corte para la visualización y conteo de los anillos de crecimiento, se procedió a realizar un segundo corte con las mismas características del anterior, pero este de 5 mm de grosor. Este corte se realizó con la finalidad de extraer polvo de

hueso de las bandas de crecimiento, teniendo en cuenta el ancho de cada uno de los anillos de crecimiento observados.

Con la intención de no perder información por algún tipo de variación anual, y puesto que no todos los anillos de crecimiento presentaron el mismo ancho, se decidió hacer un muestreo sistemático. El grosor de cada una de las bandas sistemáticas fue de ~0.25 mm con una profundidad de 2 mm, teniendo en cuenta el diseño de los anillos de crecimiento en cada una de las espinas. En algunos casos se pudieron muestrear más de dos bandas sistemáticas por anillo (Fig. 3 y 4).

### **7.3.1 Comparación entre laboratorios**

Puesto que las muestras fueron colectadas en México y Estados Unidos, y ya que en cada país de muestreo se contaba con la facilidad de analizar las muestras, se decidió hacer uso de diferentes laboratorios.

Debido a esto, fue necesario determinar si esto representaría algún sesgo en los resultados obtenidos. Todas las muestras colectadas de B.C.S de marlin rayado y pez espada (a excepción de los músculos de pez espada), se analizaron en el Laboratorio de Isótopos Estables del CICIMAR-IPN; mientras que las muestras colectadas en CA y ZTPN, así como los músculos de pez espada colectados en B.C.S., se analizaron en el laboratorio Stable Isotope Facility de la Universidad de California en Davis, California, EUA.

En todas las corridas de análisis de las muestras, se incluyeron muestras control en ambos laboratorios. Las muestras control se obtuvieron de una sola espina de pez espada, esto con el fin de evitar algún sesgo en los resultados que tuviera que ver con diferencia en especie, individuo o sección en la cual se tomada la muestra. Por tal razón se hizo un corte a la espina y esta posteriormente fue pulverizada en su totalidad con un taladro de mano, incluyendo todas las marcas de crecimiento y homogenizado posteriormente por 10 minutos en vortex.

De esta manera, cada 10 a 11 muestras, se colocó una de estas muestras control para determinar si existían o no diferencias entre los laboratorios. Posteriormente los resultados fueron comparados mediante la aplicación de una prueba t de Student con un nivel de significancia de 0.05.

### **7.3.2 Prueba de desmineralización**

El hueso está compuesto de colágeno primario (orgánico) y de componentes de bioapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_2$ ; inorgánico), así como de lípidos y agua (Szpak, 2011). El colágeno tipo I constituye aproximadamente 20% de la masa y 35% del volumen del hueso, representando esto >90% de la matriz orgánica del mismo (Szpak, 2011). Debido a que la bioapatita típicamente contiene carbono inorgánico que difiere con la composición isotópica de la proteína, se sugiere que el componente de colágeno inorgánico debe ser separado previamente antes de realizar análisis de isótopos estables. Se utilizó ácido clorhídrico (HCl) 0.25N que disuelve rápidamente el polvo de hueso (Kerr *et al.*, 2006).

Sin embargo, los métodos de decalcificación pueden alterar la composición isotópica natural del colágeno, aunque hasta ahora, ningún experimento se ha realizado para demostrar el efecto de la desmineralización en los valores isotópicos de hueso de pez (Hussey *et al.*, 2012).

En estudios previos, que han analizado huesos de peces se ha mencionado la necesidad de desmineralizar las muestras (Kerr *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2012), mientras que otros estudios no lo consideran necesario (Estrada *et al.*, 2006). Se decidió probar el efecto que tiene desmineralizar el polvo de hueso de espinas de las aletas en las dos especies, para verificar si este procedimiento era o no necesario. Para llevar a cabo éste proceso y optimizar el protocolo, se colectó 1 g de polvo fino de hueso de una sola espina de aleta anal (pez espada) usando un taladro de mano, la muestra colectada se homogenizó usando vortex.

Esta muestra homogenizada se dividió en 20 réplicas, puesto que 10 es el número mínimo que se ha utilizado en otros estudios, de 7 mg de polvo de hueso cada una, dividiéndose de la siguiente manera, (a) Control: 10 réplicas sin ningún

tratamiento químico, y (b) 10 réplicas de polvo de hueso tratadas con HCl 0.25N por 36 h a 4°C siguiendo el protocolo de Kerr *et al.* (2006). El colágeno de cada réplica fue centrifugado a 6,600 rpm por 5 min. Una vez cumplido este ciclo se extrajo el HCl, para posteriormente lavar el sobrante con agua mili-Q. Este procedimiento se realizó hasta que cada una de las réplicas estuvo neutralizada (pH = 7), verificando esto con papel pH y por último todas las muestras se liofilizaron por 24h.

Para mantener relativamente la misma cantidad de proteína para medición de isótopos estables, 2 mg de polvo de hueso (muestras control) fueron pesados en cápsulas de estaño para análisis de isótopos estables, y 0.6 mg de colágeno extraído (tratamiento desmineralizado) también fueron pesadas para el mismo análisis.

Para determinar si había diferencias significativas en los valores isotópicos ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) del control y las réplicas tratadas con HCl se usó la prueba estadística t de student con un nivel de significancia de 0.05. La selección del tipo de prueba estadística se determinó mediante el análisis de los resultados.

### **7.3.3 Análisis isotópico de bandas de crecimiento**

En cada uno de los anillos de crecimiento se señalaron bandas sistemáticas de ~0.25 mm. De cada una de ellas, se extrajo polvo de hueso mediante el uso de un micro-procesador (New Wave Research, Electro Scientific Industries, Inc.), con un grosor de punta de 0.6 mm, ajustado a un microscopio Olympus SZ61 (Olympus corporation). Este procedimiento se llevó acabo en el Marine Analytical Laboratory de la Universidad de California Santa Cruz. Debido a que la punta tenía un grosor superior al de las bandas sistemáticas (~0.25 mm), el muestreo se realizó de afuera hacia adentro de la espina (Fig. 4), teniendo en cuenta siempre el grosor de cada uno de los anillos de crecimiento.

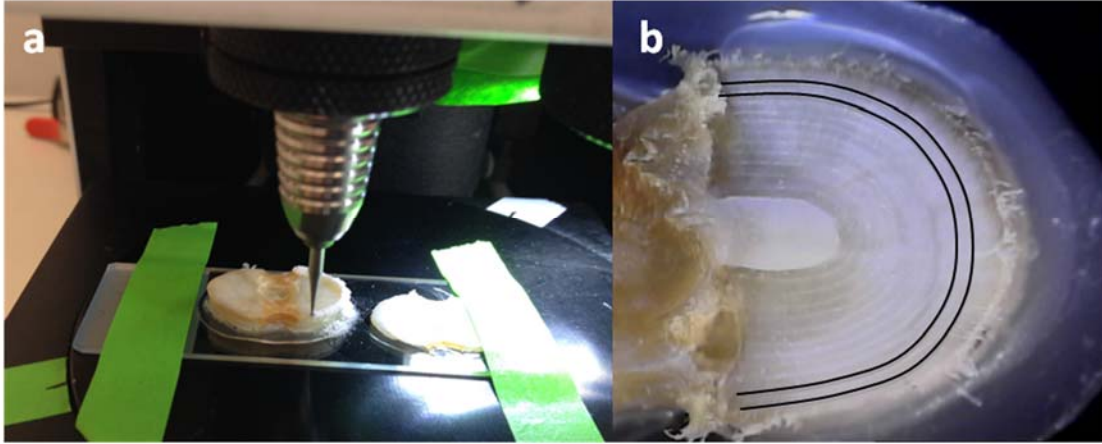


Figura 4. a). Procesamiento de las espinas de marlin rayado y pez espada. b) Imagen del muestreo en los anillos en las bandas de crecimiento en una espina de pez espada.

De cada una de estas bandas sistemáticas, se colectaron aprox. 2 mg de polvo de hueso, los cuales fueron encapsulados (micro-cápsulas de estaño de 3.3 x 5 mm) para ser analizados isotópicamente. Debido a que la extracción de lípidos puede afectar la composición isotópica de nitrógeno en tejidos (Pinnegar y Polunin, 1999; Logan y Lutcavage, 2008; Ruiz-Cooley *et al.*, 2011), y que la concentración de lípidos en hueso es baja (Toppe *et al.*, 2007), los lípidos no fueron removidos de las muestras de hueso.

La proporción de isótopos estables se determinó mediante la siguiente fórmula:

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

Donde  $\delta^{15}\text{N}$  o  $\delta^{13}\text{C}$ : es la razón isotópica en partes por mil (‰).

*R<sub>muestra</sub>*: es el cociente molar del isótopo pesado sobre el liviano que la muestra contenga.

*Restándar*: se refiere a una proporción estándar de material, aceptada internacionalmente, la cual es específica y diferente para cada isótopo analizado.

Los estándares reconocidos para estos elementos son el N<sub>2</sub> atmosférico para el nitrógeno y el carbonato cálcico del mineral conocido como Pee Dee Belemnita (PDB) para el carbono.

Los resultados se calibraron con estándares internacionales a través de mediciones repetidas, el cual generó un error estándar dentro de cada corrida de análisis de 0.07‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y 0.03‰ para  $\delta^{15}\text{N}$ .

Para determinar si había diferencias significativas en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre edades (marcas de crecimiento), se aplicaron análisis de varianza. Asimismo, para determinar si se usarían análisis de varianza paramétricos (ANOVA) o no paramétricos (Wilcoxon, Kruskal Wallis), se aplicaron previamente pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Bartlett), tanto en esta sección como en las siguientes.

#### ***7.4 Preparación y análisis isotópico de músculo en marlin rayado y pez espada***

De todos los individuos muestreados, se colectó tejido muscular de la región dorsal, aunque en el caso de las muestras de California no fue posible colectar tejido de esta región, por lo que éste se tomó de la aleta anal. Todas las muestras se preservaron a -20 °C hasta que fueron procesadas en el laboratorio. De las muestras antes mencionadas se extrajo ~1g de tejido, el músculo se lavó con agua destilada y se liofilizó en un sistema de secado FreeZone 2.5 Liter Benchtop Freeze Dry System, por 24 h. Posteriormente, se maceró con un mortero de ágata hasta obtener polvo fino.

##### ***7.4.1 Extracción de lípidos***

Debido a que no todas las muestras de músculo fueron colectadas de la misma parte del cuerpo de los animales (músculo de la parte dorsal y de la aleta), se decidió realizar extracción de lípidos a las muestras de pez espada, ya que no se sabe si las concentraciones de lípidos son iguales en las diferentes partes del animal, lo que podría generar un sesgo en los valores de la señal isotópica de carbono.

La extracción se realizó siguiendo el protocolo de Kim y Koch (2011), la cual consiste en colocar cada muestra en 2.5 ml de éter-petróleo, para posteriormente ser

colocadas en un sonicador por 15 minutos y finalmente centrifugadas a 6000 RPM en una centrifuga con temperatura controlada (10°C). Este procedimiento se realizó (cuatro veces) hasta que no hubo grasa visible en el solvente realizando así una extracción de lípidos más completa.

Se decidió utilizar éter-petróleo puesto que es un solvente no polar que permite minimizar la pérdida de aminoácidos esenciales en el tejido y a su alta eficiencia en la extracción de lípidos, en comparación con el solvente cloroformo-metanol que puede afectar los componentes proteicos del tejido (Kim y Koch, 2011).

#### **7.4.2 Análisis isotópico**

Las muestras de polvo de músculo se pesaron en una micro balanza de precisión, con pesos alrededor de 0.7 mg. Estas muestras fueron colocadas en micro-cápsulas de estaño de 3.3 x 5 mm para ser analizadas en el Stable Isotope Facility de la Universidad de California, Davis.

La proporción de isótopos estables se determinó usando la ecuación I. La desviación estándar (precisión) de las mediciones repetidas de los estándares internacionales dentro de corridas de análisis fue de 0.2‰ para carbono y 0.3‰ para nitrógeno.

Los valores isotópicos obtenidos en el músculo de ambas especies, se compararon con los valores isotópicos determinados en el último anillo de crecimiento muestreado en las espinas, para determinar la relación existente entre ambos tejidos. Lo anterior debido a que si se usa el promedio de hueso total, este puede estar sesgado puesto que integra la información de toda la vida de los organismos. Para determinar si había alguna relación lineal en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  entre el músculo y la última banda de crecimiento de la cuarta espina dorsal y la segunda espina anal se aplicó un modelo de regresión lineal.

#### **7.5 Comparación entre los valores isotópicos de pez espada colectados en B.C.S., CA y ZTPN**

Para determinar si había diferencia significativa entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  promedio del pez espada en las tres diferentes áreas de muestreo se aplicó un análisis de varianza.

#### ***7.6 Comparación de los valores isotópicos de marlin rayado y pez espada en B.C.S.***

Debido a que solamente se tienen valores isotópicos de marlin rayado para el área de Baja California Sur, estos fueron comparados con los valores isotópicos de pez espada colectados en esa misma zona. No se utilizaron las muestras colectadas en las otras zonas para evitar sesgos en la señal isotópica, la cual puede ser enmascarada por posibles diferencias en las señales base de las diferentes zonas.

Para determinar si existe diferencia en los valores isotópicos promedio entre las dos especies, se aplicó un análisis de varianza, tanto en los valores de músculos como en los de las espinas.



## 8. RESULTADOS

Los resultados se presentan por especie, y en el caso del pez espada se separan por zona de muestreo.

### 8.1 Comparación entre laboratorios

En total se analizaron 22 muestras control, polvo de hueso de espina pez espada, en el laboratorio Stable Isotope Facility de la Universidad de California en Davis, con valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  de 10.5‰ y de  $\delta^{13}\text{C}$  -14.3‰. Mientras que 25 muestras control fueron analizadas en el Laboratorio de Isótopos Estables del CICIMAR-IPN, con valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  de 10.8‰ y de  $\delta^{13}\text{C}$  de -14.1‰. No existieron diferencias significativas entre los laboratorios tanto para los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $t = -7.75$ ,  $p > 0.05$ ) como para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $t = -2.79$ ,  $p > 0.05$ ).

### 8.2 Prueba de desmineralización

Los resultados de la prueba de desmineralización variaron dependiendo del isótopo analizado. No se presentaron diferencias significativas ( $t = -0.55$ ,  $p > 0.05$ ) en los valores de  $^{15}\text{N}$  entre el control, polvo de hueso de pez espada ( $11.85 \pm 0.06\text{‰}$ ) y las muestras de hueso desmineralizadas ( $11.87 \pm 0.1\text{‰}$ ). Sin embargo, los valores de  $^{13}\text{C}$  fueron significativamente diferentes ( $t = -16.93$ ,  $p < 0.05$ ) entre las muestras control ( $-16.55\text{‰}$ ) y desmineralizadas ( $-15.69\text{‰}$ ) con un aumento de 0.86‰. En promedio el rendimiento del colágeno después de la descalcificación de las muestras ( $n = 10$ ) fue  $10.3 \pm 2.2\%$ , ya que el peso inicial para las muestras desmineralizadas fue 7.05 mg ( $\pm 0.03$ ) y el colágeno recuperado fue 0.73 mg ( $\pm 0.15$ ).

### 8.3 Marlin rayado – B.C.S.

El muestreo de bandas sistemáticas en la cuarta espina dorsal de 15 marlines rayados colectado en B.C.S. produjo un total de 95 muestras para análisis de isótopos estables. El intervalo de longitud maxilo-furcal (LMF) de marlin rayado fue de 191 a 227 cm; se incluyó este intervalo de tallas debido a que se esperaba que los peces más grandes presentaran un número mayor de bandas de crecimiento (Tabla 2). El

hecho de que se presenten más hembras que machos es debido a que se seleccionaron los individuos más grandes sin tener en consideración la proporción de sexos.

Tabla 2. Valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de espinas y músculo de marlin rayado colectados en B.C.S. en 2012. La edad representa número de anillos de crecimiento. Las proporciones de isótopos estables fueron medidas en bandas sistemáticas para cada pez.

ID Peces	Sexo	Edad	LMF (cm)	Banda sist.	Espinas		Músculo	
					Promedio $\delta^{15}\text{N}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	Promedio $\delta^{13}\text{C}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
5549	M	4	191	6	13.49( $\pm 0.15$ )	-15.43 ( $\pm 1.02$ )	18.22	-17.42
6022	M	4	210	4	15.34( $\pm 0.17$ )	-15.38 ( $\pm 0.82$ )	18.97	-18.00
5653	H	5	194	6	15.63( $\pm 0.21$ )	-15.84 ( $\pm 0.59$ )	18.83	-18.14
5550	H	5	195	5	17.32( $\pm 0.38$ )	-13.96 ( $\pm 0.87$ )	20.50	-15.97
5640	M	5	197	5	13.59( $\pm 0.13$ )	-18.26 ( $\pm 2.06$ )	18.29	-19.59
5933	H	5	207	6	16.17( $\pm 0.16$ )	-15.57 ( $\pm 1.90$ )	19.74	-18.31
6058	M	6	196	7	14.62( $\pm 0.32$ )	-16.63 ( $\pm 1.30$ )	19.09	-17.87
5697	H	6	198	7	16.33( $\pm 0.36$ )	-15.67 ( $\pm 0.34$ )	18.68	-18.53
5924	H	6	202	6	11.49( $\pm 0.24$ )	-15.36 ( $\pm 0.38$ )	16.25	-16.30
5728	H	6	206	8	12.28( $\pm 0.08$ )	-15.71 ( $\pm 1.06$ )	17.36	-19.62
5527	M	6	210	6	14.52( $\pm 0.48$ )	-14.84 ( $\pm 0.39$ )	19.19	-18.34
5743	H	6	212	7	13.84( $\pm 0.33$ )	-15.70 ( $\pm 1.18$ )	16.90	-18.42
5712	H	6	216	6	15.53( $\pm 0.23$ )	-16.40 ( $\pm 1.19$ )	18.96	-19.46
5925	H	6	227	7	13.36( $\pm 0.19$ )	-14.31 ( $\pm 1.25$ )	17.25	-16.06
5698	H	8	219	9	13.19( $\pm 0.13$ )	-15.97 ( $\pm 1.20$ )	19.04	-20.37

ID = Número que identifica al individuo, M= Machos, H= Hembras, LMF: Longitud maxilo-furcal, Banda sist.: Banda sistemática.

El promedio de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de las muestras de la cuarta espina dorsal fueron  $14.34 \pm 1.57\text{‰}$  y  $-15.69 \pm 1.39\text{‰}$ , respectivamente. El valor promedio de C/N fue mayor en espina dorsal que en músculo (Tabla 3). Basado en la determinación de edad de las bandas de crecimiento de la espina dorsal, para marlin rayado se determinaron cuatro edades diferentes (Tabla 3). La edad más frecuente en 2012 fue la edad 6 ( $n = 8$ ) y el individuo más viejo fue de 8 años (Tabla 3). La determinación de la edad en picudos puede ser afectada por la presencia de una zona vascularizada en la espina dorsal (Kopf y Davie, 2011), aunque ésta fue observada en las espinas analizadas, no fue muy extensa, y pudieron detectarse todos los anillos por lo que la estimación de la edad se puede considerar precisa.

Tabla 3. Edad, longitud maxilo-furcal (LMF) y valores  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo y espina dorsal de marlin rayado por edad. No. de muestras, representan el número de muestras por cada edad.

	Edad	No. de muestras <i>n</i>	LMF (cm) (±DE)	Músculo		Espina dorsal	
				$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<i>K. audax</i>		15					
	4	2	195.5(6.3)	-17.7 (±0.4)	18.5 (±0.5)	-15.4 (±0.9)	14.6(±1.2)
	5	4	198.2(5.9)	-18.0 (±1.5)	19.3 (±0.9)	-15.0 (±1.5)	15.9(±1.7)
	6	8	208.3(10.1)	-18.0 (±1.3)	17.9 (±1.1)	-15.6 (±1.9)	14.7(±1.7)
	8	1	219	-20.3	19.0	-15.5	13.2
<b>Promedio clases de edades</b>	---	15	---	-18.1 (±1.3)	18.4 (±1.1)	-15.4 (±1.6)	14.9(±1.7)
<b>Promedio C/N</b>	---	---	---		3.11		3.87

No se encontró una relación lineal entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo (m) y espina dorsal (ed) *versus* longitud maxilo-furcal (LMF) ( $R^2_{\text{N:m-LMF}} = 0.02$ ,  $p < 0.05$ ;  $R^2_{\text{N:ed-LMF}} = 0.08$ ,  $p < 0.01$ ; Fig. 5), tampoco entre los valores isotópicos de carbono en

músculo y espina dorsal en función de LMF ( $R^2_{C:m-LMF} = -0.05$ ,  $p < 0.001$ ;  $R^2_{C:ed-LMF} = 0.10$ ,  $p < 0.01$ ; Fig. 6).

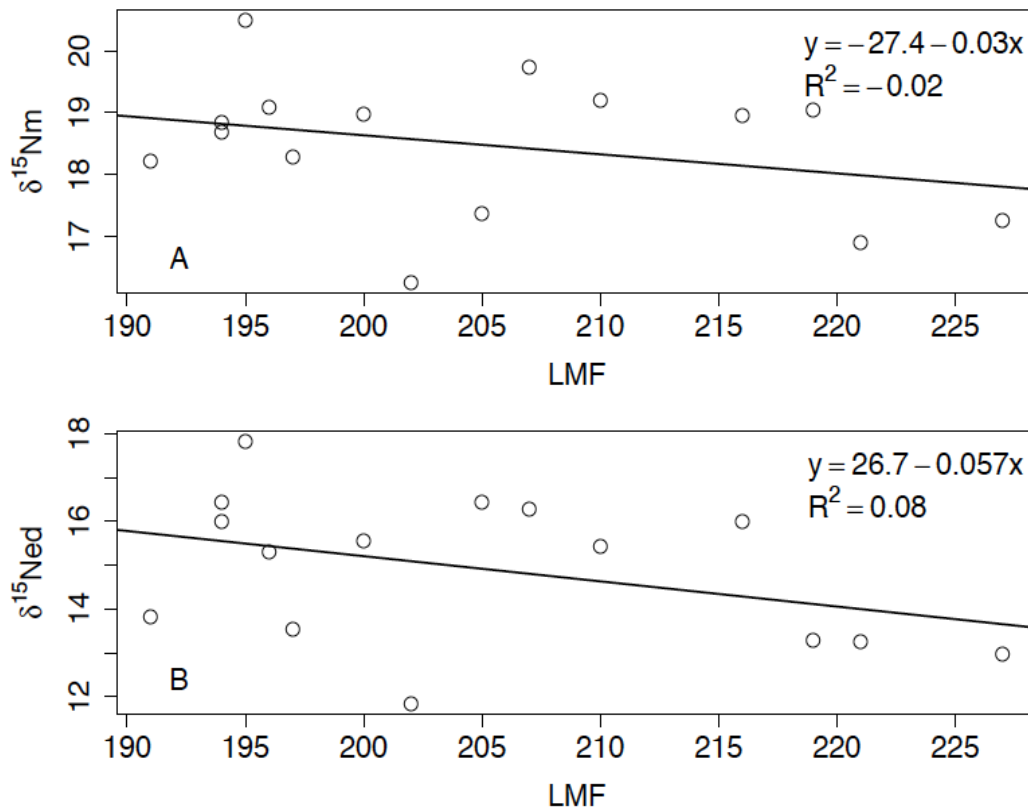


Figura 5. Relación entre longitud (LMF; cm) y (A) valores de  $\delta^{15}N$ (‰) en músculo (m) y (B) valores de  $\delta^{15}N$ (‰) en espinas dorsal (ed) en *Kajikia audax*.

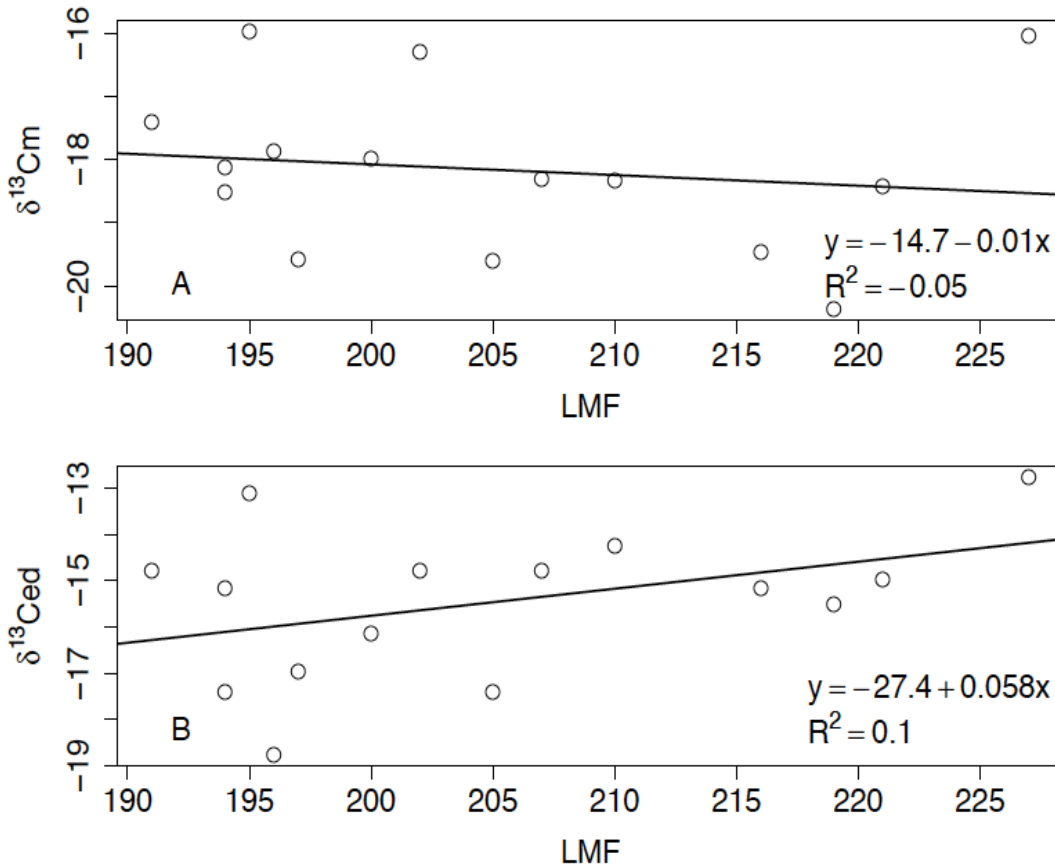


Figura 6. Relación entre longitud maxilo-furcal (LMF; cm) y (A) valores de  $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en músculo (m) y (B) valores de  $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de espinas dorsal (ed) en *Kajikia audax*.

El muestreo de las bandas de crecimiento de la cuarta espina dorsal, permitió reconstruir la historia alimenticia del marlin rayado. No obstante, no se encontró una tendencia clara en los valores  $\delta^{15}\text{N}$  en función de la edad de los animales (Fig. 7A).

Se estableció que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  presentan una distribución normal ( $W = 0.97$ ,  $p > 0.05$ ) y sus varianzas son homogéneas ( $\chi^2_{(7)} = 5.68$ ;  $p > 0.05$ ), por lo que para determinar si había diferencias significativas entre los valores se aplicó un análisis de ANOVA.

Aunque se presentó una disminución en los valores de nitrógeno en los peces más viejos, la diferencia en los valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  entre las clases de edad no

fue estadísticamente significativa ( $F_{(7,87)} = 0.227, p > 0.5$ ). Estos pequeños cambios que se observaron en el patrón general a través de la vida de los organismos fueron también evidentes en los perfiles individuales de nitrógeno, en los cuales los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  permanecen casi constantes, con una variación menor a 2‰ (Fig. 8).

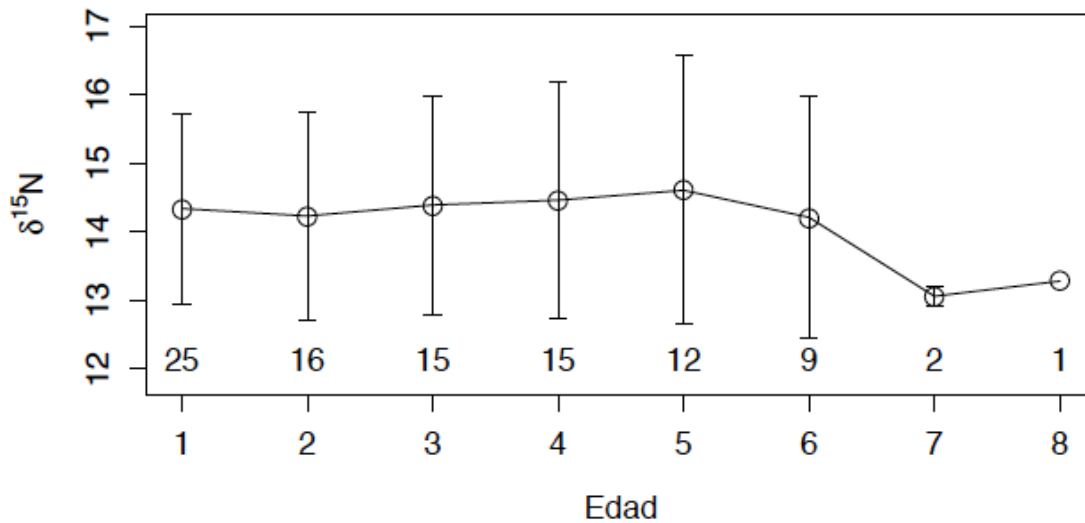


Figura 7. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de 15 marlines rayados. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

Los perfiles isotópicos individuales también revelaron que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en la mayoría de los organismos (nueve de 15) tienden a aumentar, aunque este aumento no excede 1‰ (Fig. 8).

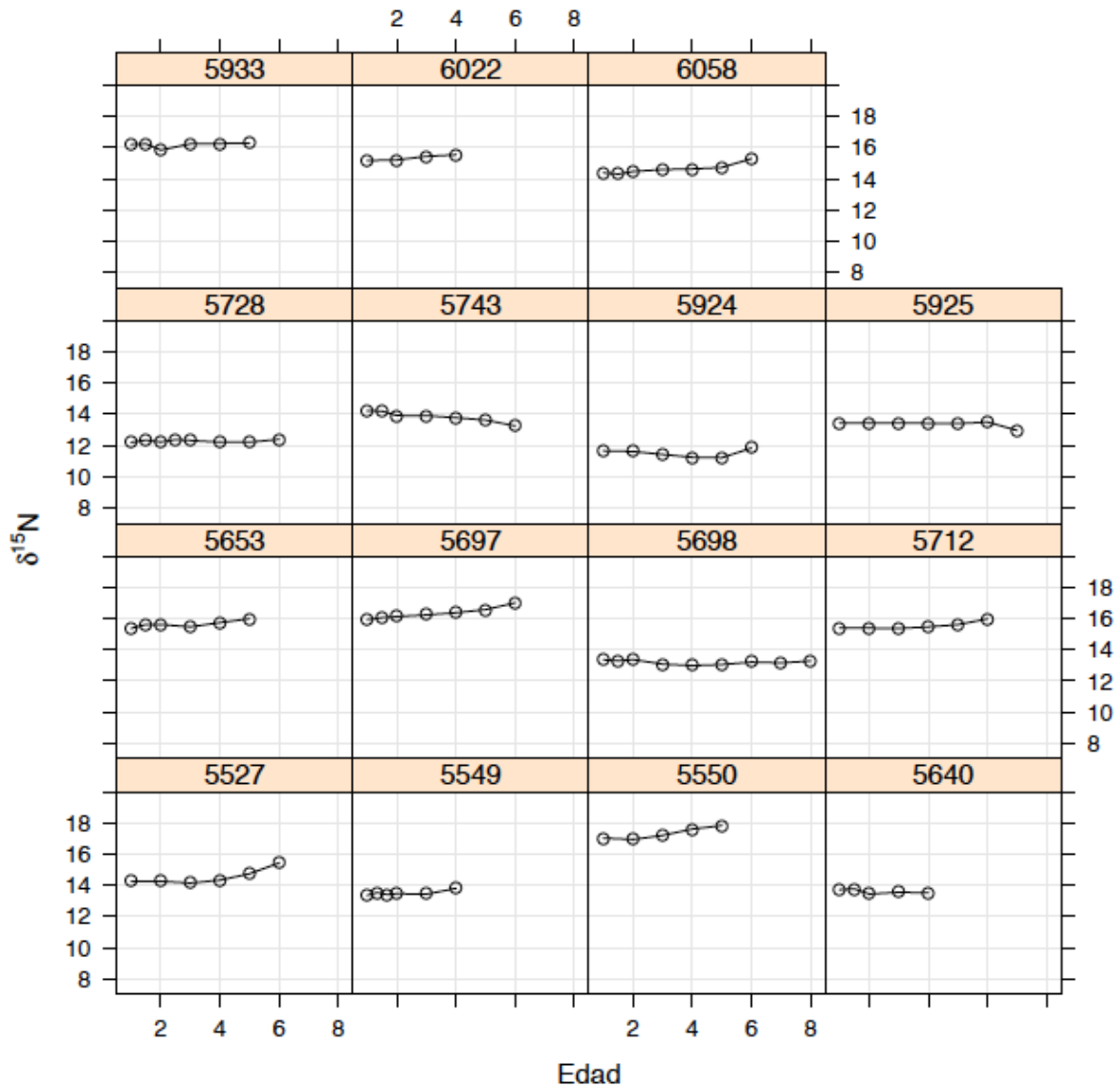


Figura 8. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de 15 marlines rayados.

Aunque la variación en los valores isotópicos a través de la vida de los peces fue baja, los valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  de los diferentes animales mostraron una variación de ~6‰ (Tabla 2; Fig. 9).

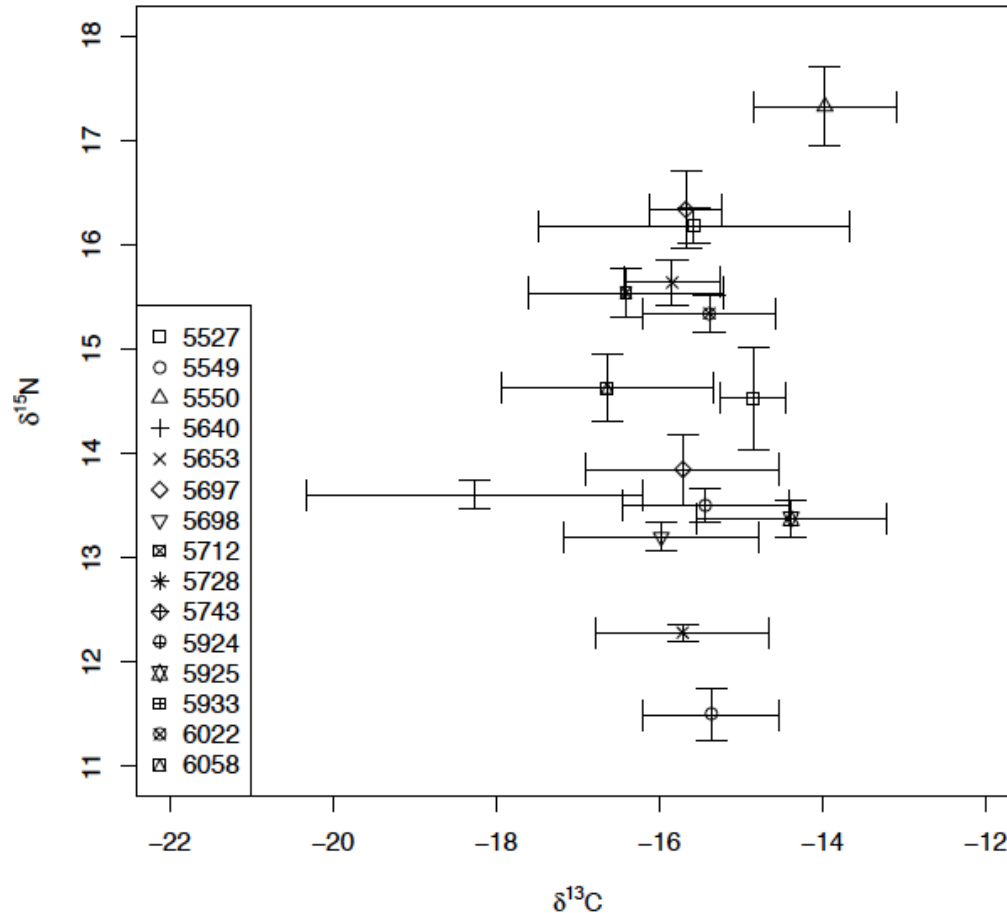


Figura 9. Valores isotópicos promedio ( $\pm$ DE) de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) en espina de 15 marlines rayados.

Hay una clara tendencia en la cual los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentan en función de la edad (Fig. 10). Aunque al final se presenta una disminución en las últimas clases de edad, se considera que debido a que el número de muestras es bajo estos valores pueden no ser representativos.

Se determinó que los valores  $\delta^{13}\text{C}$  no presentaron una distribución normal ( $W = 0.94$ ,  $p < 0.001$ ) y sus varianzas no fueron homogéneas ( $\chi^2_{(7)} = 15.19$ ;  $p < 0.05$ ).

Aunque no se observó una evidente tendencia al aumento de los valores en función de la edad, los valores promedio no fueron significativamente diferentes ( $H_{(7,87)} = 39.02$ ,  $p < 0.01$ ) entre las clases de edades, aunque alcanzaron una variación de



hasta 2‰. Asimismo, esta tendencia se vio reflejada en los perfiles isotópicos individuales de  $\delta^{13}\text{C}$ .

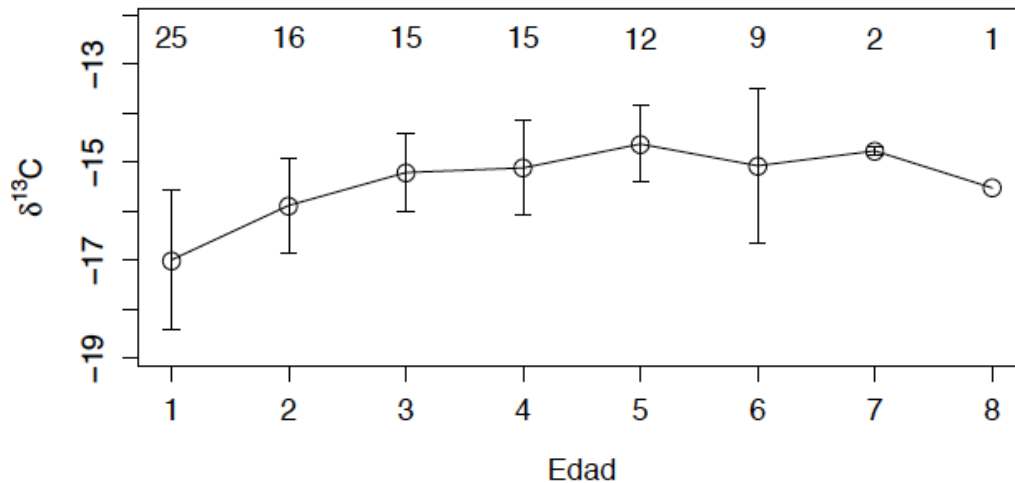


Figura 10. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{13}\text{C}$ (‰) de espina de 15 marlines rayados. Los números en la parte superior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

Estos perfiles presentaron tres tendencias diferentes. Para la mayoría de los animales (nueve de 15 individuos) los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tendieron a aumentar a medida que los individuos crecieron y la variación entre cada banda sistemática puede alcanzó hasta 3‰ en un mismo individuo. En el segundo tipo de tendencia (que presentaron cuatro de 15 individuos), los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentaron, la variación en los valores fue de hasta 4‰, y después de la edad 2 hubo pocos cambios (Fig. 11). En el último tipo de tendencia los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentaron hasta cierta edad y luego disminuyeron. La variación en los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  entre los 15 peces fue de alrededor de 4‰ (Tabla 2; Fig. 9).

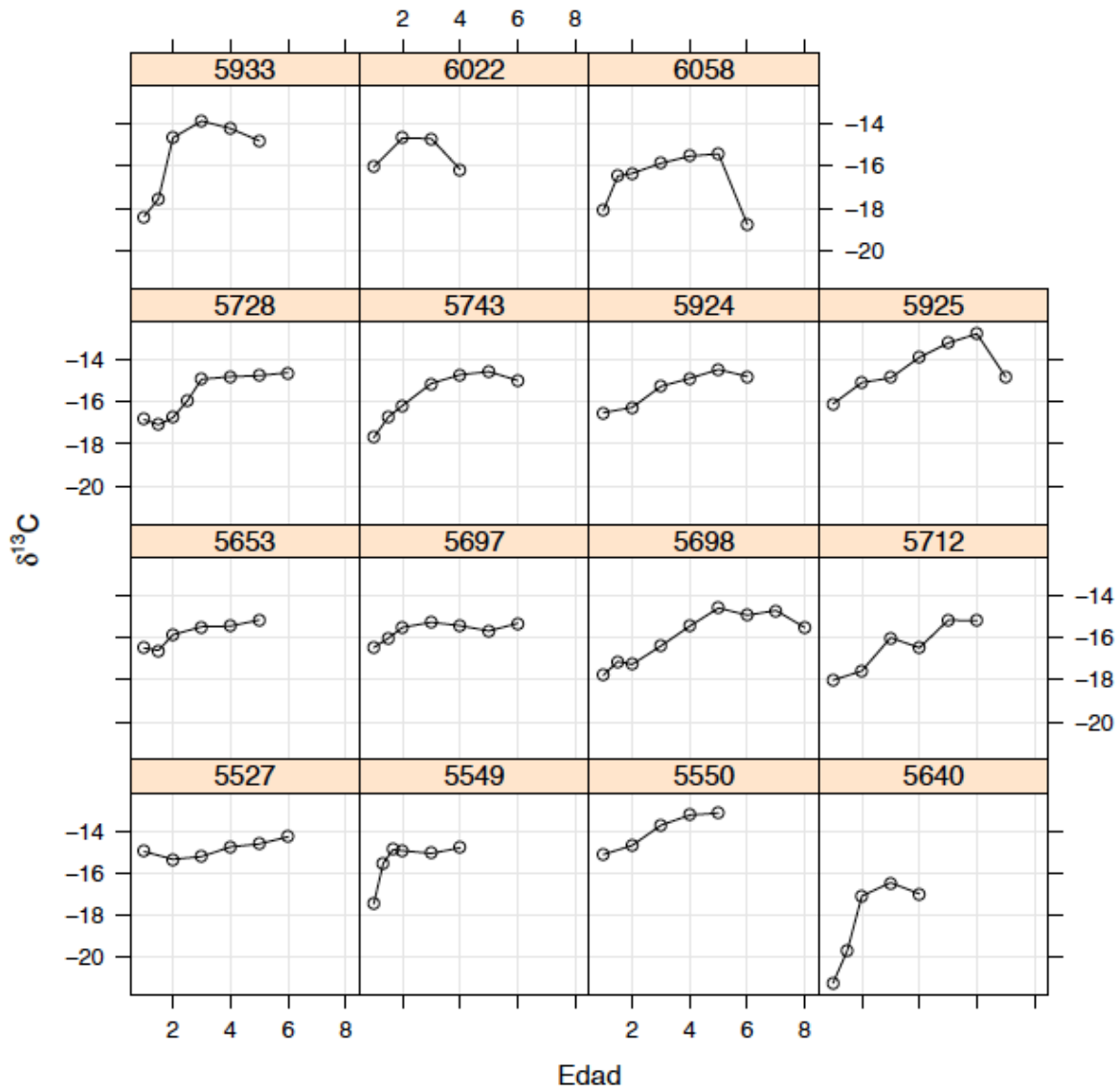


Figura 11. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  en espina de 15 marlines rayados.

Se presentó una variación de casi 5‰ entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo, y de más de 4‰ en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los marlines rayados capturados en B.C.S. (Fig. 12).

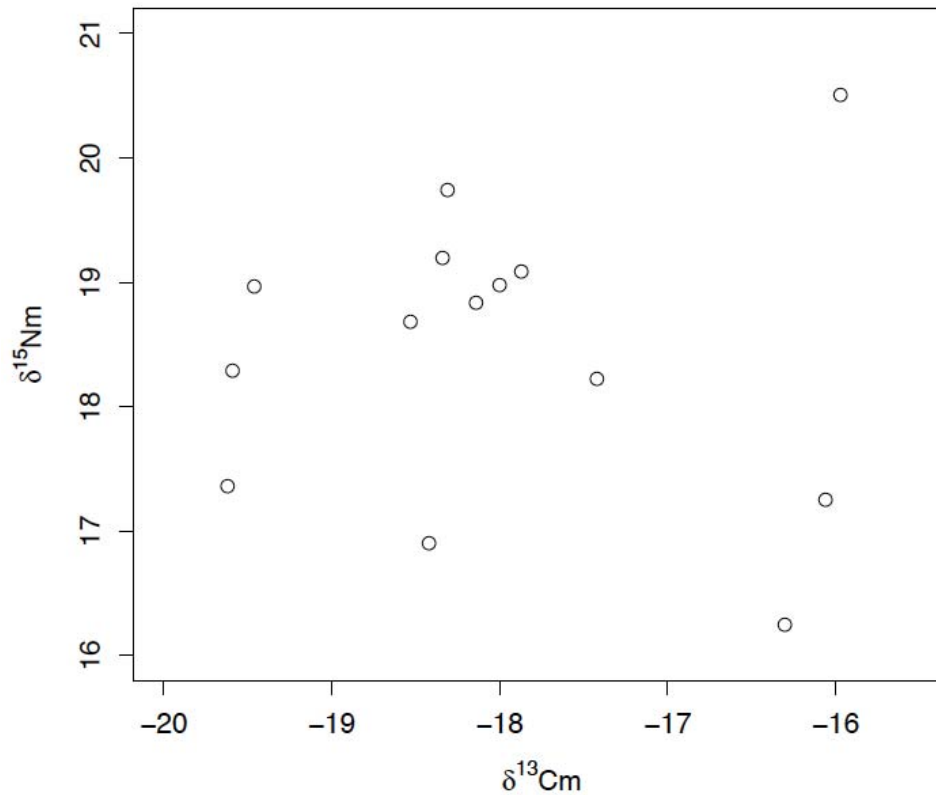


Figura 12. Valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  y  $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$  de músculo de 15 marlin rayados colectados en Baja California Sur.

Se encontró una relación significativa entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre el músculo (m) y la última banda de crecimiento de la cuarta espina dorsal (ed) ( $R^2_{\text{N:m-ed}} = 0.716$ ,  $p < 0.001$ ; Fig. 13A). La relación entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  del músculo (m) y la cuarta espina dorsal (ed) no fue significativa ( $R^2_{\text{N:m-ed}} = 0.247$ ,  $p < 0.05$ ; Fig. 13B). Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $t = 6.78$ ;  $p < 0.001$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $t = -4.96$ ;  $p < 0.001$ ) en el músculo y espina dorsal fueron significativamente diferentes. El  $^{15}\text{N}$  fue más enriquecido en músculo (18.4‰) que en espina dorsal (14.6‰). Ya que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  analizados en espina y músculo presentaron una correlación significativa, éstos fueron utilizados para obtener una ecuación que estimará los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo (Fig. 13A).

Obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\delta^{15}\text{N}_m = 10.1 + 0.56 (\delta^{15}\text{N}_{ed})$$

(b)

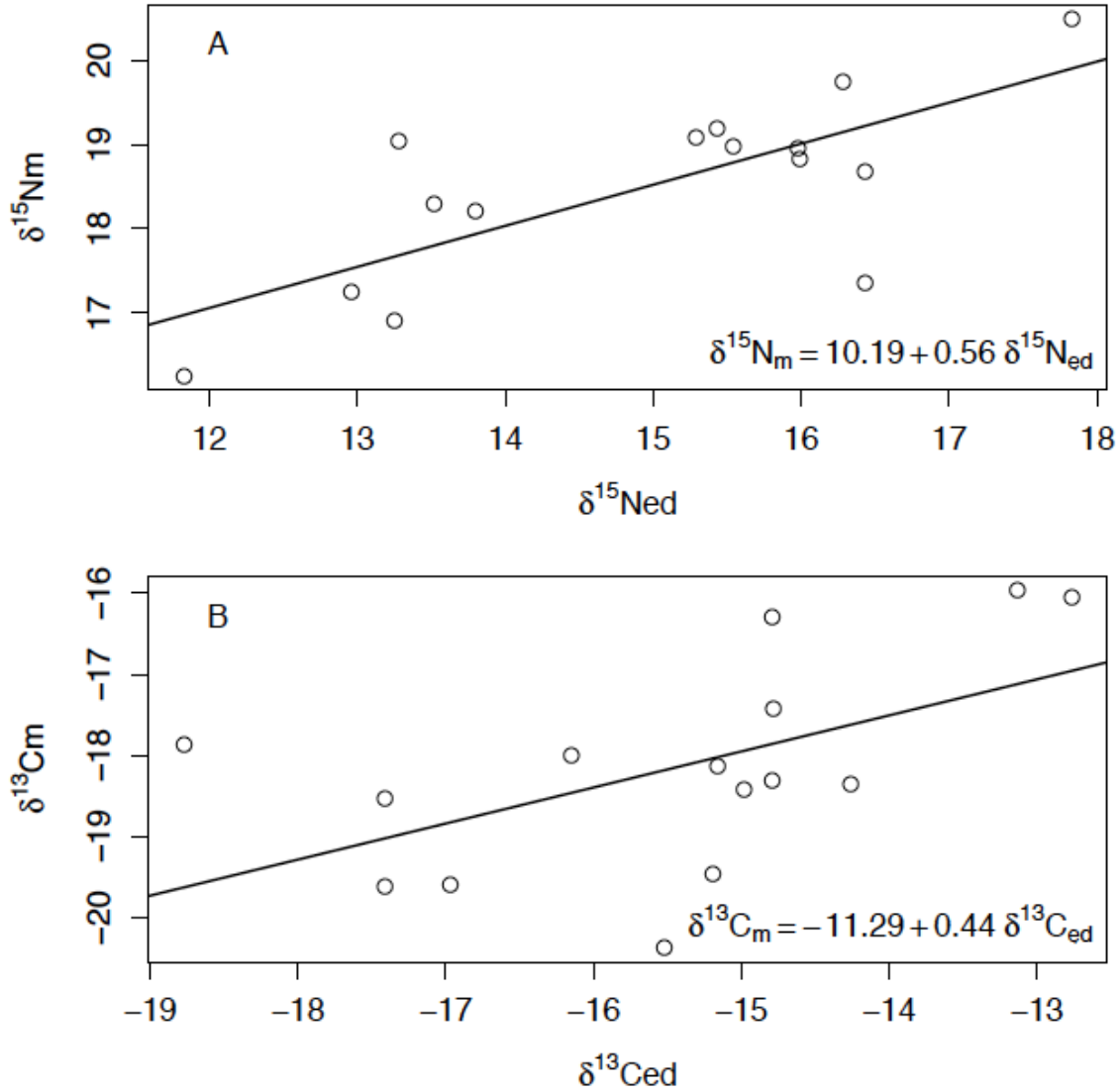


Figura 13. Relación de los valores de (A)  $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$  y (B)  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  entre cuarta espina dorsal (ed) y el músculo (m) de *Kajikia audax*.

#### **8.4 Pez espada**

Se analizaron un total de 44 espinas anales y 41 músculos de organismos colectados en las diferentes áreas (Tabla 1). El promedio de longitud maxilo-furcal (LMF) de estos peces fue de 162.4 cm, en un rango de 80 cm a 213 cm. El promedio ( $\pm$ DE) de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  fue de  $12.6 \pm 2.30\text{‰}$ , mientras que el promedio ( $\pm$ DE) de  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-14.7 \pm 1.26\text{‰}$ . Aunque la determinación de la edad en picudos puede ser afectada por la presencia de una zona vascularizada en la segunda espina anal (Berkeley y Houde 1983). La estimación de la edad se considera precisa, ya que solamente se presentó una pequeña zona vascularizada en las espinas de esta especie.

A continuación se describen los resultados encontrados para esta especie, en las tres diferentes zonas de muestreo.

##### **8.4.1 Baja California Sur**

Se analizaron 147 bandas sistemáticas en 15 espinas anales de diferentes peces espada colectados en B.C.S. El rango de longitud maxilo-furcal (LMF) del pez espada fue de 143 a 213 cm (Tabla 4).

Debido a que las muestras de esta zona fueron colectadas por la flota comercial, no se tienen el registro del sexo de los individuos, exceptuando solamente cuatro de ellos.

Tabla 4. Valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de bandas sistemáticas (0.26 – 0.27 mm) de espina anal y músculo en cada uno de los peces espada colectados en B.C.S. en 2013. La edad se representa por el número de anillos de crecimiento.

ID Peces	Sexo	Edad	LMF (cm)	Banda sist.	Espinas		Músculos	
					Promedio $\delta^{15}\text{N}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	Promedio $\delta^{13}\text{C}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
32	---	3	143	5	14.8( $\pm$ 0.22)	-17.1 ( $\pm$ 0.60)	14.94	-16.43
40	---	4	150	9	12.8( $\pm$ 0.49)	-14.7 ( $\pm$ 0.73)	14.59	-17.89
31	---	5	179	8	16.2( $\pm$ 0.19)	-15.5 ( $\pm$ 0.42)	---	---
38	---	5	156	9	14.3( $\pm$ 0.34)	-14.2 ( $\pm$ 0.26)	15.05	-17.43
42	---	5	156	12	15.9( $\pm$ 0.42)	-15.4 ( $\pm$ 0.22)	16.63	-23.01
56	M	5	160	9	14.1( $\pm$ 0.48)	-14.7 ( $\pm$ 1.18)	16.68	-17.77
50	H	6	165	14	13.4( $\pm$ 0.54)	-13.8 ( $\pm$ 0.36)	16.93	-18.77
37	---	7	144	9	14.8( $\pm$ 1.79)	-14.7 ( $\pm$ 0.24)	15.51	-16.14
39	---	7	172	11	15.0( $\pm$ 0.30)	-15.6 ( $\pm$ 0.32)	16.07	-19.39
43	---	7	180	12	16.0( $\pm$ 0.41)	-15.2 ( $\pm$ 0.35)	18.01	-18.76
58	H	7	180	10	14.5( $\pm$ 0.22)	-15.4 ( $\pm$ 0.58)	17.99	-17.99
53	H	7	165	9	14.9( $\pm$ 0.19)	-13.9 ( $\pm$ 0.25)	16.86	-17.90
48	M	8	210	9	14.5( $\pm$ 0.31)	-14.8 ( $\pm$ 0.30)	18.15	-18.50
36	---	9	168	10	15.5( $\pm$ 0.34)	-14.7 ( $\pm$ 0.28)	16.32	-17.28
54	H	9	213	11	13.6( $\pm$ 0.78)	-14.0 ( $\pm$ 1.62)	18.13	-17.65

ID = Número que identifica al individuo, M: Macho; H: Hembra; LMF: Longitud maxilo-furcal; Banda sist.: Banda sistemática.

Los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\pm\text{DE}$ ) de la segunda espina anal de los peces espada colectados en B.C.S. fueron  $-14.8 \pm 0.96\text{‰}$  y  $14.7 \pm 1.13\text{‰}$ , respectivamente. Basado en la determinación de edad de los anillos de crecimiento de la espina anal, se determinaron siete categorías de edad (Tabla 5). El intervalo de edad

de estos peces fue de 3 a 9 años, siendo la edad 7 la más frecuente ( $n = 5$ ; Tabla 5). El valor promedio de la proporción C/N de los músculos fue mayor que el de espina anal (Tabla 5).

Tabla 5. Edad, longitud (LMF) y valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en pez espada capturado en B.C.S. No. de muestras, representa el número de muestras por edad.

	Edad	No. de muestras	LMF (cm) ( $\pm$ DE)	Músculo		Espina anal	
		<i>n</i>		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<i>X. gladius</i>		15					
	3	1	143	-16.4	14.9	-17.1	14.8
	4	1	150	-17.9	14.6	-14.7	12.8
	5	4	162.7( $\pm$ 10.9)	-19.4	16.1	-14.9	15.1
	6	1	165	-18.7	16.9	-13.8	13.4
	7	5	168.2( $\pm$ 17.1)	-18.0	16.9	-14.9	15.0
	8	1	210	-18.5	18.1	-14.8	14.5
	9	2	190.5( $\pm$ 31.8)	-17.5	17.2	-14.3	14.5
<b>Promedio de todas las clases de edades</b>	---	15	---	-18.20	16.6	-14.8	14.7
<b>Promedio C/N</b>	---	---	---	3.7		3.5	

Se determinó una relación lineal positiva entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de músculo (m) y la longitud (LMF) ( $R^2_{\text{N:m-LMF}} = 0.63$ ,  $p > 0.05$ ; Fig. 14A); mientras que una relación lineal negativa fue determinada entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la segunda espina anal (ea) y la LMF ( $R^2_{\text{N:ea-LMF}} = -0.088$ ,  $p < 0.5$ ; Fig. 14B). Asimismo, se encontró un valor de coeficiente de determinación bajo entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo (m) y la segunda espina anal (ea) en función de LMF ( $R^2_{\text{C:m-LMF}} = 0.12$ ,  $p < 0.5$ ;  $R^2_{\text{C:ea-LMF}} = 0.13$ ,  $p < 0.5$ ; Fig. 15).

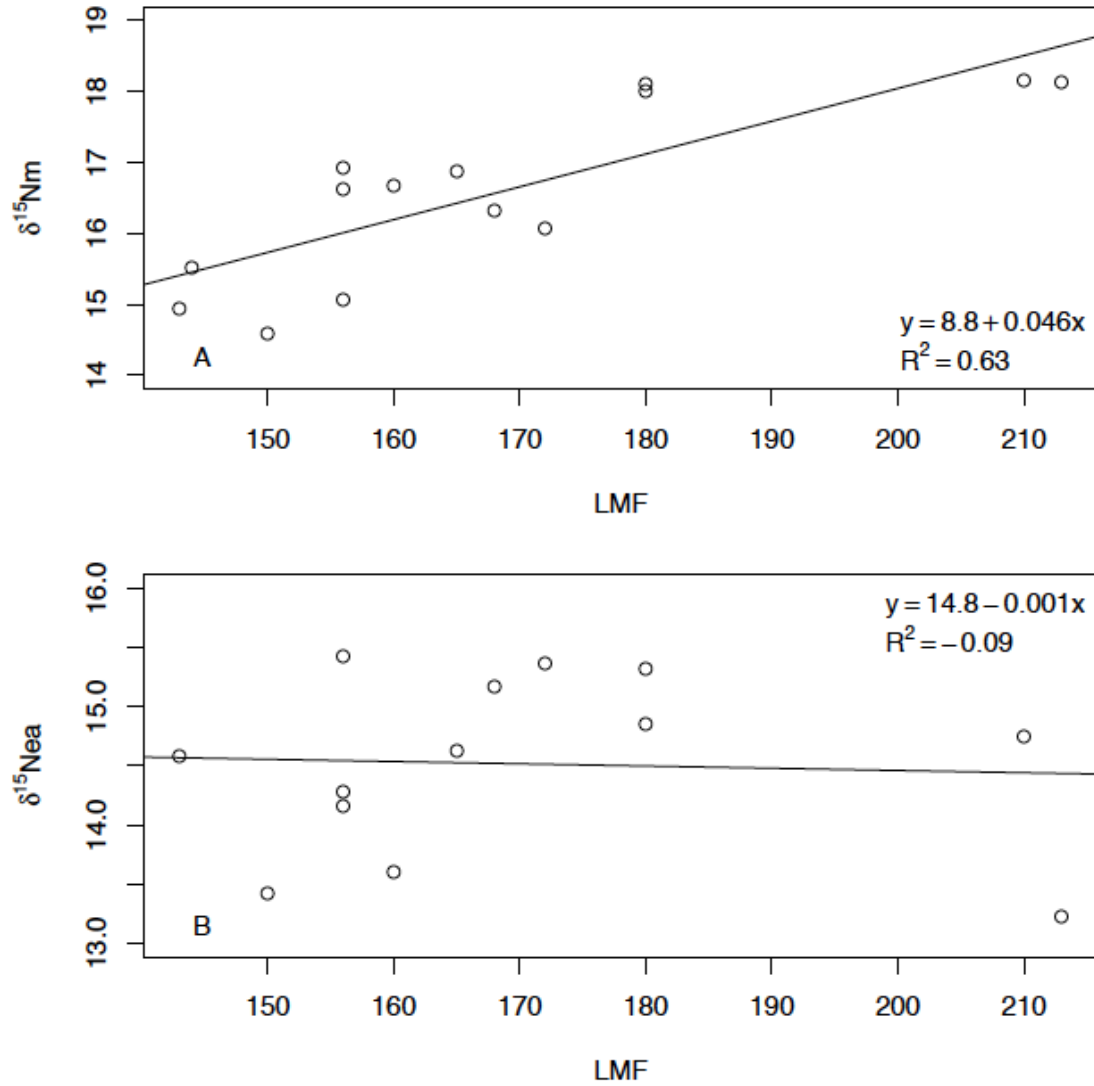
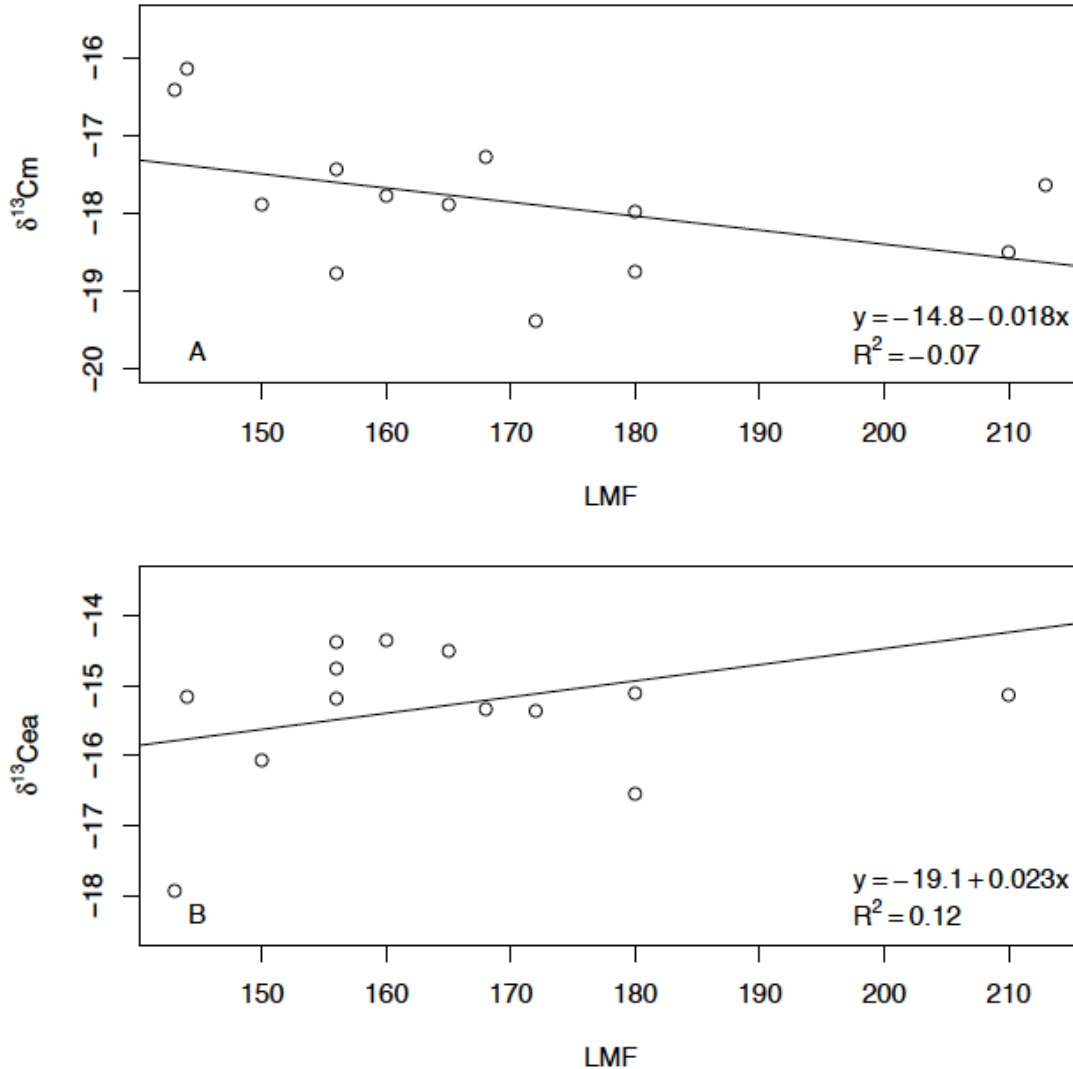


Figura 14. Relación de la longitud (LMF; cm) y (A) los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en músculo (m) y (B) los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de espina anal (ea) en *Xiphias gladius* capturados en Baja California Sur.





promedio de  $\delta^{15}\text{N}$ , encontrando que no hay diferencias significativas entre las clases de edades ( $H_{(8,138)} = 1.946, p > 0.05$ ).

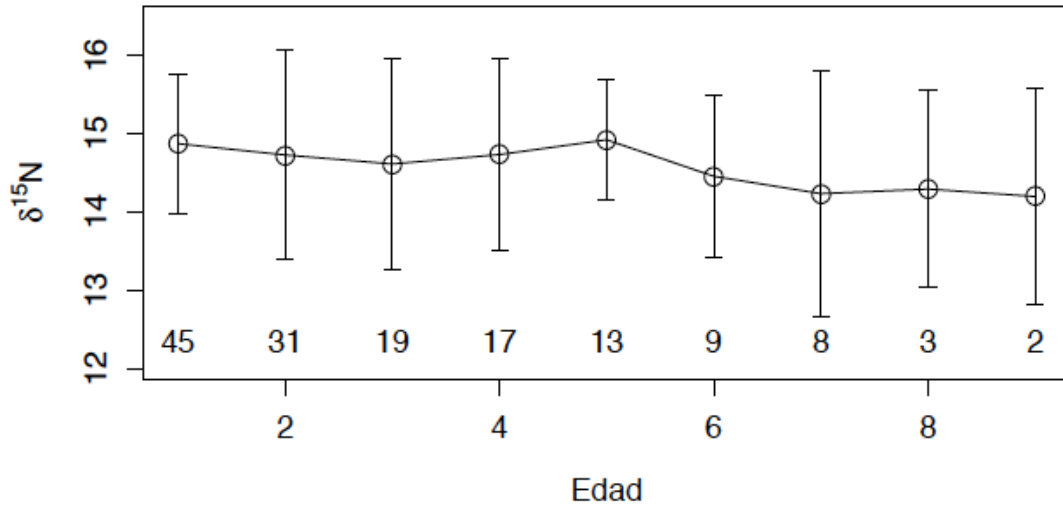


Figura 16. Perfil general de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en espina de 15 peces espada capturados en Baja California Sur. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

Los perfiles isotópicos individuales revelaron que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en siete de los organismos (47%) no presentan cambios abruptos a través de la vida, con una variación de  $\sim 1\%$ . La tendencia en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en otros cinco animales (33%) mostró que los valores tienden a disminuir hasta  $1.5\%$ . Los últimos tres individuos (20%) presentaron variación en sus valores con dos tendencias particulares, la primera en forma de “U”, mientras que la segunda tendencia fue una “U invertida” con variación en los valores de hasta  $2\%$ , y de hasta  $5\%$ , respectivamente. Este último representó el organismo con mayor cambio observado (Fig. 17).

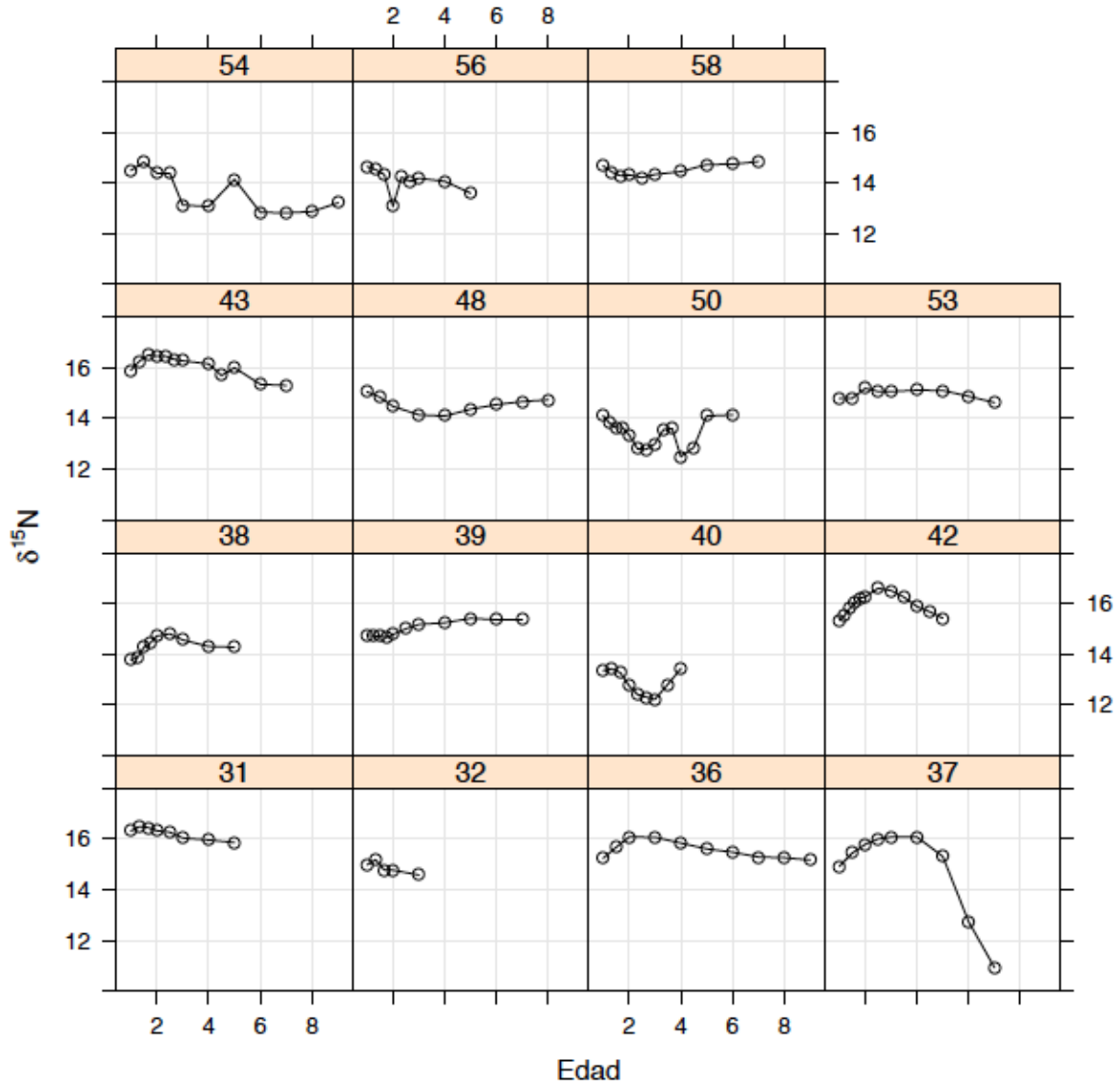


Figura 17. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  en espina de 15 peces espada colectados en Baja California Sur.

La variación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontrada en cada organismo fue relativamente baja, así como la variación estimada entre los valores promedio de los organismos, la cual fue de  $\sim 3\text{‰}$  (Tabla 4; Fig. 18).

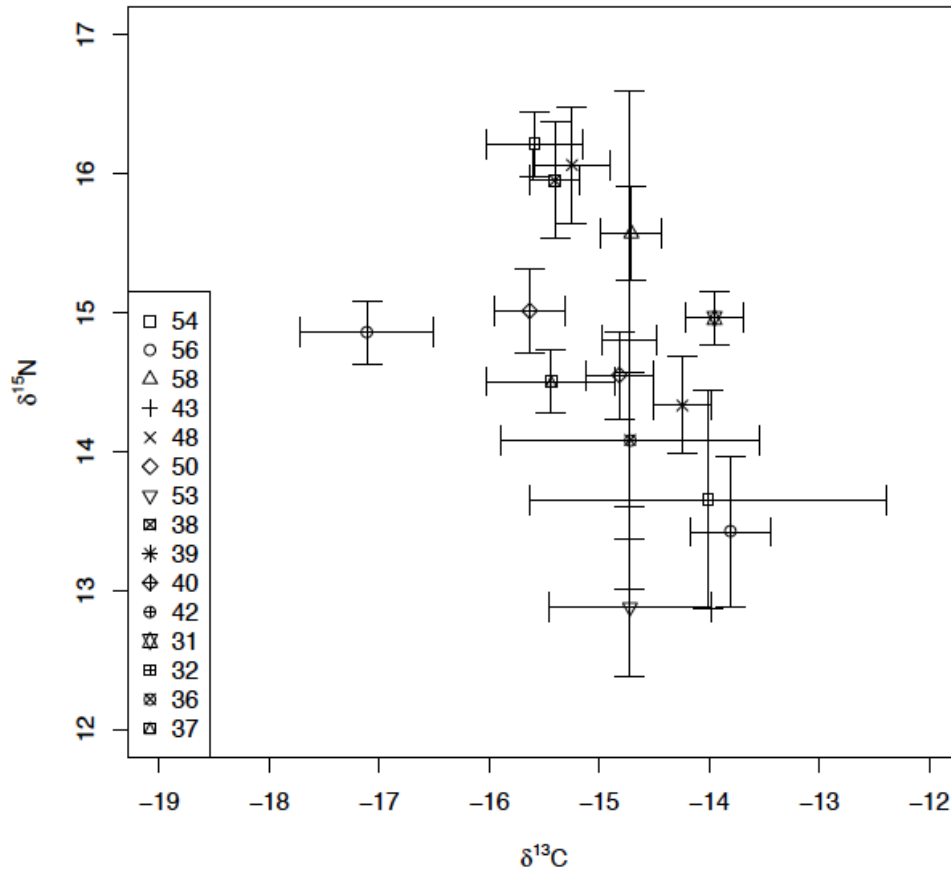


Figura 18. Valores promedio ( $\pm$ DE) de  $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en espina de 15 peces espada colectados en Baja California Sur.

En el caso de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , tampoco se estableció una tendencia clara en los valores promedio en función de la edad (Fig. 19). Para determinar si existían diferencias entre los promedios de  $\delta^{13}\text{C}$  de las diferentes clases de edades se aplicó una prueba Kruskal-Wallis, determinando que los datos no presentan distribución normal ( $W = 0.96$ ,  $p < 0.05$ ), aunque sus varianzas son homogéneas ( $\chi^2_{(8)} = 3.32$ ;  $p > 0.05$ ). Estableciendo que no existieron diferencias significativas ( $H_{(8,138)} = 5.49$ ,  $p > 0.05$ ) de  $\delta^{13}\text{C}$  entre clases de edades.

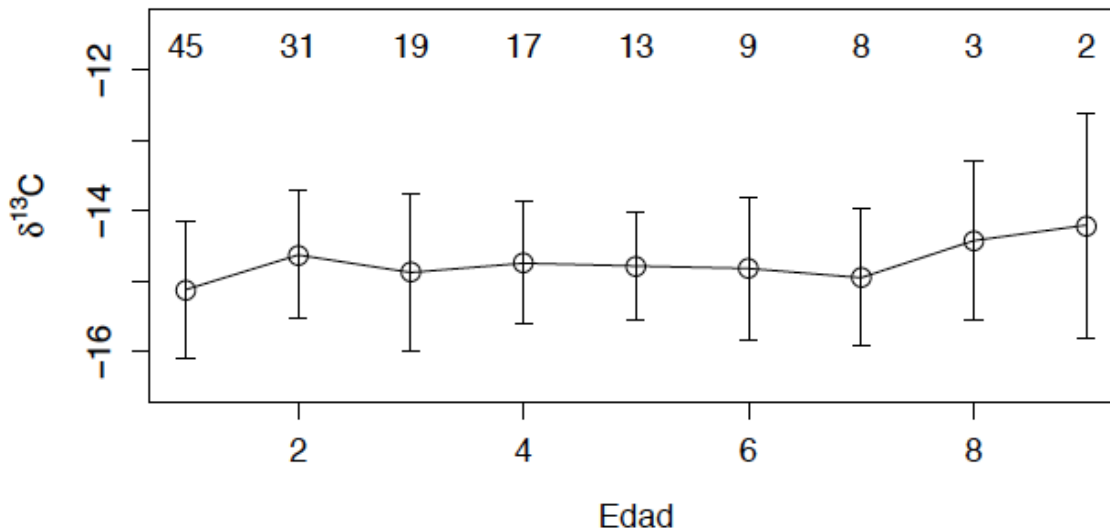


Figura 19. Perfil general de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  en espina de 15 peces espada capturados en Baja California Sur. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

En los perfiles isotópicos individuales de  $\delta^{13}\text{C}$  se encontraron diferentes patrones entre las que se destacan, perfiles con poca variación en los valores isotópicos a través de la vida (33.3%), siendo esta variación de alrededor de 1‰. Asimismo, cinco individuos (33.3%) presentaron perfiles isotópicos con tendencia al aumento de los valores a medida que crecen; este aumento en los valores fue de hasta 3‰. El porcentaje restante (33.3%), presentó disminución en los valores con disminución máxima de hasta 5‰ (Fig. 20).

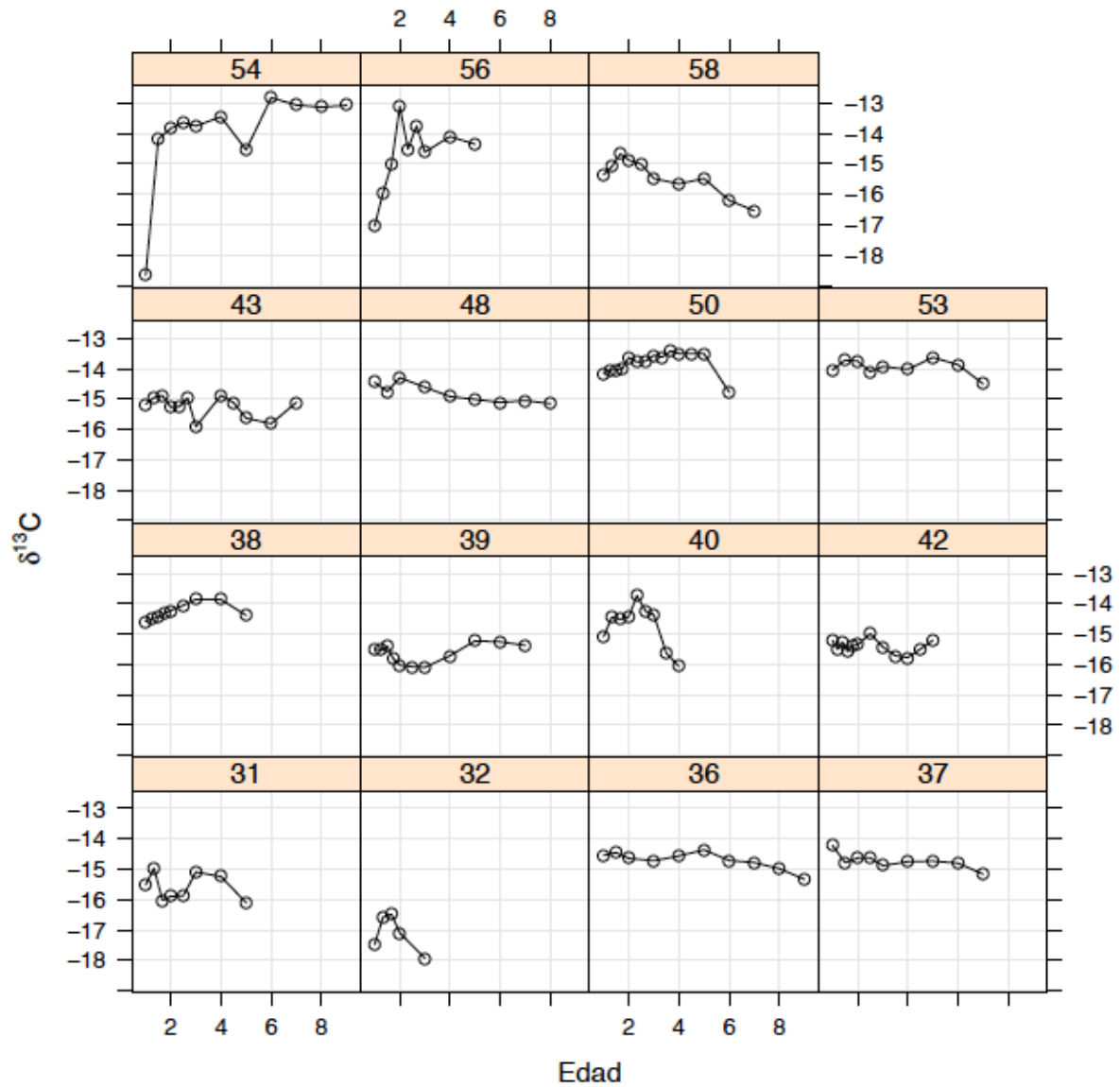


Figura 20. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  en espina de 15 peces espada colectados en Baja California Sur.

Existe una variación de casi 4‰ en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo, y de ~3‰ para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre los peces espada capturados en B.C.S. (Fig. 21).

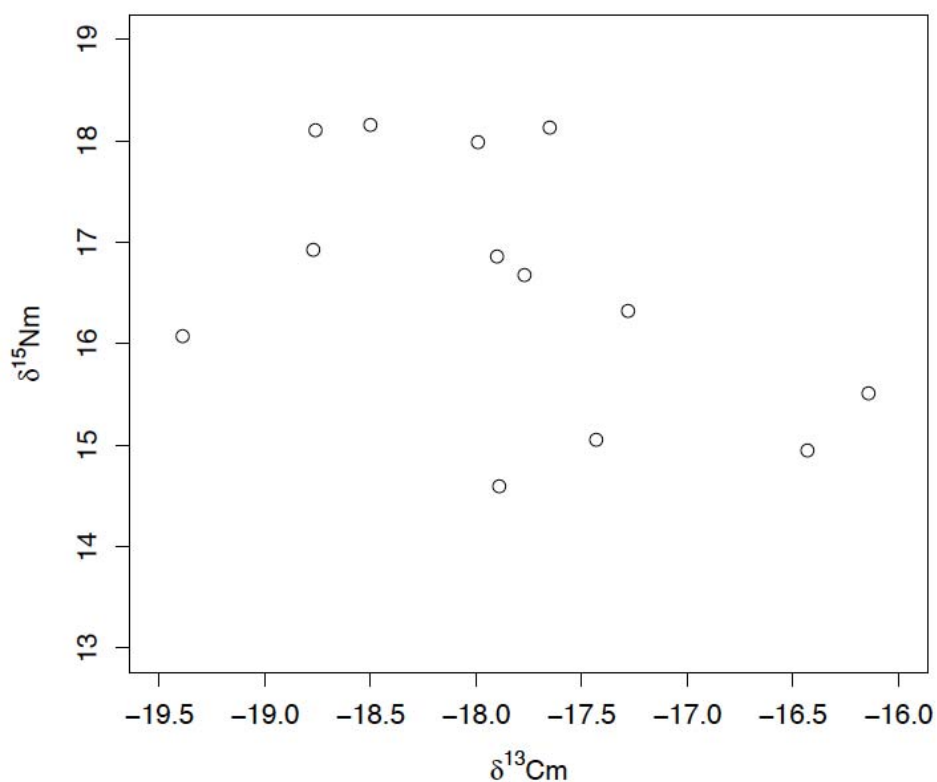


Figura 21. Valores isotópicos de  $\delta^{13}C$ (‰) y  $\delta^{15}N$ (‰) en músculo de 15 peces espada colectados en Baja California Sur.

#### 8.4.2 California

Al muestrear sistemáticamente las bandas de crecimiento en 14 espinas anales de diferentes peces espada colectados en California, se extrajeron 150 muestras de polvo de hueso, las cuales fueron analizadas. De esta zona no se tuvo el registro de la talla de los individuos, solamente de cuatro de ellos, con un intervalo de 146 a 194 cm longitud ojo-furca (LOF) (Tabla 6). La diferencia que existe entre la LOF y LMF es de 15 cm (DeMartini *et al.*, 2007). No se registró el sexo de ninguno de los organismos.

Tabla 6. Valores promedio de  $\delta^{15}N$  and  $\delta^{13}C$  y desviación estándar ( $\pm$ DE) de bandas sistemáticas (0.26 – 0.27 mm) de aleta anal y músculo en cada uno de los 14 peces

espada colectados en California en 2014. Edad representada por el número de anillos de crecimiento.

ID Peces	Edad	LOF (cm)	Banda sistemática	Espina		Músculo	
				Promedio $\delta^{15}\text{N}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	Promedio $\delta^{13}\text{C}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
505	3	---	6	14.5( $\pm$ 0.87)	-15.2 ( $\pm$ 0.18)	15.55	-22.27
506	3	---	7	15.2( $\pm$ 1.35)	-13.6 ( $\pm$ 0.41)	16.46	-17.82
513	4	146	7	13.3( $\pm$ 0.65)	-14.6 ( $\pm$ 0.88)	14.45	-20.97
501	4	158	5	12.7( $\pm$ 2.42)	-15.2 ( $\pm$ 0.41)	13.28	-22.47
518	4	---	9	14.5( $\pm$ 0.17)	-15.2 ( $\pm$ 0.40)	15.58	-21.55
502	4	---	9	14.2( $\pm$ 0.63)	-15.5 ( $\pm$ 0.56)	15.07	-22.86
503	5	---	11	12.5( $\pm$ 0.29)	-12.8 ( $\pm$ 0.46)	14.59	-22.52
517	5	---	11	13.7( $\pm$ 0.57)	-14.6 ( $\pm$ 0.37)	15.14	-22.27
511	6	177	12	12.4( $\pm$ 0.26)	-13.3 ( $\pm$ 0.18)	14.03	-20.16
509	6	---	12	13.1( $\pm$ 0.43)	-14.1 ( $\pm$ 1.62)	14.66	-20.90
515	7	---	12	13.7( $\pm$ 0.29)	-13.1 ( $\pm$ 0.37)	15.10	-21.42
514	8	194	13	10.8( $\pm$ 1.54)	-13.3 ( $\pm$ 0.53)	13.42	-20.00
507	8	---	13	13.7( $\pm$ 0.88)	-13.7 ( $\pm$ 0.37)	15.55	-16.46
500	11	---	23	12.9( $\pm$ 0.77)	-13.1 ( $\pm$ 0.14)	14.05	-21.53

ID = Número que identifica al individuo, LOF: Longitud ojo-furca.

El promedio de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\pm\text{DE}$ ) en las muestras de pez espada colectadas en California fue de  $-13.5 \pm 1.04\text{‰}$  y  $13.2 \pm 1.13\text{‰}$ , respectivamente. Basado en la determinación de edad realizada mediante el conteo de las bandas de crecimiento de la segunda espina anal, se determinaron siete edades diferentes (Tabla 7). El intervalo de edad de estos peces fue de 3 a 11 años, pero no se tuvieron datos de organismos de las edades 9 y 10. La edad más común fue 4 años ( $n = 4$ ; Tabla 7).



El valor promedio de la proporción C/N fue mayor para el músculo que para la espina anal (Tabla 7).

Tabla 7. Edad y valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en pez espada capturado en California. Por edad, No. de muestras, representa el número de muestras por edad.

	Edad	No. de muestras	Músculo		Espina anal	
		<i>n</i>	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<i>X. gladius</i>		14				
	3	2	-20.0	16.0	-14.4	14.9
	4	4	-21.9	14.6	-15.1	13.7
	5	2	-22.4	14.9	-13.7	13.1
	6	2	-20.5	14.3	-13.7	12.8
	7	1	-21.4	15.1	-13.1	13.7
	8	2	-18.2	14.5	-13.5	12.3
	11	1	-21.5	14.0	-13.1	12.9
<b>Promedio de todas las clases de edades</b>	---	14	-20.9	14.8	-13.5	13.2
<b>Promedio C/N</b>	---	---	4.3		3.3	

Debido a que solo se contó con la información de la longitud de cuatro peces, se determinó la relación que los valores ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) tienen con respecto a la edad y no con respecto a la talla. Se estableció una relación lineal baja entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo (m) y la segunda espina anal (ea) con respecto a la edad (e) ( $R^2_{\text{N:m-e}} = 0.089$ ,  $p < 0.5$ ;  $R^2_{\text{N:ea-e}} = -0.049$ ,  $p > 0.5$ ; Fig. 22). Asimismo, la relación también fue baja entre los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo (m) y segunda espina anal (ea) en función de edad ( $R^2_{\text{C:m-e}} = -0.02$ ,  $p < 0.5$ ;  $R^2_{\text{C:ea-e}} = 0.17$ ,  $p < 0.5$ ; Fig. 23).

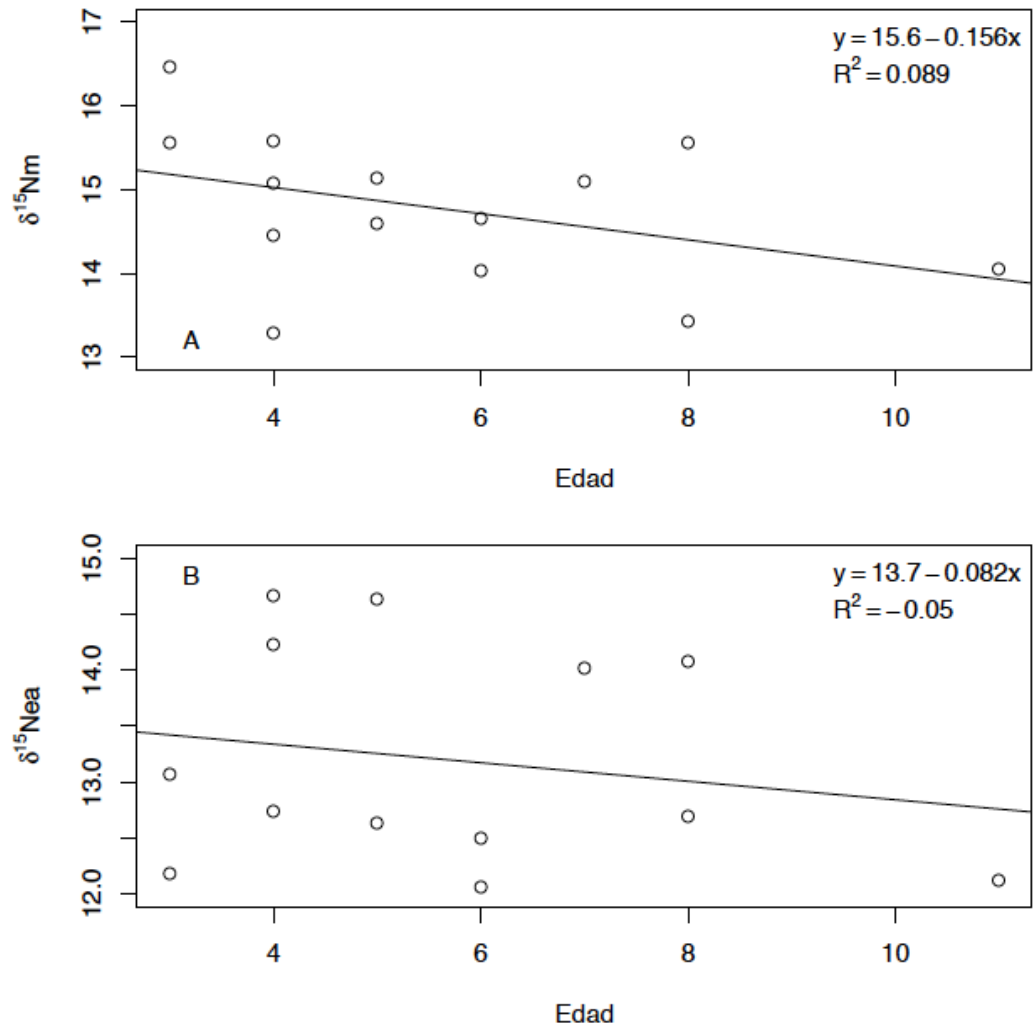


Figura 22. Relación entre la edad y (A) los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en músculo (m) y (B) los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) de espina anal (ea) en peces espada capturados en California.

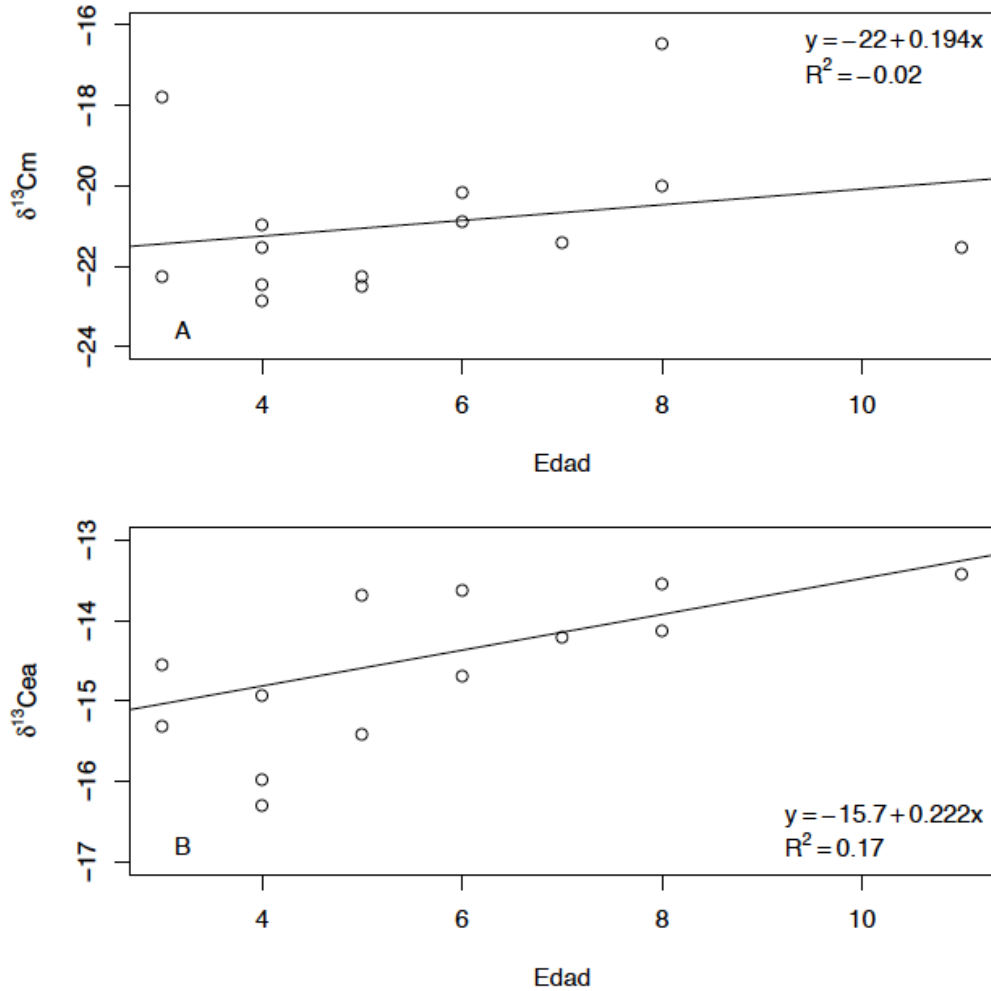


Figura 23. Relación entre la edad y (A) valores de  $\delta^{13}C$  (‰) en músculo (m) y (B) valores de  $\delta^{13}C$  (‰) en espina anal (ea) de peces espada colectados en California.

Los perfiles isotópicos generales para los peces espada capturados en California denotaron una tendencia a la disminución de los valores con el aumento de la edad, tanto de  $\delta^{15}N$  como de  $\delta^{13}C$  (Fig. 24 y 27). Los valores de  $\delta^{15}N$  para los peces espada de California, no presentaron una distribución normal ( $W = 0.91$ ,  $p < 0.001$ ), no obstante sus varianzas fueron homogéneas ( $\chi^2_{(10)} = 11.08$ ;  $p > 0.05$ ). Aunque se presentó una leve disminución de los valores promedio de  $\delta^{15}N$  entre las diferentes edades, la diferencia en estos valores no fue significativa ( $H_{(10,140)} = 6.24$ ,  $p > 0.05$ ).

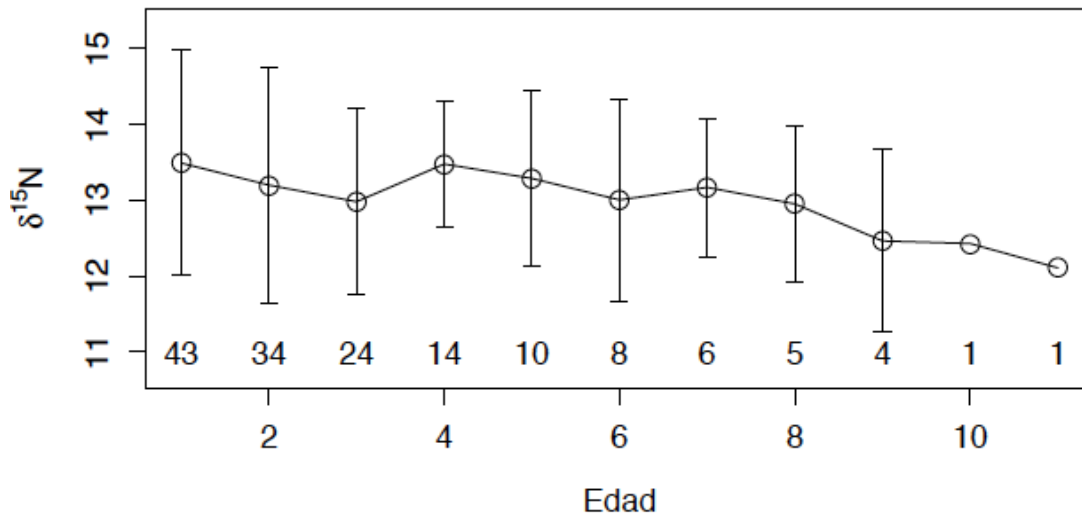


Figura 24. Perfil general de  $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$  en espina de 14 peces espada capturados en California. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

En los perfiles individuales no se observó ningún patrón en el comportamiento de  $\delta^{15}\text{N}$  en función de la edad; cinco (36%) individuos presentaron tendencia de disminución, con una variación de hasta 7‰ (individuo 501). Tres de ellos (21%) registraron poca variación en los valores isotópicos (menos de 1‰) a través de su vida. Se observó un aumento en los valores isotópicos de hasta 4‰ en cinco peces (36%). El último pez espada presentó una tendencia de disminución de los valores en los primeros años de vida para posteriormente aumentar sus valores y permanecer con poca variación después de la edad 4. El pez de mayor edad (individuo 500) presentó una variación máxima de 3‰ (Fig. 25).

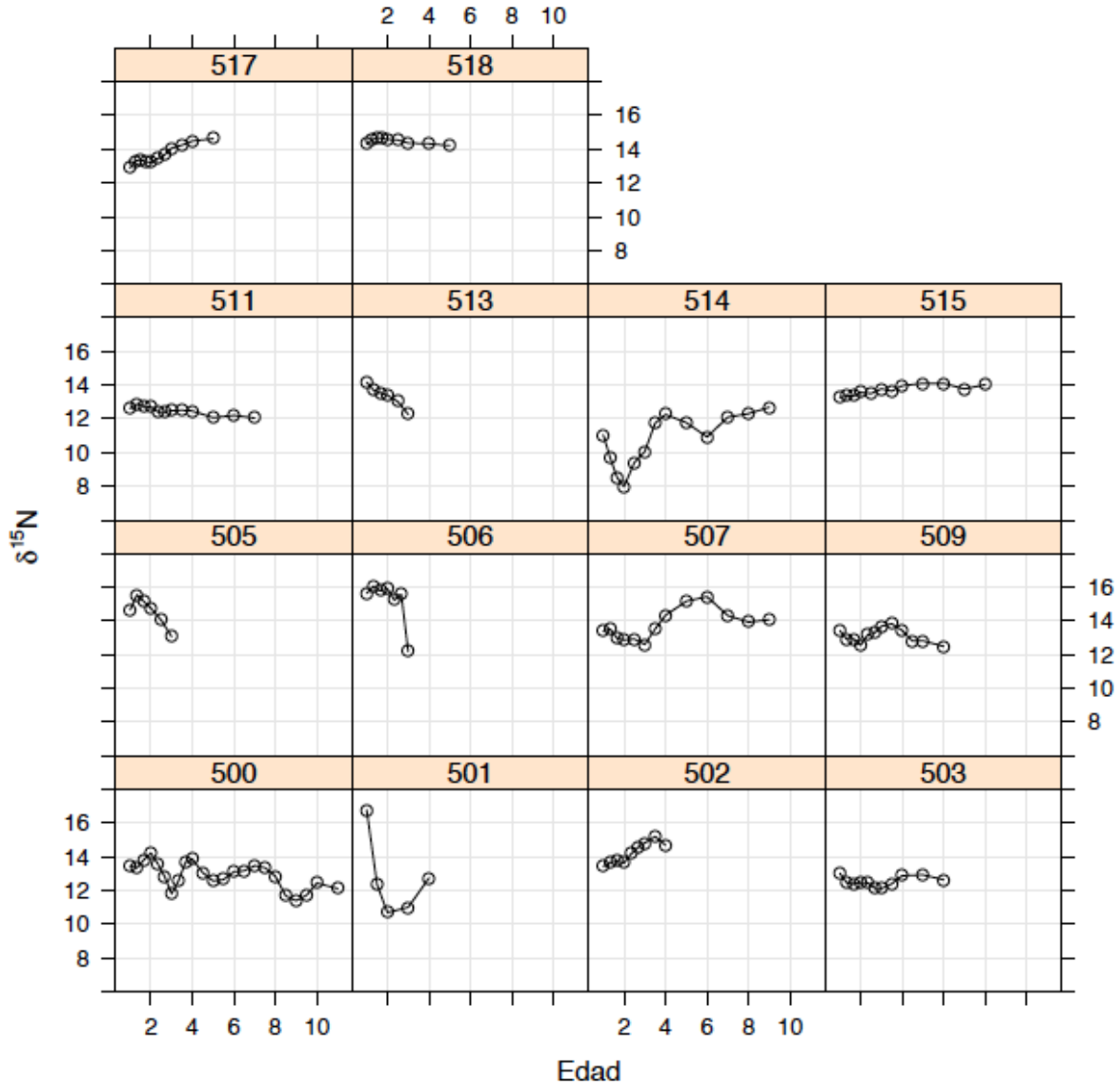


Figura 25. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de espinas de 14 peces espada colectados en California.

La variación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontrada en cada organismo fue relativamente baja, así como la variación que se presentó entre los valores promedio de los organismos, la cual fue alrededor de 2.8‰ (Tabla 6; Fig. 26).

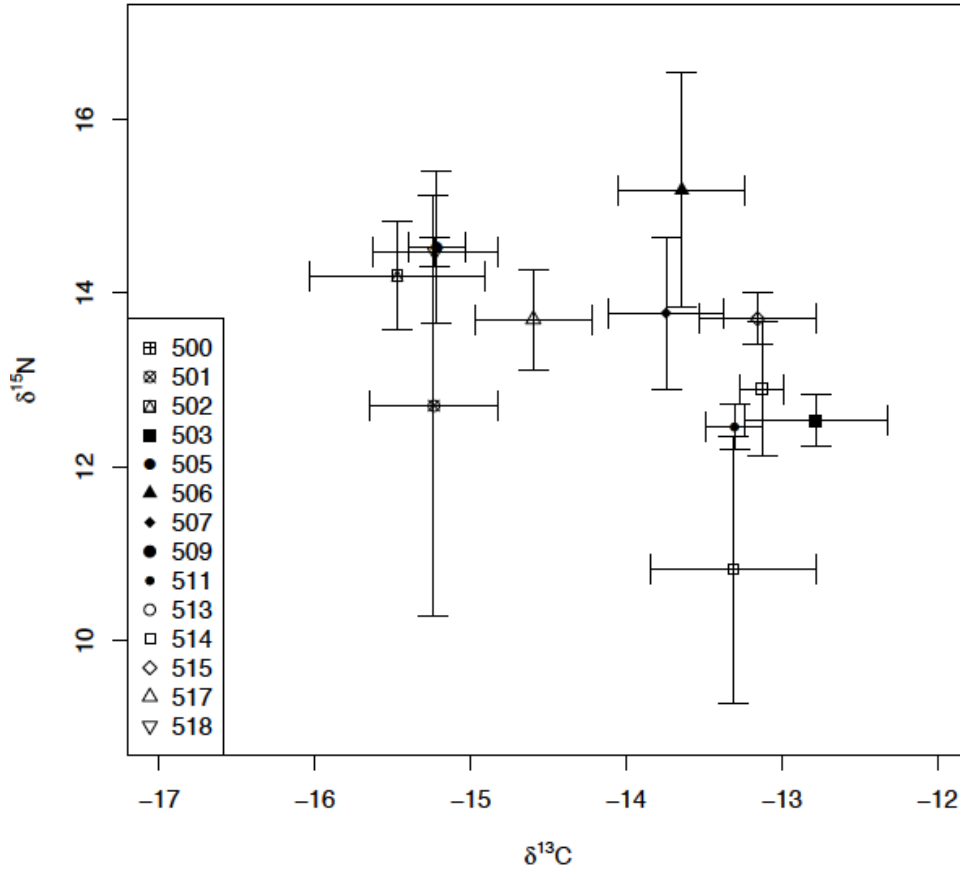


Figura 26. Valores isotópicos promedio y ( $\pm$ DE) de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en espina de 15 peces espada colectados en California.

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en peces espada colectados en California, no presentan una distribución normal ( $W = 0.89$ ,  $p < 0.001$ ) y sus varianzas no son homogéneas ( $\chi^2_{(10)} = 11.08$ ;  $p < 0.05$ ), por lo que se usó la prueba estadística de Kruskal-Wallis.

Aunque los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  presentaron una leve tendencia de aumento conforme los peces crecieron (Fig. 27), no hubo diferencias significativas en los valores promedio por edad ( $H_{(10,140)} = 6.24$ ,  $p > 0.05$ ); asimismo, la diferencia entre los promedios de los diferentes organismos fue de 2.4‰ (Fig. 26).

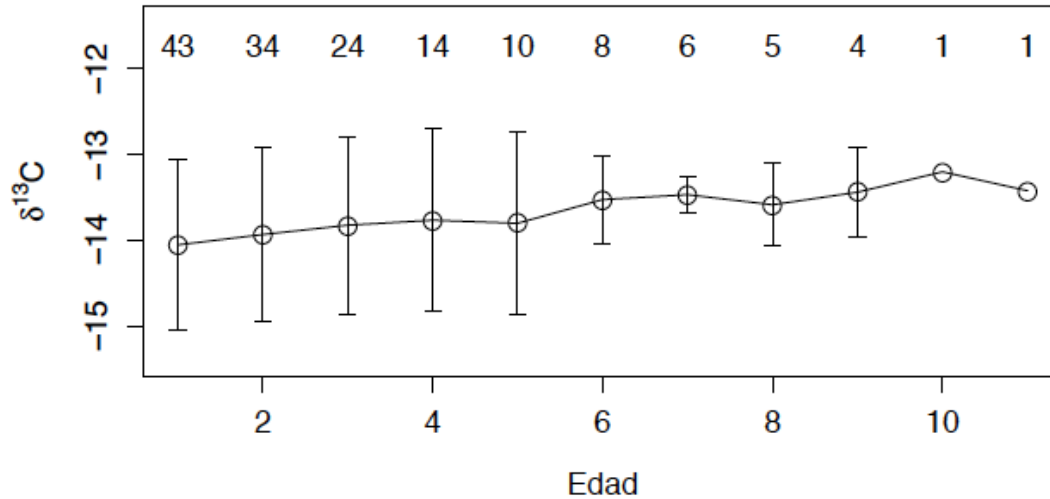


Figura 27. Perfil general de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  en espina de 14 peces espada capturados en California. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

La poca variación en los valores promedio, de  $\delta^{13}\text{C}$  también se vio reflejada en los perfiles individuales. La mayoría de los organismos (64%) presentaron una tendencia decreciente, mientras que dos de ellos (14%) registraron un aumento en los valores a través de su vida. La mayor variación presentada tanto en la tendencia de aumento como de disminución fue de hasta 2‰. Tres individuos (21%) presentaron variación menor a 1‰ (Fig. 28).

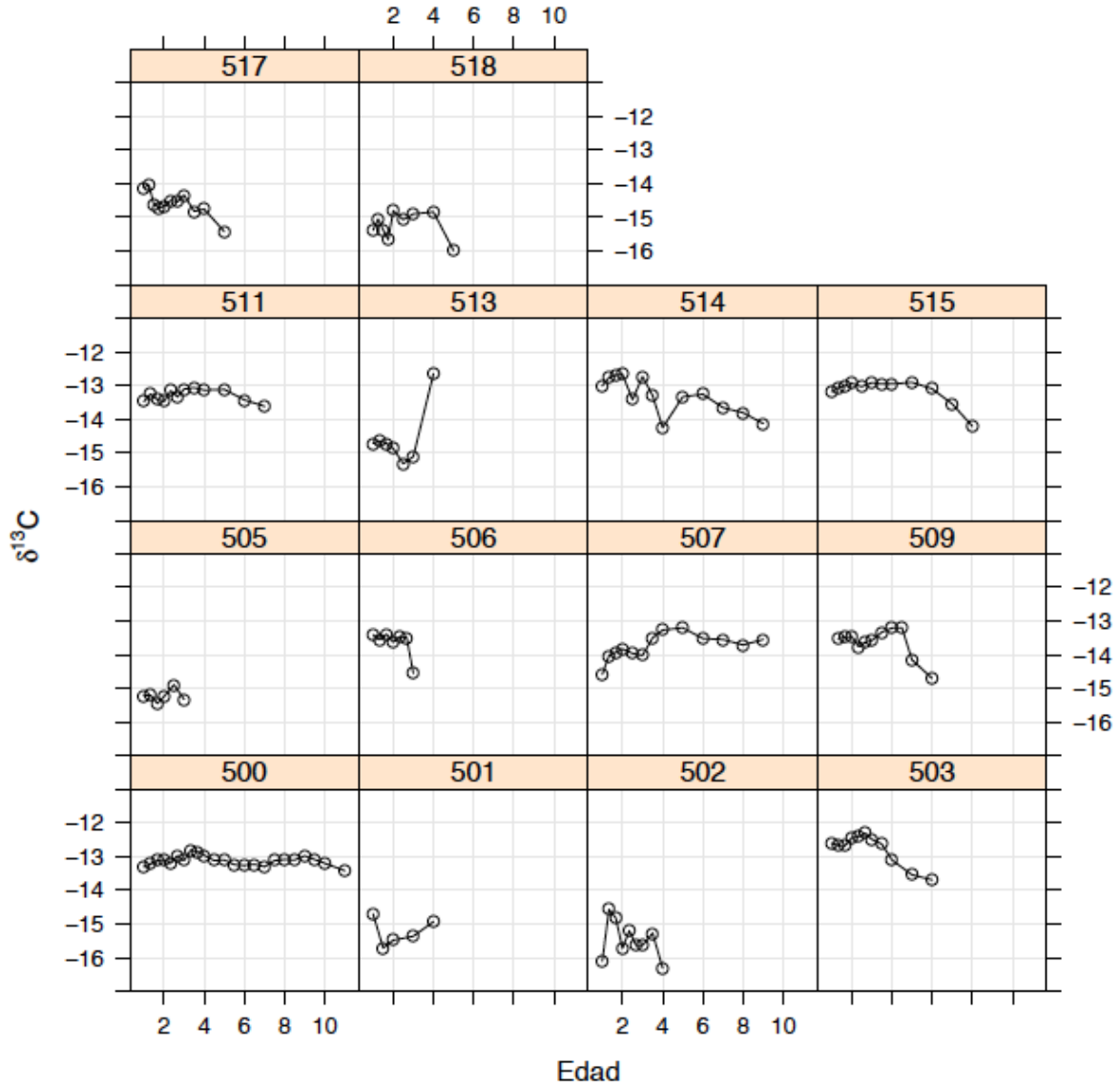


Figura 28. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  en espina de peces espada colectados en California.

En los músculos de los peces espada capturados en California se registró una variación de casi 3‰ en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , mientras que para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , la variación fue de ~6‰ (Fig. 29).



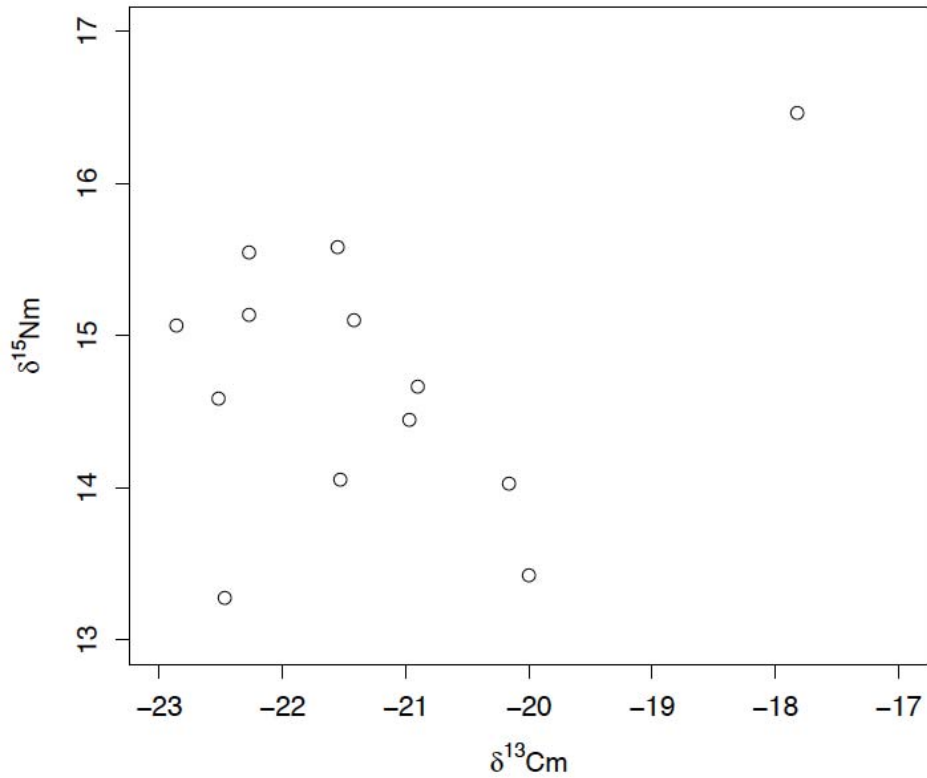


Figura 29. Valores de  $\delta^{13}\text{C}$ (‰) y  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de músculo de peces espada colectados en California.

#### **8.4.3 Zona de Transición del Pacífico Norte**

El muestreo sistemático de las marcas de crecimiento en la segunda espina anal de 15 diferentes peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte (ZTPN), produjo 160 muestras. El intervalo de talla (LMF) de los peces capturados en esta área fue de 80 cm a 183 cm (Tabla 8). Solamente se registró el sexo de un individuo, (individuo 128), para el resto de los organismos se desconoce esta característica.

Tabla 8. Valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  y desviación estándar ( $\pm\text{DE}$ ) de bandas sistemáticas (0.26 – 0.27 mm) de aleta anal y músculos de peces espada colectados en ZTPN. La edad representa el número de anillos de crecimiento.

ID Peces	Edad	LMF (cm)	Banda sistemática	Espina		Músculo	
				Promedio $\delta^{15}\text{N}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	Promedio $\delta^{13}\text{C}$ (‰) ( $\pm\text{DE}$ )	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
125	2	80	5	8.2( $\pm$ 0.30)	-15.5 ( $\pm$ 0.93)	10.82	-17.95
153	3	95	4	12.6( $\pm$ 0.17)	-13.8 ( $\pm$ 0.27)	14.07	-16.87
111	3	118	5	9.9( $\pm$ 0.10)	-15.7 ( $\pm$ 0.53)	13.42	-17.92
126	5	---	13	9.8( $\pm$ 0.49)	-16.5 ( $\pm$ 0.21)	12.71	-18.40
104	5	110	12	12.3( $\pm$ 0.42)	-14.8 ( $\pm$ 0.51)	15.61	-17.78
118	5	144	10	9.4( $\pm$ 0.60)	-14.4 ( $\pm$ 0.52)	13.67	-17.85
142	5	175	11	10.7( $\pm$ 0.59)	-16.9 ( $\pm$ 0.48)	---	---
116	6	166	12	7.6( $\pm$ 0.39)	-14.9 ( $\pm$ 0.49)	9.86	-17.95
141	7	180	14	10.7( $\pm$ 1.58)	-15.5 ( $\pm$ 2.11)	15.82	-17.82
103	7	181	13	9.09( $\pm$ 0.80)	-13.5 ( $\pm$ 0.39)	14.72	-17.97
154	7	183	9	11.8( $\pm$ 0.22)	-17.6 ( $\pm$ 0.95)	15.12	-18.09
117	8	153	12	10.8( $\pm$ 0.44)	-15.6 ( $\pm$ 0.47)	12.21	-17.13
140	8	183	14	11.0( $\pm$ 0.13)	-15.0 ( $\pm$ 0.41)	14.80	-18.06
135	9	134	13	10.1( $\pm$ 0.33)	-15.0 ( $\pm$ 0.64)	13.95	-17.91
128	9	167	13	9.3( $\pm$ 0.47)	-15.3 ( $\pm$ 0.39)	---	---

ID = Número que identifica al individuo, LMF: Longitud maxilo-furcal.

Los valores promedio de C y N ( $\pm\text{DE}$ ) de las muestras de la segunda espina anal de peces espada colectados en ZTPN fueron  $-15.4 \pm 1.27\text{‰}$  y  $10.2 \pm 1.41\text{‰}$ , respectivamente. Basado en el conteo de los anillos de crecimiento de la espina anal,

se determinó la edad, encontrando siete clases de edades (Tabla 9). Su intervalo fue de 2 a 9 años, pero sin contar con individuos de edad 4. La edad más común fue 5 años ( $n = 4$ ; Tabla 9). El valor promedio de C/N fue igual para músculo y espina anal (Tabla 9).

Tabla 9. Edad, promedio de longitud (LMF), y promedio de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en espina y de músculo de peces espada para cada edad colectado en zona tropical del Pacífico Norte.

	Edad	No. de muestras	Músculo		Espina anal		
		$n$	LMF (cm) ( $\pm\text{DE}$ )	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<i>X. gladius</i>		15					
	2	1	80	-17.9	10.8	-15.5	8.2
	3	2	106.5 ( $\pm 16.2$ )	-17.4	13.7	-14.8	11.1
	5	4	143 ( $\pm 32.5$ )	-18.0	13.9	-15.7	10.6
	6	1	166	-17.9	9.8	-14.9	7.6
	7	3	181.3 ( $\pm 1.5$ )	-17.9	15.2	-15.3	10.4
	8	2	168 ( $\pm 21.2$ )	-17.6	13.5	-15.3	10.9
	9	2	150.5 ( $\pm 23.3$ )	-17.9	13.9	-15.2	9.7
<b>Promedio de todas las clases de edades</b>	-----	15	----	-17.8	13.6	-15.3	10.2
<b>Promedio C/N</b>	-----	----	-----	3.7		3.7	

Se encontró una relación lineal baja entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo (m) y la segunda espina anal (ea) en relación a la LMF ( $R^2_{\text{N:m-LMF}} = -0.004$ ,  $p < 0.05$ ;  $R^2_{\text{N:ea-LMF}} = -0.02$ ,  $p < 0.001$ ; Fig. 30). Asimismo, se determinó una relación baja entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo y la segunda espina anal en función de LMF ( $R^2_{\text{C:m-LMF}} = -0.06$ ,  $p < 0.001$ ;  $R^2_{\text{C:ea-LMF}} = -0.07$ ,  $p < 0.001$ ; Fig. 31).

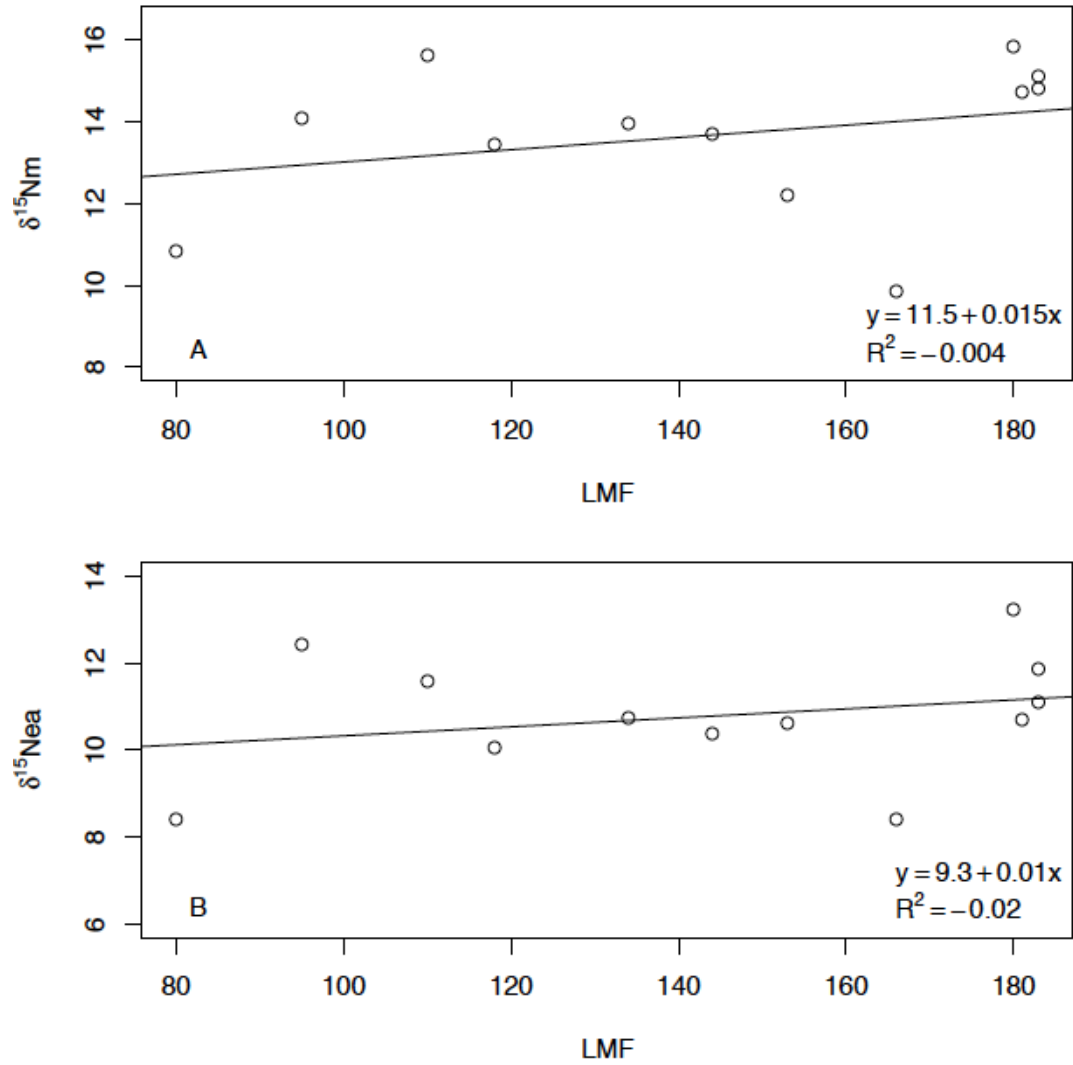


Figura 30. Relación de longitud (LMF; cm) y (A) de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) en músculo (m) y (B) valores de  $\delta^{15}\text{N}$ (‰) de segunda espina anal (ea) en peces espada capturados en la zona de transición del Pacífico Norte.

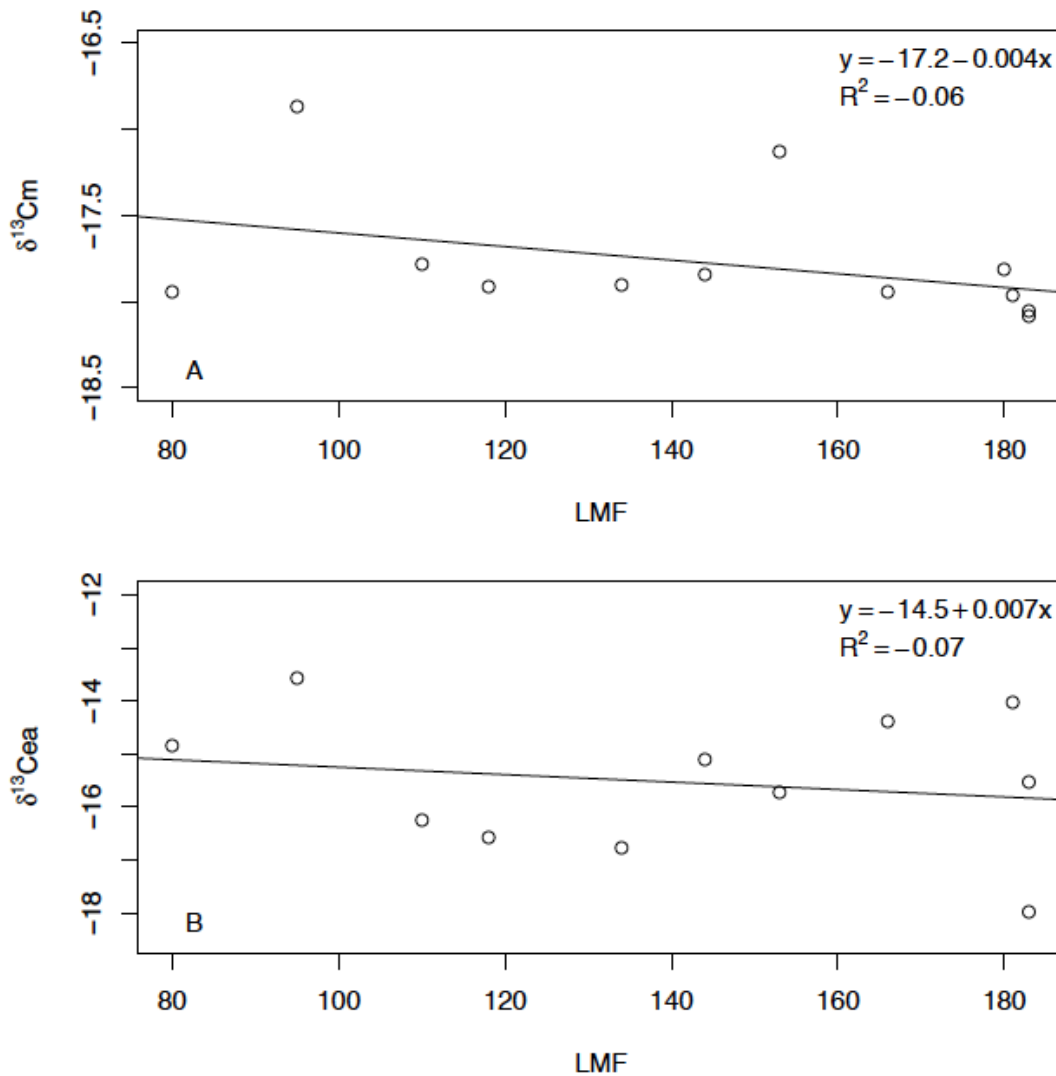


Figura 31. Relación de la longitud (LMF; cm) y (A) valores de  $\delta^{13}C$ (‰) en músculo (m) y (B) valores de  $\delta^{13}C$ (‰) en segunda espina anal (ea) de peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte.

Los valores de  $\delta^{15}N$  de los peces espada colectados en la ZTPN, presentan una distribución normal ( $W = 0.98$ ,  $p > 0.05$ ) y sus varianzas son homogéneas ( $\chi^2_{(8)} = 7.89$ ;  $p > 0.05$ ).

Los valores isotópicos promedio de  $\delta^{15}N$  por clase de edad denotaron una tendencia al aumento, en función del aumento en la edad (Fig. 32). Asimismo se determinó que la diferencia en los valores promedio de  $\delta^{15}N$  entre las clases de edad no fue significativa ( $F_{(8,151)} = 0.98$ ,  $p > 0.05$ ).

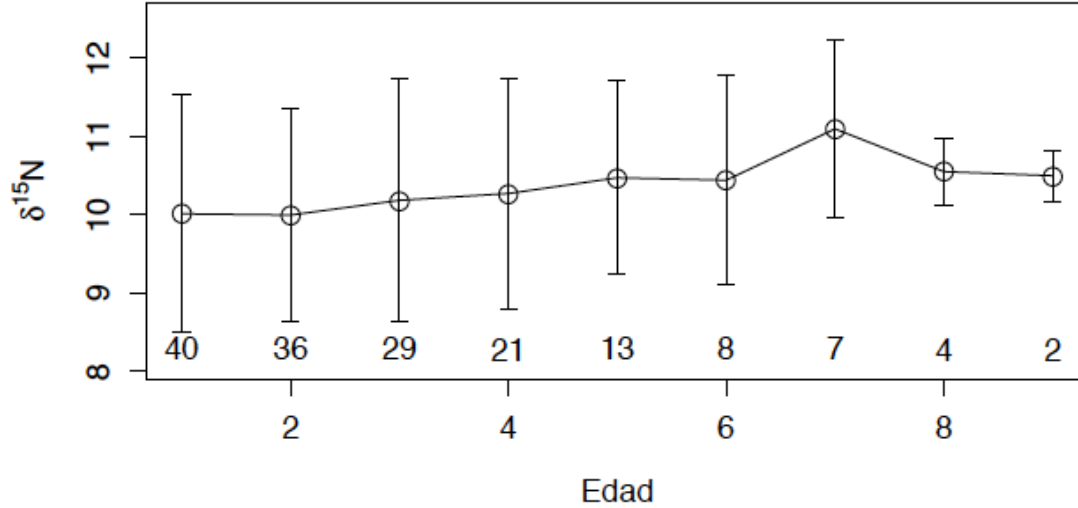


Figura 32. Perfil general de  $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$  en espinas de 15 peces espada capturados en la zona de transición del Pacífico Norte. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

Entre los perfiles individuales de  $\delta^{15}\text{N}$ , el mayor porcentaje (40%), registró un aumento de hasta 5‰ (individuo 141). También se obtuvieron perfiles (33%) isotópicos con poca variación (1‰) en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  a través de la vida. En menor proporción (27%) se determinaron perfiles con tendencia a la disminución en los valores, disminuyendo hasta 2‰ (Fig. 33).

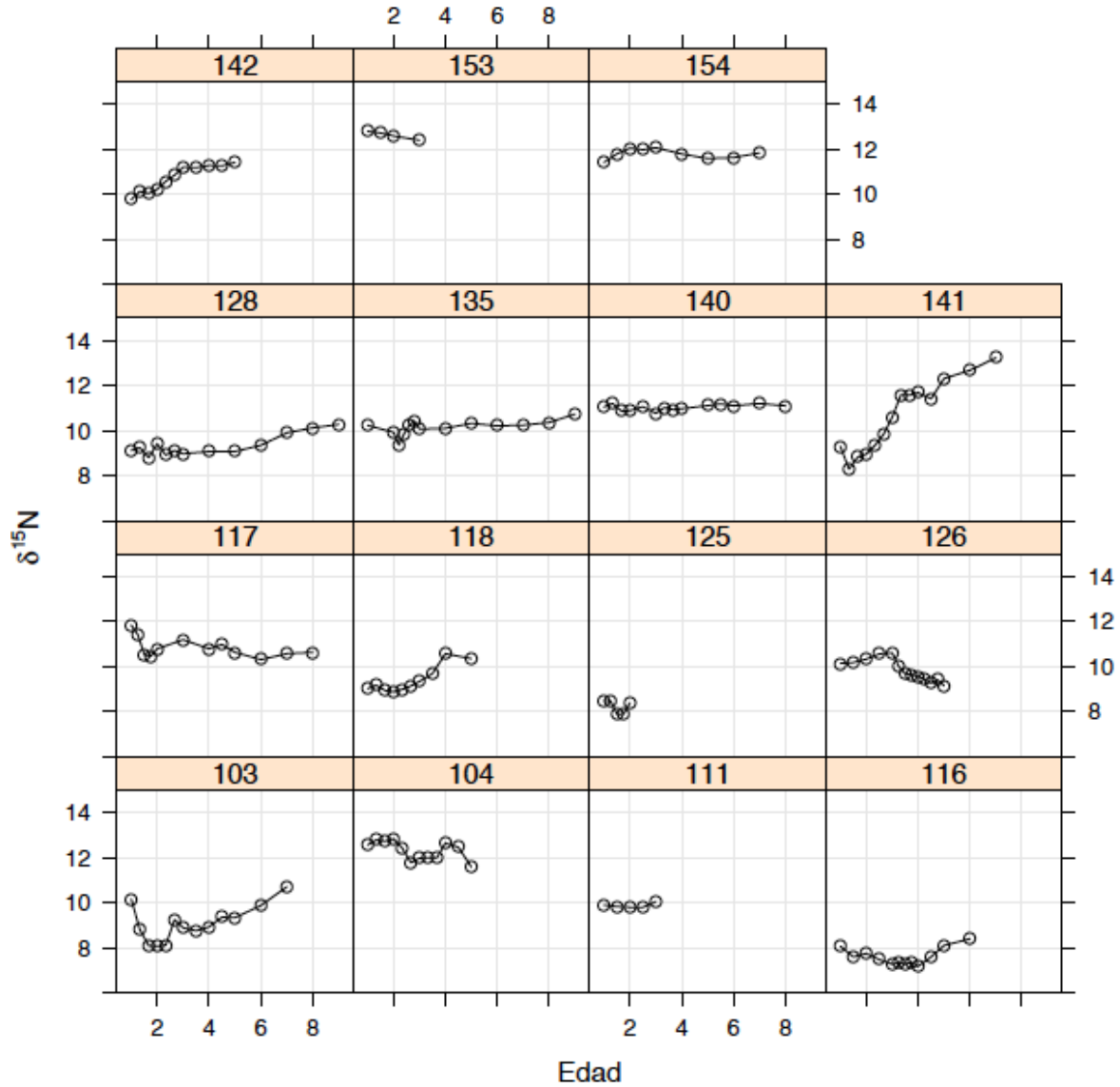


Figura 33. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{15}\text{N}$  en espinas de 15 peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte.

Aunque la variación entre los valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  por edad fue mínima, se determinó una variación en los valores promedio por organismo de 4.4‰ (Tabla 8; Fig. 34).

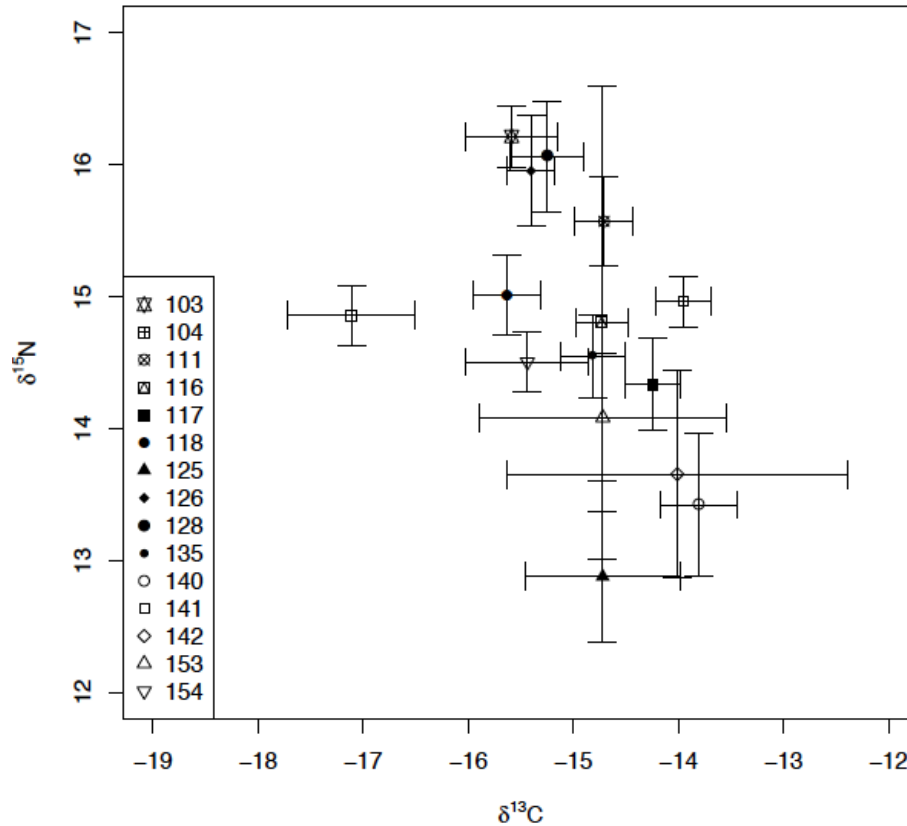


Figura 34. Valores promedio y ( $\pm$ DE) de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) en espinas de 15 peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte.

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los peces espada de la ZTPN, no presentaron una distribución normal ( $W = 0.91$ ,  $p < 0.001$ ) y sus varianzas no fueron homogéneas ( $\chi^2_{(8)} = 27.99$ ;  $p < 0.001$ ), por lo que se usó la prueba estadística de Kruskal-Wallis.

Los valores isotópicos promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  por edad, denotan una tendencia al aumento de los valores, en función del aumento en la edad (Fig. 32); sin embargo la diferencia en los valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  entre las clases de edad no fue significativa ( $H_{(8,151)} = 1.09$ ,  $p > 0.05$ ).



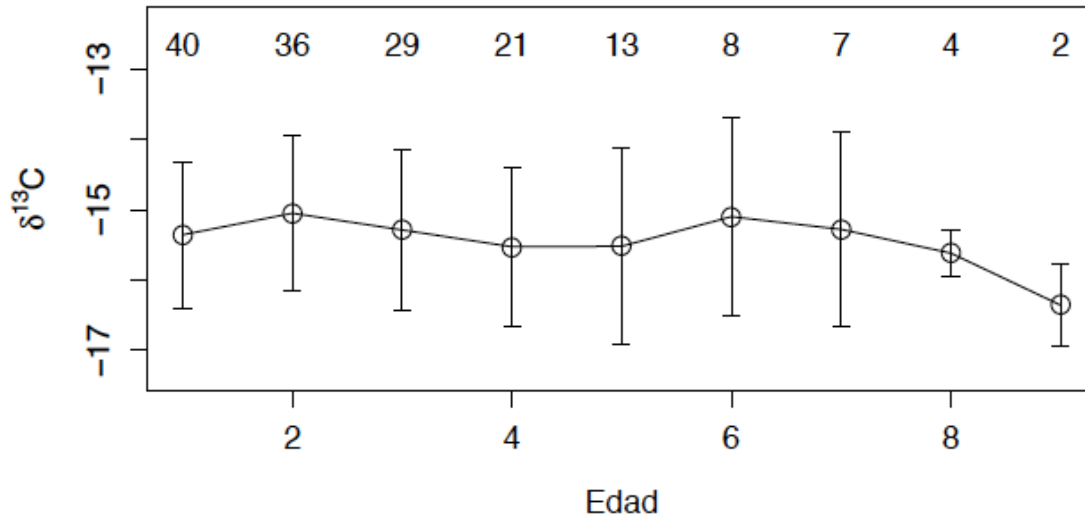


Figura 35. Perfil general de  $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$  en espina de 15 peces espada capturados en la zona de transición del Pacífico Norte. Los números en la parte inferior representan el número de muestras ( $n$ ) por cada clase de edad.

En el 47% de los peces se registró un aumento en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , con variación de hasta 3‰. Aunque también se presentaron cuatro individuos (27%) con poca variación en los valores, mientras que tres individuos (20%) presentaron una disminución de los valores de hasta 2‰. Un caso particular se presentó en el individuo 125, el cual fue el animal más pequeño colectado en esta área, y registró en solo dos años una variación de casi 3‰ (Fig. 36).

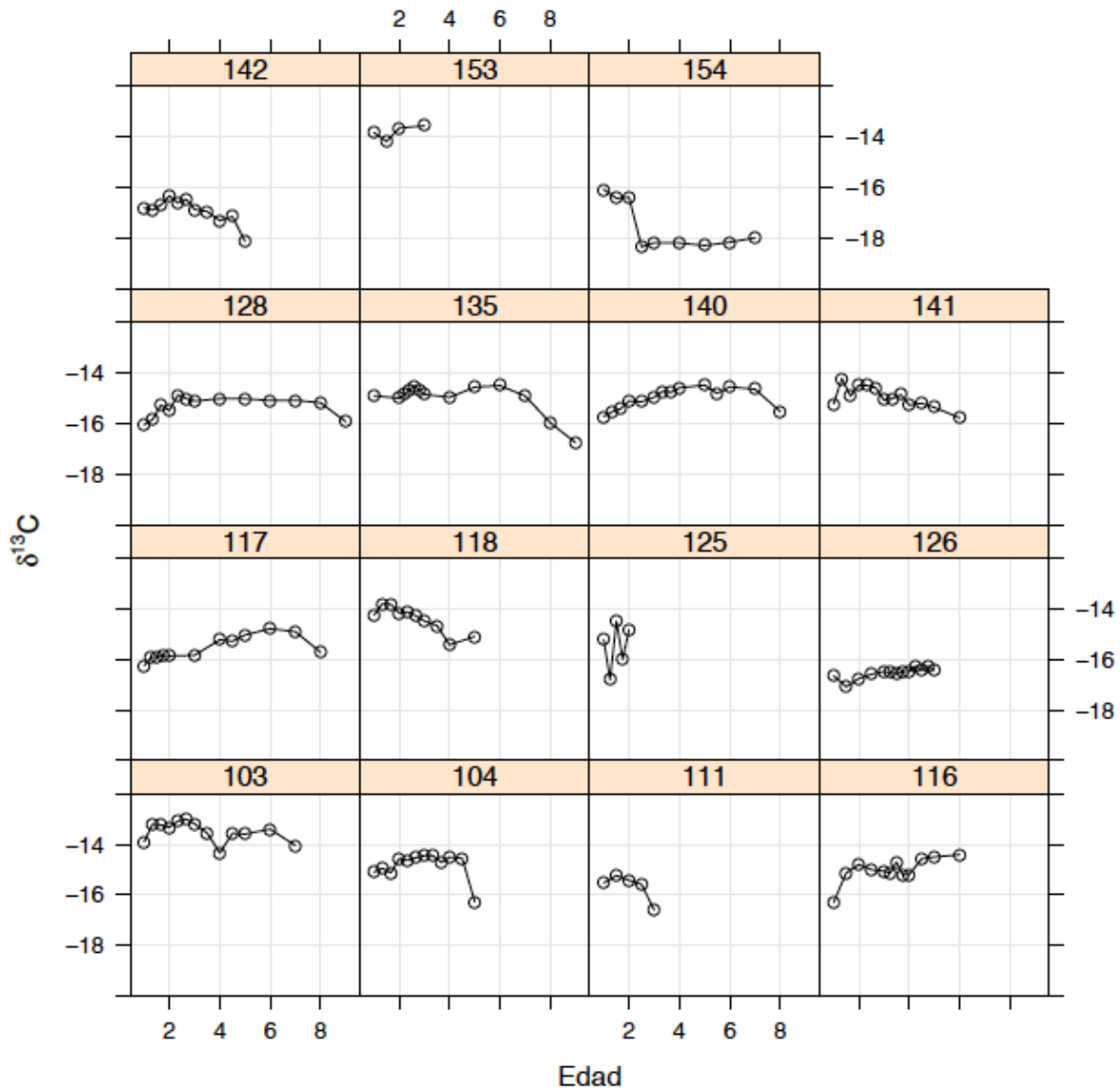


Figura 36. Perfiles ontogénicos de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) en espina de 15 peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte.

Se presentó una variación de casi 6‰ en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , y de ~2‰ para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre los peces espada capturados en la ZTPN (Fig. 37).

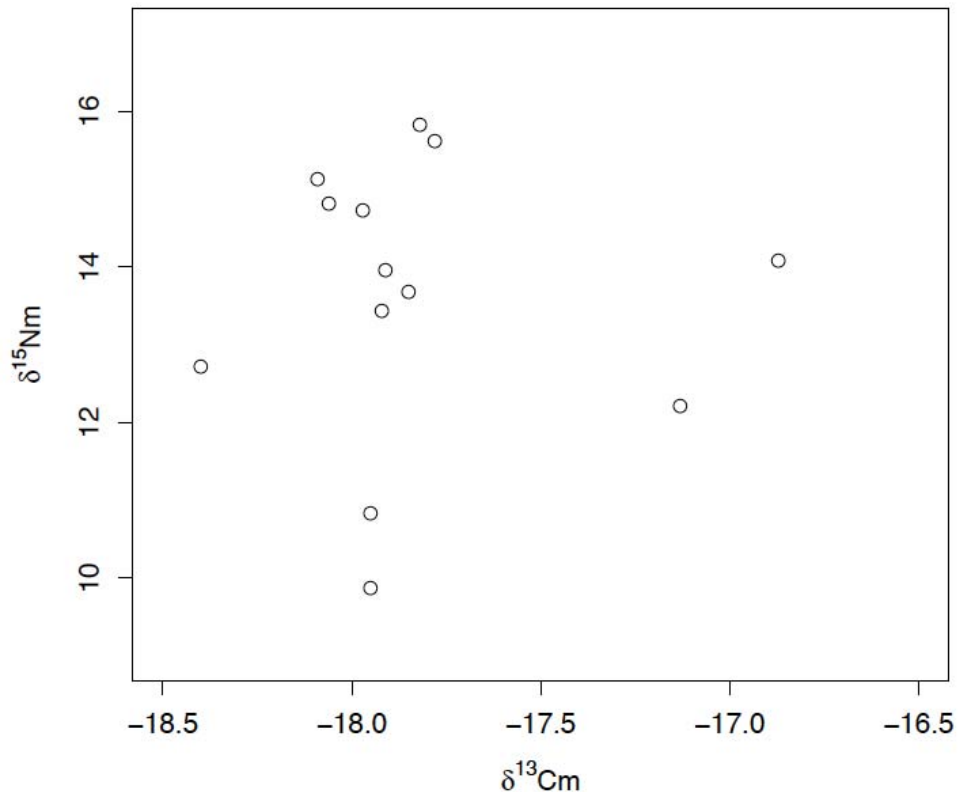


Figura 37. Valores de  $\delta^{13}C$  (‰) y  $\delta^{15}N$  (‰) de músculo de peces espada colectados en la zona de transición del Pacífico Norte.

Finalmente, se determinó una relación positiva entre los valores de  $\delta^{15}N$  del músculo (m) y la última banda de crecimiento de la segunda espina anal (ea) ( $R^2_{N:m-ea} = 0.591$ ,  $p < 0.001$ ; Fig. 38a), mientras que para  $\delta^{13}C$  solamente se determinó una baja relación entre los valores de músculo (m) y la segunda espina anal (ea) ( $R^2_{N:m-ea} = 0.001$ ,  $p < 0.5$ ; Fig. 38b). Los valores de  $\delta^{15}N$  ( $t = 5.46$ ;  $p < 0.001$ ) y  $\delta^{13}C$  ( $t = -10.75$ ;  $p < 0.001$ ) en el músculo y segunda espina anal fueron significativamente diferentes. La proporción isotópica de  $^{15}N$  fue más enriquecida en músculo (15.0‰) que en espina dorsal (12.7‰). Ya que los valores de  $\delta^{15}N$  analizados en espina y músculo presentaron una correlación significativa, se usaron para obtener una ecuación que estimará los valores de  $\delta^{15}N$  en músculo:

$$\delta^{15}\text{N}_m = 5.759 + 0.727 (\delta^{15}\text{N}_{ea}) \quad (c)$$

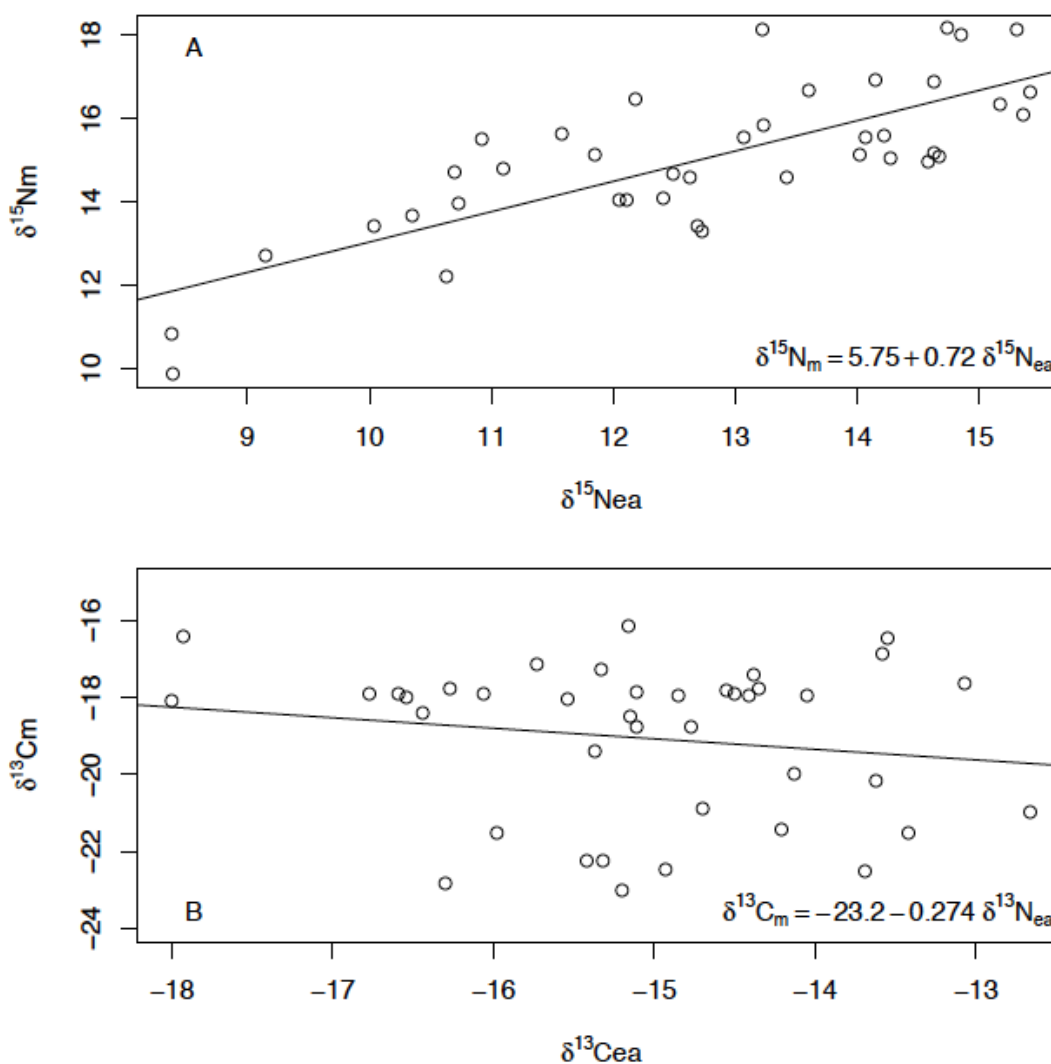


Figura 38. Relación entre los valores isotópicos de (A)  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) y (B)  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) de la segunda espina anal (ea) y músculo (m) de peces espada.

Se determinó que existen tres tendencias de perfiles isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en pez espada. Los cuales incluyeron, aumento, disminución y valores relativamente constante o variación menor a 1‰ a lo largo de la ontogenia. La tendencia con mayor proporción de peces para  $\delta^{15}\text{N}$  fue la constante (34%), mientras que en el caso del  $\delta^{13}\text{C}$  la tendencia con mayor porcentaje fue la de disminución (39%; Fig. 39).

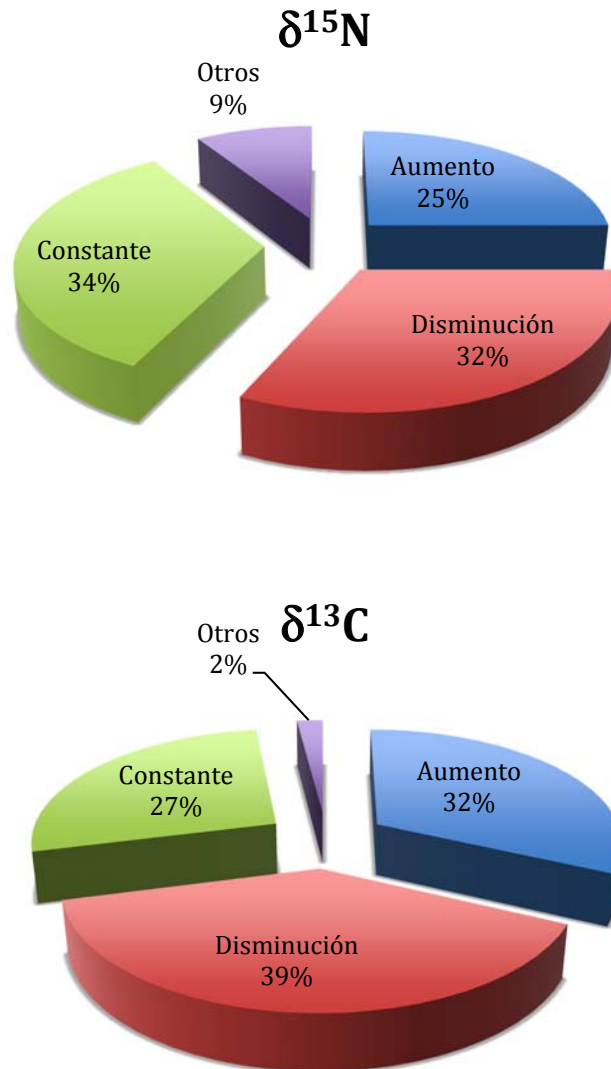


Figura 39. Porcentaje de individuos por tendencias en los perfiles isotópicos individuales de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en peces espada colectados en Baja California Sur, California y zona de transición del Pacífico Norte.

### **8.5 Comparación entre los valores isotópicos de pez espada colectados en B.C.S., CA y ZTPN**

Se determinó que los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  de la segunda espina aleta anal de peces espada colectados en B.C.S., CA., y ZTPN no cumplen con los supuesto de distribución normal ( $W = 0.973$ ,  $p < 0.05$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $W = 0.951$ ,  $p < 0.05$ ). Por tal razón, las

comparaciones para determinar si existen diferencias estadísticas entre los valores isotópicos promedio de las tres zonas se realizó mediante la comparación por pares utilizando la prueba de Kruskal-Wallis. Se encontraron diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $H_{(2,454)} = 313.8$ ,  $p < 0.01$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $H_{(2,454)} = 115.7$ ,  $p < 0.01$ ) de la segunda espina de la aleta anal de peces espada de B.C.S, CA y ZTPN. Se realizó una prueba a posteriori (prueba Wilcoxon de suma de rango), para determinar entre que zonas habían diferencias, encontrando que hay diferencias significativas entre las tres áreas (Tabla 10; Fig. 40).

Tabla 10. Valores  $p$  de la prueba Wilcoxon entre Baja California Sur (B.C.S.), California (CA) y zona de transición del Pacífico Norte (NPTZ) y valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en espina aleta anal *Xiphias gladius*.

	$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$	
	B.C.S.	CA		B.C.S.	CA
<b>CA</b>	< 0.001	----	<b>CA</b>	< 0.001	----
<b>ZTPN</b>	< 0.001	< 0.001	<b>ZTPN</b>	< 0.001	< 0.001
<b>Zona</b>	<b>Promedio <math>\delta^{15}\text{N}</math> (‰)</b>		<b>Zona</b>	<b>Promedio <math>\delta^{13}\text{C}</math> (‰)</b>	
<b>B.C.S.</b>	14.7		<b>B.C.S.</b>	-14.8	
<b>CA</b>	13.2		<b>CA</b>	-13.8	
<b>ZTPN</b>	10.2		<b>ZTPN</b>	-15.4	

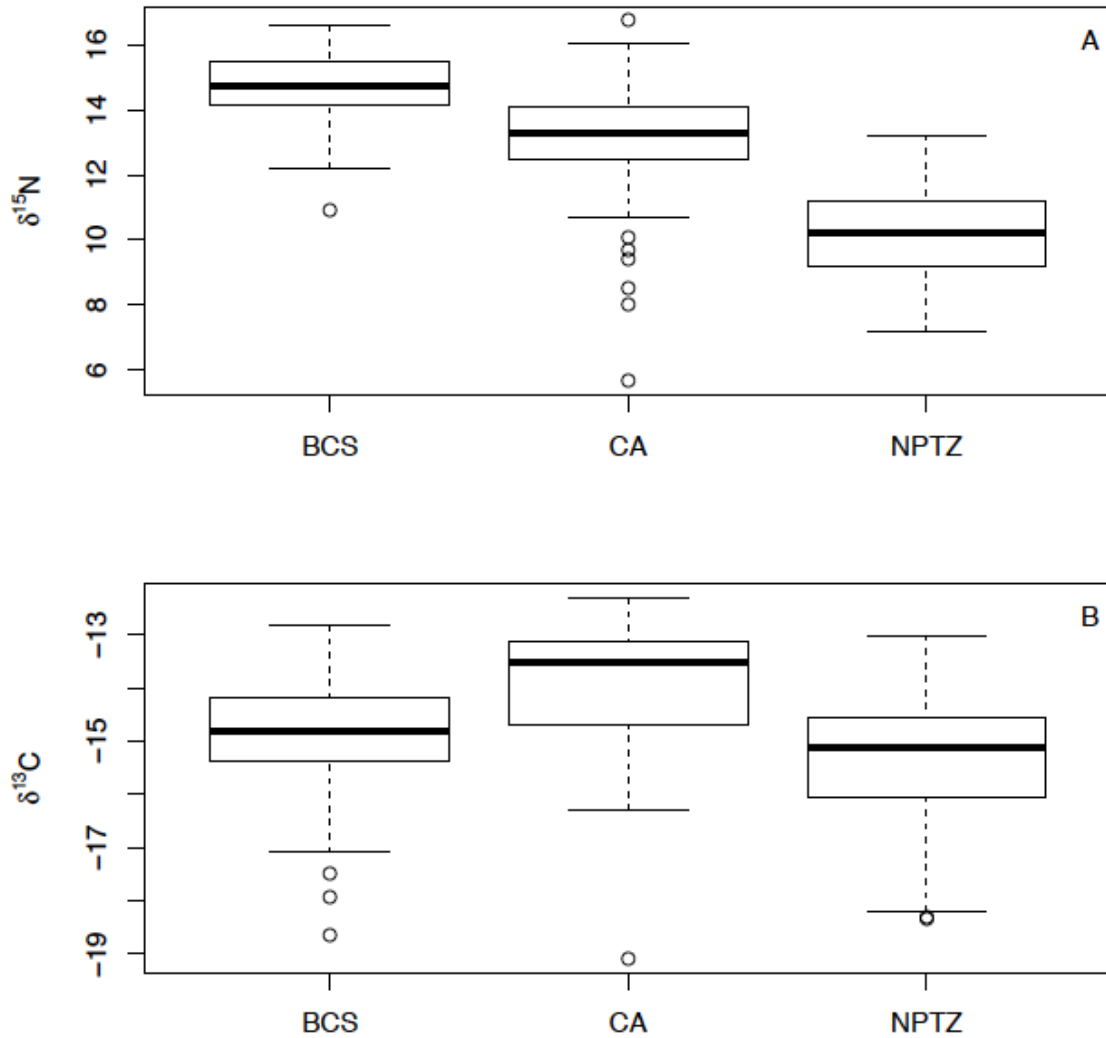


Figura 40. Comparación del valor promedio de  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  (A) y  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  (B) en espina anal de pez espada de Baja California Sur (BCS), California (CA) y zona de transición del Pacífico Norte (NPTZ).

Se determinó que los valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  en músculo de pez espada de las tres zonas cumplían con los supuestos de distribución normalidad ( $W = 0.961$ ,  $p > 0.05$ ) y sus varianzas eran homogéneas ( $\chi^2_{(2)} = 5.86$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  no cumplen este supuesto ( $W = 0.869$ ,  $p < 0.001$ ). Por tal razón, las comparaciones para determinar si existen diferencias estadísticas entre los valores isotópicos promedio (Tabla 11) de las tres zonas se realizó mediante la comparación por pares utilizando ANOVA. Se determinó que existen diferencias significativas tanto en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $F_{(2,38)} = 16.7$ ,  $p < 0.001$ ), como en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $H_{(2,38)} =$

13.7,  $p < 0.01$ ) de músculo de peces espada de B.C.S, CA y ZTPN. Pruebas a posteriori determinaron que hay diferencia entre los valores promedio de CA-BCS y ZTPN-BCS, pero no entre CA-ZTPN en el isótopo de nitrógeno. Mientras que para los valores isotópicos de carbono, se determinó que no hay diferencias entre los valores de BCS-ZTPN (Tabla 11; Fig. 41).

Tabla 11. Valores  $p$  de las pruebas a posteriori entre Baja California Sur (B.C.S.), California (CA) y zona de transición del Pacífico Norte y valores de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo *Xiphias gladius*.

	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$		
	B.C.S.	CA	B.C.S.	CA	
<b>CA</b>	< 0.005	----	<b>CA</b>	< 0.001	
<b>ZTPN</b>	< 0.001	> 0.05	<b>ZTPN</b>	> 0.05	
<b>Zona</b>	<b>Promedio <math>\delta^{15}\text{N}</math> (‰)</b>		<b>Zona</b>	<b>Promedio <math>\delta^{13}\text{C}</math> (‰)</b>	
<b>B.C.S.</b>	16.6		<b>B.C.S.</b>	-18.2	
<b>CA</b>	14.8		<b>CA</b>	-21.5	
<b>ZTPN</b>	13.6		<b>ZTPN</b>	-17.8	



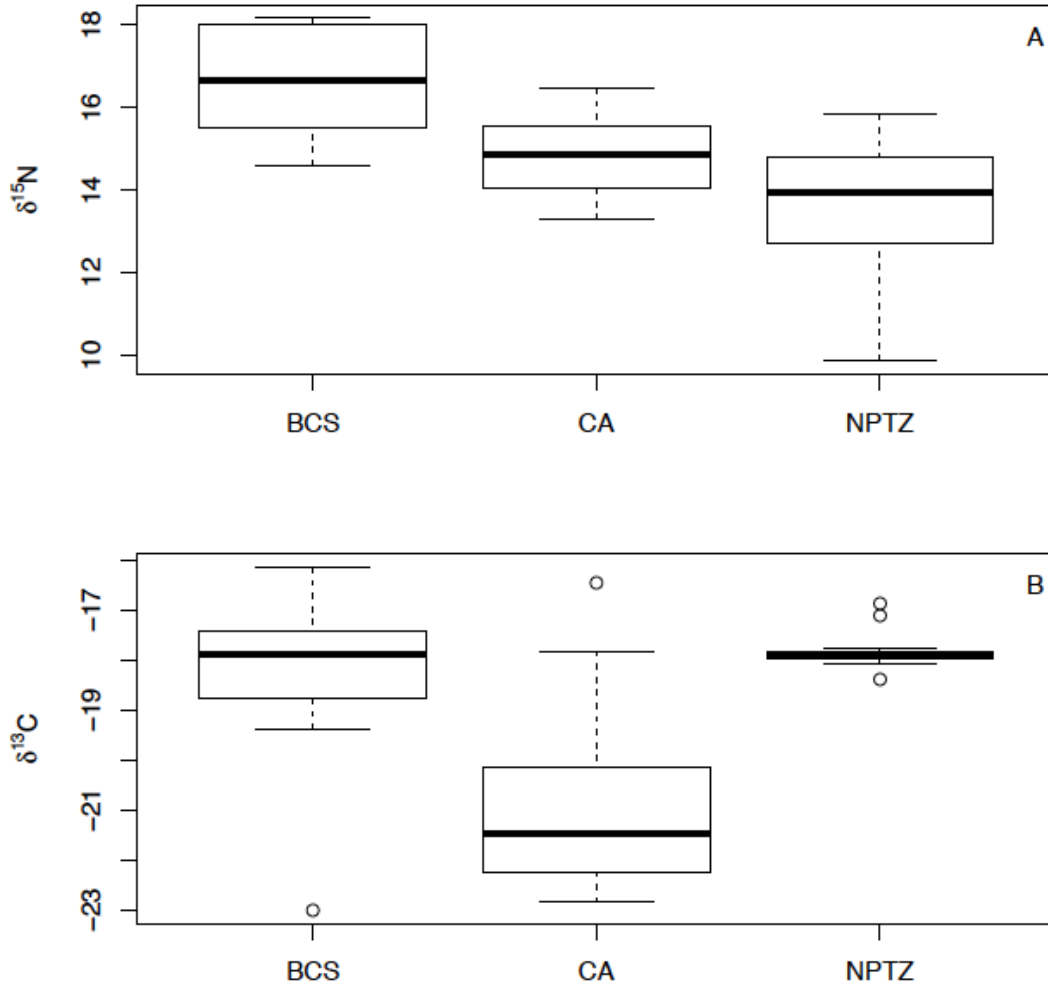


Figura 41. Comparación del valor promedio de  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  (A) y  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  (B) en músculo de pez espada de Baja California Sur (BCS), California (CA) y zona de transición del Pacífico Norte (NPTZ).

### 8.6 Comparación de valores isotópicos de marlin rayado y pez espada de B.C.S.

Se determinó que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $W = 0.98$ ,  $p < 0.05$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $W = 0.94$ ,  $p < 0.001$ ) en espina no presentan una distribución normal. Mediante la prueba Wilcoxon de suma de rango se determinó que existen diferencias significativas entre los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $Z = 5845.5$ ,  $p < 0.05$ ) y  $\delta^{13}\text{C}$  ( $Z = 4348$ ,  $p < 0.001$ ) en polvo de espina de pez espada y marlin rayado colectados en Baja California Sur (Tabla 12).

De la misma manera se determinó que tanto los valores de músculos de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $W = 0.97$ ,  $p > 0.05$ ), como los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $W = 0.96$ ,  $p > 0.05$ ) presentaron una distribución normal. Asimismo, sus varianzas fueron homogéneas, tanto para los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $\chi^2_{(1)} = 0.11$ ,  $p > 0.05$ ) como para  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\chi^2_{(1)} = 0.1$ ,  $p > 0.5$ ).

Mediante una prueba t-student se determinó que hay diferencias significativas en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $t = 4.35$ ,  $p < 0.001$ ) en músculo entre marlin rayado y pez espada, mientras que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $t = -0.76$ ,  $p > 0.05$ ) no son significativamente diferentes. (Tabla 12). Es importante tener en cuenta que tanto las tallas, como las edades determinadas para ambas especies fueron similares. Para marlin rayado el rango fue de 191 a 227 cm LMF (4 a 8 años), en tanto que para el pez espada fue de 143 a 213 cm LMF (3 a 9 años).

Tabla 12. Valores isotópicos promedio de *Kajikia audax* y *Xiphias gladius* en espina dorsal y anal, respectivamente, y músculo.

	Promedio $\delta^{13}\text{C}$		Promedio $\delta^{15}\text{N}$	
	Marlin rayado	Pez espada	Marlin rayado	Pez espada
<b>Espina</b>	-15.68	-14.85	14.33	14.71
<b>Músculo</b>	-18.16	-17.83	18.48	16.57

Se muestran los valores isotópicos promedio obtenidos en todas las marcas de crecimiento de la espina dorsal y anal (Fig. 42), en donde puede observarse una mayor dispersión de los valores en el marlin rayado (Tabla 12). De la misma manera se realizaron comparaciones de las muestras de músculo de marlin rayado y pez espada, en la que se puede observar las diferencias entre los valores promedio (Fig. 43; Tabla 12).

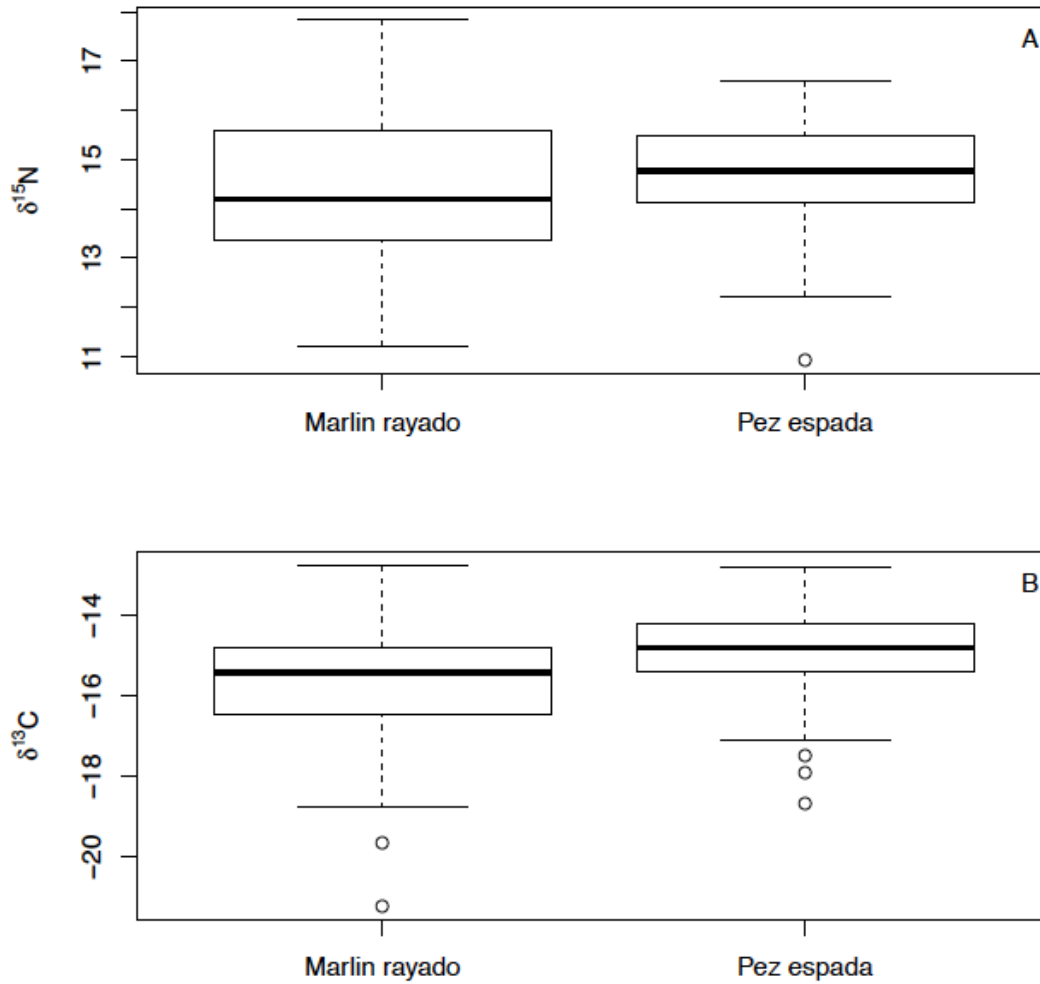


Figura 42. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar de  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  (A) y  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  (B) obtenidos en marcas sistemáticas en espina anal de peces espada y espina dorsal de marlin rayado capturados en Baja California Sur (B.C.S.).

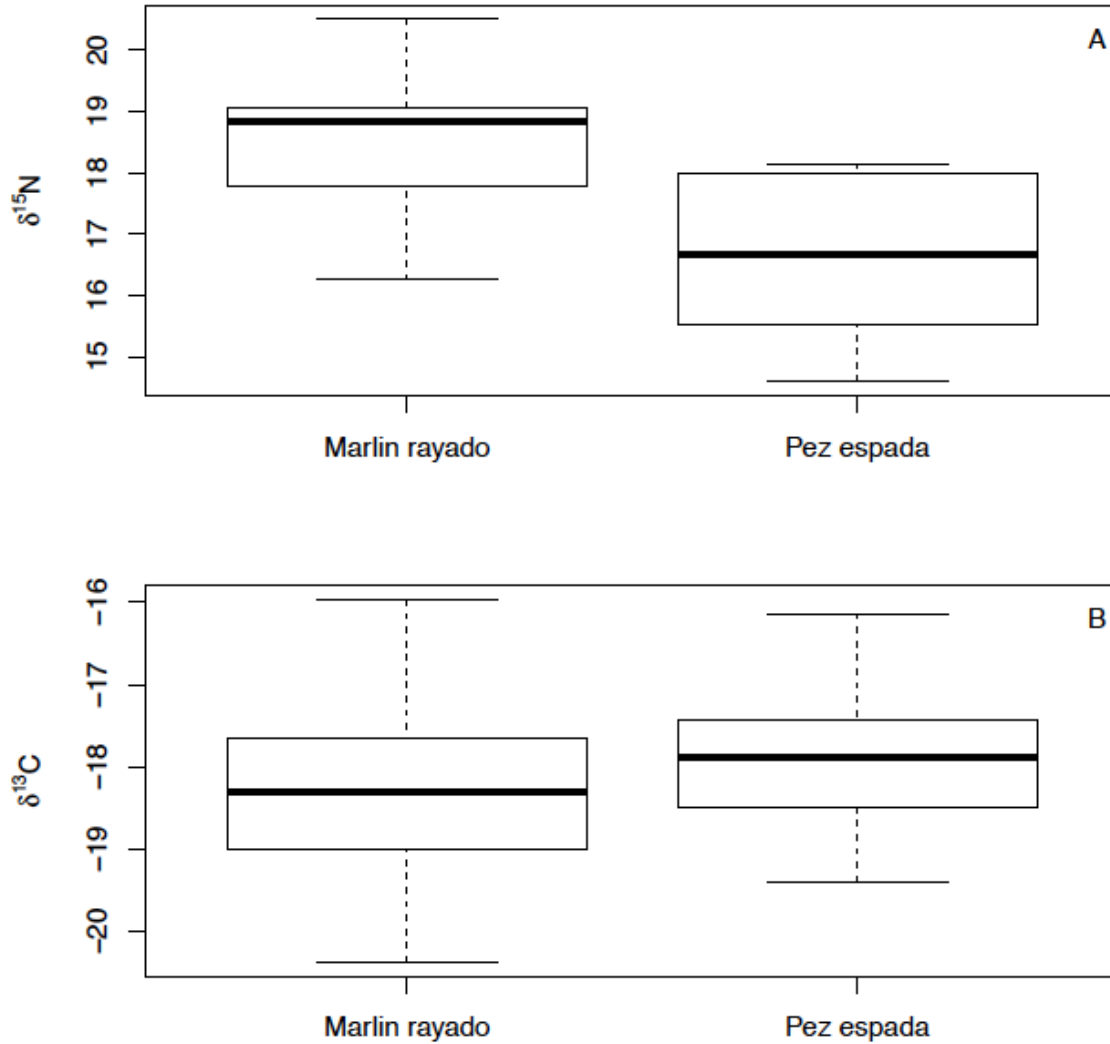


Figura 43. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar de  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  (A) y  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  (B) de músculos de peces espada y marlin rayado capturados en Baja California Sur (B.C.S.).

Para tener una mejor visualización de las diferencias en los valores isotópicos ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) de las dos especies en los diferentes tejidos, se realizó una gráfica comparando los diferentes tejidos en los dos depredadores (Fig. 44).

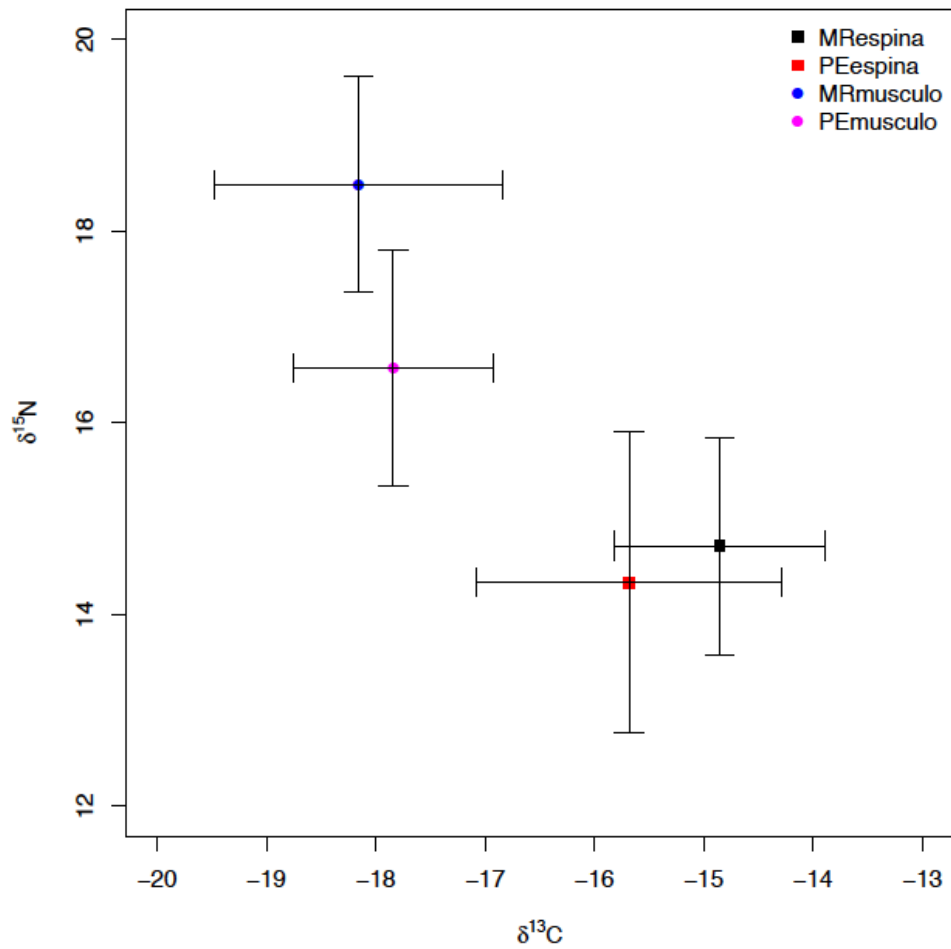


Figura 44. Valores promedio de  $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$  (A) y  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  (B) y desviación estándar de los valores obtenidos en músculos y espinas de peces espada y marlin rayado capturados en Baja California Sur. MR = Marlin rayado, PE = Pez espada.

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1 Prueba de desmineralización

En este estudio, en el proceso de desmineralización se recuperó menos cantidad de colágeno (10%) que lo esperado (20%, Ambrosea, 1990; Szpak, 2011) usando HCl a 0.25 molar. Es sabe, que la proporción de colágeno varía entre taxa, diferentes tipos de huesos en el mismo animal, y a lo largo del crecimiento del mismo individuo (Pasteris *et al.*, 2008).

Por ejemplo, Ambrosea (1990) analizó hueso de la perca del Nilo (*Lates niloticus*) usando un protocolo similar, con una concentración mayor de HCl (1 molar) al utilizado en este estudio, y encontró que la concentración de colágeno en hueso fue de 17.88%. Esta diferencia pudiera ser atribuible a que el porcentaje de colágeno en hueso difiera en el tipo de hueso que este autor haya utilizado o a la diferencia entre especies, pero esto no se puede asegurar hasta que no se realice un análisis de la composición química de los diferentes tipos de huesos en pez espada para determinar si existe diferencia en la cantidad de colágeno entre ellos.

Otro factor que pudiera haber afectado, es que el protocolo de desmineralización que se usó en este trabajo no fuera óptimo para la espina del pez espada; es posible que usar un ácido diferente o una concentración más baja del mismo, pueda ayudar al mejoramiento de éste proceso y obtener una mayor extracción de colágeno de la espina del pez espada.

Aunque los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre el control (polvo de hueso) y las muestras desmineralizadas (colágeno extraído) fueron similares, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  presentaron diferencias (0.86‰) sugiriendo que el HCl removió componentes de carbono tanto del mineral como de las proteínas del hueso. Con respecto a este resultado, Sullivan y Krueger (1981) propusieron que las proporciones isotópicas de carbono de hidroxiapatita representa la dieta completa, esto analizando huesos de 11 especies de mamíferos terrestres. Por lo tanto, cuando la fuente de proteína tiene menos  $^{13}\text{C}$  que la dieta, se esperan diferencias isotópicas grandes entre la apatita y el colágeno (>4.5‰).

En contraste, dietas con  $^{13}\text{C}$  enriquecido en proteína pero con poco  $^{13}\text{C}$  en componentes diferentes a proteínas, produce diferencias isotópicas pequeñas ( $<4.5\text{‰}$ ) entre el colágeno y la apatita. Debido a que el carbonato mineral óseo es derivado del bicarbonato disuelto en sangre, el carbonato óseo integra todos los componentes de la dieta; mientras que el colágeno solo integra carbono desde los aminoácidos ingeridos y sintetizados (Sullivan y Krueger, 1981). Por consiguiente, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dependen tanto de la concentración relativa de carbonato apatita como de las proteínas en hueso y de sus respectivos valores isotópicos.

Brault *et al.* (2014) al analizar dentina en diente de cachalote (tejido compuesto de colágeno e hidroxiapatita) encontraron una diferencia elevada en los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatita-colágeno}}$  ( $2\text{‰}$ ); la discrepancia entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y el colágeno incrementó en las muestras con concentración de colágeno baja y con concentración de carbonato alta; lo opuesto ocurrió cuando las diferencias en los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatita-colágeno}}$  fueron bajas. Considerando lo anterior, con respecto a la diferencia significativa encontrada entre el control (polvo de hueso no tratado) y las muestras desmineralizadas (colágeno puro) pudiera pensarse que la relación en los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{apatita-colágeno}}$ , en el hueso de las espinas de la aleta del pez espada es alta. Sin embargo, para poder tener la certeza de esto, sería necesario medir la concentración de carbonato y su composición isotópica en el hueso de las aletas de los picudos, para entender mejor este patrón isotópico.

A diferencia de lo encontrado en este trabajo, Pinela *et al.* (2010) usando un protocolo de desmineralización similar en huesos de cráneos de 13 especies de mamíferos marinos, encontraron que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  no difieren entre muestras desmineralizadas y sin desmineralizar. Esta discrepancia pudiera estar relacionada con las diferencias potenciales en la composición química de carbono y aminoácidos en colágeno entre huesos de peces y de mamíferos marinos.

## **9.2 Marlin rayado y Pez espada**

No obstante que los peces pelágicos son recursos marinos importantes por ser comercialmente explotables, el conocimiento de su ecología está limitado por las dificultades asociadas con el estudio de especies altamente migratorias. La carencia de esta información ha dificultado el manejo de las pesquerías (Block *et al.*, 2011).

Tanto el marlin rayado como el pez espada, son especies importantes no solo a nivel comercial por sus tasas de capturas en el Océano Pacífico, sino también en la pesca deportiva. Particularmente en el área de Los Cabos se capturaron 39,982 marlines rayados durante el periodo 2000-2010 (Ortega-García *et al.*, 2015); mientras que en la flota palangrera que opera en el Pacífico Oriental reportó un volumen de 24,000 t en 2011 (IATTC, 2013).

Además, estas especies son depredadores tope, los cuales cumplen funciones importantes en el ecosistema, como reguladores en las redes tróficas. Por tal razón, es de suma importancia tener el mayor conocimiento posible acerca de los cambios que éstas puedan presentar a través del tiempo, en relación a sus hábitos alimenticios, así como posibles migraciones.

### **9.2.1 Marlin rayado**

Aunque para marlin rayado se han realizado diversos estudios en varios aspectos de su biología y ecología como son, determinación de edad y crecimiento (Melo-Barrera y Felix-Uraga, 2004, Kopf *et al.*, 2005, 2011; Kopf, 2010), hábitos alimenticios (Abitía-Cárdenas *et al.*, 2011, 2012), migraciones (Domeier, 2006; Sippel *et al.*, 2007; Holdsworth *et al.*, 2009), genética de poblaciones (McDowell y Graves, 2008; Purcell y Edmands, 2011) entre otros, poca información se ha obtenido acerca de su historia de vida, así como información sobre los primeros estadios.

A través de los estudios de determinación de edad y crecimiento, se ha podido establecer que la cuarta espina dorsal (D4) representa con exactitud el crecimiento del marlin rayado (Melo-Barrera *et al.*, 2003; Kopf *et al.*, 2010; Kopf y Davie, 2011). Kopf (2010) reportó que la talla de madurez poblacional (LMF<sub>50</sub>) de las hembras de marlin rayado analizadas fue de 202.6 cm LMF, mientras que los machos maduran a una talla



de 189.8 cm, aunque el 95% de los individuos (hembras y machos) estaban maduros a una talla de 239.8 cm. Considerando lo anterior, y puesto que el 66% de los individuos analizados en este estudio fueron hembras, se tienen organismos juveniles de 4 (195.5 cm de longitud maxilo-furca (LMF)) y 5 (198.2 cm LMF) años y adultos de 6 (208.8 cm LMF) y 8 (219 cm LMF) años. Si bien la presencia de organismos juveniles no es muy común en la pesca deportiva, ya que quienes la practican tratan de capturar organismos grandes, eventualmente puede ocurrir, como lo encontrado en este estudio y en el de Melo-Barrera *et al.* (2003).

El análisis isotópico de la D4 en marlin rayado no mostró una tendencia definida en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , mientras que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  se incrementaron a lo largo de la vida de los individuos, así como la variación entre los mismos.

Estos resultados sugieren que la espina dorsal de los peces picudos puede ser usada para determinar la historia trófica de un individuo a través del tiempo. La carencia de evidencia para un cambio trófico en el tiempo, basado en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , refleja una dieta constante o que las especies presa de las que los peces se alimentan cuando son juveniles continúan siendo un componente importante en la dieta adulta. Particularmente para el marlin rayado, este componente pudieran ser los calamares y peces, que forman parte de su espectro trófico a lo largo de su vida (Abitía-Cárdenas *et al.*, 2011). De acuerdo a Ueyanagi y Wares (1975) y Nakamura (1985) puede presentarse una proporción relativa de cambio en la dieta debida a los cambios de estación y/o región, más que a la talla o el sexo del pez, lo cual apoya nuestros resultados ontogénicos en esta especie.

A pesar de que el nivel trófico de los peces marinos puede aumentar conforme la talla del depredador o el peso (Jennings *et al.*, 2002; Estrada *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2006; Ménard *et al.*, 2007), no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la talla (LMF) o peso del marlin rayado con respecto a los valores  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo y espina, aunque para  $\delta^{13}\text{C}$  en espina un leve incremento en los valores fue observado. Para esta misma zona Torres-Rojas *et al.* (2013) tampoco encontraron una relación entre la talla (98 a 228 cm) y los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  en músculos de esta especie.

Para el caso de estudio el hecho de que los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en los anillos de crecimiento no presenten cambios significativos indica que no existe variación en la dieta a lo largo de la vida. A diferencia de estos resultados, Abitía-Cárdenas *et al.* (2011, 2012) encontraron que el marlin rayado exhibe cambios en su dieta con la edad. Sus hallazgos están basados en muestras de dos grupos, y estos fueron a) marlines con longitud posorbital (LPO)  $\leq 158$  cm muestreados en Mazatlán, México (Abitía-Cárdenas *et al.*, 2012) y marlines con LOP  $\leq 180$  cm muestreado en Cabo San Lucas, México (Abitía-Cárdenas *et al.*, 2011) que consumen menos presas en número y biomasa, y b) marlin con LOP  $> 158$  cm en Mazatlán y  $> 180$  cm LOP en Cabo San Lucas, México, que consumen más presas en número y biomasa.

Es probable que los cambios en la dieta con respecto a cierta talla no sean suficientes para ser evidentes en los valores isotópicos. Por ejemplo, es posible que si un organismo, de comer sardina cambiara a alimentarse de anchoveta, tendría señales isotópicas similares, lo que podría generar un caso de equivalencia ecológica. Un ejemplo de un cambio extremo en la alimentación ha sido observado en los valores isotópicos del tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), en individuos mayores a 300 cm de longitud donde un cambio de dieta de peces a mamíferos marinos (ej. pinnípedos) se refleja en un aumento de 3‰ en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Estrada *et al.*, 2006).

A diferencia de todos los estudios previos que han intentado describir cambios ontogénicos en la dieta de marlin rayado (Abitía-Cárdenas *et al.*, 2011, 2012) y que no han cubierto todas las tallas, en este estudio se contó con información isotópica de especímenes desde 1 a 8 años sin encontrar ningún cambio isotópico de dieta a través de la historia de vida.

Diversos estudios han demostrado que en zonas de surgencia costera, ocurre un enriquecimiento de  $^{13}\text{C}$  en el carbono inorgánico en la base de la red trófica; debido a los rápidos afloramientos de fitoplancton inducidos por la mezcla de aguas profundas ricas en nutrientes hacia la capa superficial (Goering *et al.*, 1990; Wainright y Fry, 1996; Hobson y Schell, 1998). Además, en regiones lejanas de la costa, donde los nutrientes son limitados, la tasa de crecimiento del fitoplancton puede ser más baja que en

regiones productivas de surgencia, permitiendo valores bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  (Rau *et al.*, 1982; Burton y Koch, 1999). Como se ha validado, valores bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  pueden ser encontrados en hábitats lejanos de la costa y que éstos se van incrementando en aguas costeras. De acuerdo a los resultados encontrados, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en espina D4 mostraron un claro incremento a medida que el marlin rayado crece. Aunque se tiene muy poca información sobre el movimiento de las larvas y juveniles de marlin rayado (Bromhead *et al.*, 2004), éstos resultados sugieren un cambio de hábitat y área de alimentación.

Se ha determinado que los juveniles de marlin rayado migran de zonas oceánicas a regiones costeras en el momento en que son adultos maduros (Bromhead *et al.*, 2004), aunque es probable que regresen a áreas oceánicas (ej. el área de las Islas Revillagigedo) a desovar (Squire y Suzuki, 1978; González-Armas *et al.*, 2006), cambiando las zonas de alimentación en preparación para el desove (González-Armas *et al.*, 1999; Domeier, 2006).

Esta observación también es soportada por datos de captura pesquera, porque solamente algunos pocos juveniles son capturados en las áreas de pesca (González-Armas *et al.*, 2006). El valor promedio de  $\delta^{13}\text{C}$  en espina D4 reportados en este estudio ( $-15.4\text{‰}$ ; Tabla 3) es similar con los valores isotópicos reportados en otros depredadores tope capturados cerca de Cabo San Lucas, B.C.S., y en los cuales se han muestreado estructuras duras, como diente de tiburón azul *Prionace glauca* ( $-15.2\text{‰}$  corona del diente; Polo-Silva *et al.*, 2012), pero diferente de otras especies de picudos, como el marlin azul *Makaira nigricans* ( $-16.22\text{‰}$  músculo; Torres-Rojas *et al.*, 2013).

Es probable que las diferencias puedan estar relacionadas al tipo de tejido utilizado. No todos los especímenes de marlin rayado exhiben el mismo perfil isotópico de nitrógeno y carbono; por lo que alguna variabilidad de presas y uso de hábitat puede afectar la preferencia de presa (Estrada *et al.*, 2006).

Aunque McDowell y Graves (2008) establecieron que los stocks de marlin rayado de México y California son genéticamente diferentes, hay estudios con marcas

satelitales que demuestran claramente migración entre estas zonas. Datos de algunos marlines rayados marcados en la punta de Baja California Sur indican un desplazamiento predominantemente hacia el noroeste del Sur de California (Domeier, 2006).

Los movimientos horizontales del marlin rayado están divididos en dos grupos, los que dejan el área donde han sido marcados, y los que permanecen en la misma localidad donde han sido capturados (Holts y Bedford, 1990). Las marcas satelitales indican que las tasas y patrones de migración de marlin rayado son altamente variables, dependiendo de la madurez y condición alimenticia.

Algunos peces se moverán más lejos que otros; y es posible que la mayoría eventualmente se mueva a otras áreas del Pacífico (Squire y Au, 1990). La alta variabilidad encontrada en los valores isotópicos promedio de nitrógeno (de hasta 6‰), pudiera reflejar el hecho de que una proporción de los especímenes de marlin no se hayan alimentado en aguas adyacentes a Cabo San Lucas. Lo que coincide con los resultados de marcado encontrados por Domeier (2006), ya que éstos muestran movimientos de marlin rayado hacia California.

A este respecto, Burton y Koch (1999) argumentan que las diferencias geográficas entre los valores isotópicos en los productores primarios (diferencias en productividad, tasa de fotosíntesis, mezcla y otros procesos) marcan la red trófica desde su base hasta los depredadores tope. Se ha determinado que existe un amplio gradiente latitudinal (norte-sur) en los valores isotópicos de nitrógeno (Saino y Hattori, 1987).

Los valores  $\delta^{15}\text{N}$  de materia orgánica particulada (MOP) en trampas de sedimento muestran una tendencia de incremento de los valores desde el norte, fuera de Columbia Británica (2.8‰; Wu *et al.*, 1999) hasta el sur, en la Cuenca de San Pedro (33°33'N 118°30'W; 8‰; Altabet *et al.*, 1999) y cerca de la punta de la península de Baja California (10.2‰; Voss *et al.*, 2001).

Este gradiente ha sido relacionado con los patrones espaciales en la reducción de  $\text{NO}_3^-$  en la surgencia de fitoplancton en el Ecuador, y al norte con los efectos de desnitrificación que se producen en la capa mínima de oxígeno (Olson *et al.*, 2010).

Considerando los valores isotópicos de línea base, los cambios entre regiones que son reflejados en depredadores tope sugieren la posibilidad de que esta especie se esté alimentando en diferentes áreas y luego se mueva a aguas cercanas a Cabo San Lucas. Puesto que la variación en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  a través de la vida de cada pez es elevada (2 a 4‰), es posible que este reflejando diferentes hábitats de alimentación, cercano y lejano a la costa.

### **9.2.2 Pez espada**

A pesar de su elevado valor comercial, que soporta pesquerías comerciales a lo largo de su distribución, con capturas anuales a nivel mundial de 100,000 t (Abecassis *et al.*, 2012), y de su importancia como uno de los depredadores tope del océano, se sabe relativamente poco acerca del hábitat y comportamiento del pez espada (Carey y Robinson, 1980).

Las edades analizadas en este estudio incluyeron organismos de 2 a 11 años, sin que se presentara una edad común predominante en las tres zonas. En un trabajo previo usando la segunda espina de la aleta anal (A2) para determinar la edad, Arocha y Lee (1996) clasificaron como juveniles de pez espada a individuos de 2 a 6 años, con longitud maxilo-furcal (LMF, cm) <177 cm, y a adultos como individuos mayores de 6 años, con LMF superior a 177 cm. Considerando lo anterior, las muestras analizadas correspondieron tanto a juveniles como a adultos.

El análisis isotópico de las marcas de crecimiento en la A2 y en músculo indicó que no existe una relación significativa entre los valores isotópicos de N y C en las marcas de crecimiento con respecto a la edad o la talla en las tres zonas. Solamente se encontró una relación significativa para los valores isotópicos de nitrógeno en músculo con respecto a la talla en B.C.S., lo cual puede ser debido a que este tejido solo representa información de aproximadamente tres meses (Ménard *et al.*, 2007); mientras que el hueso representa un tiempo mayor de información. Es posible que en tres meses los animales hayan migrado y su señal no solo se haya visto afectada por

alimentación, sino también por cambios en la zona donde se alimenta, a diferencia de la espina que integra toda la información del animal.

Asimismo, los perfiles generales de  $\delta^{15}\text{N}$  para las tres zonas, presentaron diversas tendencias con diferentes proporciones de individuos en las tres zonas, siendo las más predominantes la disminución de los valores, presentándose en individuos de B.C.S. y California, mientras que en la ZTPN se registró un ligero aumento de los valores a través del tiempo.

En general, varios estudios han determinado que la talla de las presas de los depredadores tope aumenta conforme se incrementa la talla de estos últimos (Estrada *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2006; Letelier *et al.*, 2009; Young *et al.*, 2010a), aunque en algunos casos la relación que existe entre la longitud de la presa y del depredador es baja o inexistente (Ibáñez *et al.*, 2004; Peristeraki *et al.*, 2005; Young *et al.*, 2006). Mediante análisis de contenido estomacal se ha determinado la dieta del pez espada (Hernández-García, 1995; Ibáñez *et al.*, 2004; Chancollon *et al.*, 2006; Potier *et al.*, 2007; Young *et al.*, 2010a), encontrando que las posibles diferencias en la composición de las presas se da básicamente dependiendo de la zona de muestreo (Clarke *et al.*, 1995; Hernández-García, 1995; Chancollon *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2006; Castillo *et al.*, 2007), sin tener relevancia o ser significativo el tamaño del depredador (Stillwell y Kohler, 1985; Ibáñez *et al.*, 2004; Potier *et al.*, 2007).

La alimentación del pez espada en etapas tempranas (larvas) se basa principalmente en larvas de peces superficiales como escómbridos, exocoetidos e istioforidos, así como de larvas de pez vela (Arata, 1954), mientras que en estadios juveniles se alimenta de calamares, peces y crustáceos pelágicos (Scott y Tibbo, 1968), lo que pudiera generar variabilidad significativa en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en individuos de talla media (Young *et al.*, 2010a).

Sin embargo, en la dieta de los adultos, los calamares son el ítem presa más importante y los peces el segundo ítem alimenticio en importancia (Scott y Tibbo, 1968;

Ibáñez *et al.*, 2004; Markaida y Hochberg, 2005), siendo posible que estas presas se registren en los perfiles isotópicos de esta especie.

Es probable que más que tener una dieta especialista esta especie se alimente del recurso que presente una abundancia mayor (Carey y Robinson, 1980; Stillwell y Kohler, 1985; Castillo *et al.*, 2007), que en las tres zonas analizadas, podrían ser los cefalópodos (Toll y Hess, 1981; Stillwell y Kohler, 1985; Hernández-García, 1995; Markaida y Hochberg, 2005).

Solamente el estudio realizado por Young *et al.* (2006) en el este de Australia, ha indicado cambio de hábitos alimenticios a través de la vida del pez espada. En tallas <100 cm (longitud ojo-furca, LOF), los peces nomeidos fueron los más dominantes; mientras que en la dieta de organismos >100 cm LOF, lo fueron los cefalópodos de la familia Ommastrephidae.

Sin embargo, en investigaciones al oeste de Australia, esto no se registró, lo que indica que los posibles cambios de dieta no están relacionados con cambios en la talla máxima de los depredadores (Stillwell y Kohler, 1985; Young *et al.*, 2010a; Madigan *et al.*, 2012).

Es posible que la disponibilidad de presas y los cambios en alimentación dependiendo de la zona, hayan generado que los perfiles isotópicos generales de  $\delta^{15}\text{N}$ , así como los individuales, no sigan una tendencia al aumento como hubiera sido esperado y como sucede en otros depredadores tope como, el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*, Estrada *et al.*, 2006). De la misma manera, podría existir, teóricamente, un tamaño óptimo de las presas disponibles en el ambiente, en el cual se minimiza el costo y tiempo de captura, y que no siempre son los organismos más grandes, ajustándose a lo señalado por la teoría de forrajeo óptimo (Scott y Tibbo, 1968; Hughes, 1979). Es posible que los peces espada depreden sobre cardúmenes de calamares con una distribución de tamaños muy acotados (Scott y Tibbo, 1968).

Asimismo, es importante tener en cuenta que la tasa de crecimiento de esta especie es alta en el primer año, pero que disminuye notoriamente después de éste (Ehrhardt, 1992; Sun *et al.*, 2002; Chong y Aguayo, 2009), lo que probablemente no

permite un aumento marcado en la capacidad de obtener presas de mayor tamaño a través de la vida. Esto pudiera reflejarse en la mayoría de los perfiles isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  (34% de todos los individuos).

Igualmente, otro factor importante que puede afectar los valores isotópicos encontrados en estos organismos, es la influencia de las diferentes regiones o la biogeografía de los isótopos (Popp *et al.*, 2007).

Estas diferencias en la línea base de los valores isotópicos podrían explicar la existencia de las otras dos tendencias en  $\delta^{15}\text{N}$ , aumento (25% de todos los individuos) y disminución (32% de todos los individuos). Pueden haber considerables variaciones en valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en la base de la red trófica entre ecosistemas (Minagawa y Wada, 1984).

La composición de  $\delta^{15}\text{N}$  en productores primarios establece el valor de  $\delta^{15}\text{N}$  en línea base isotópica y que depende, tanto de la fuente de nutrientes (ej. nitrato, amonio,  $\text{N}_2$ ), como de la subsecuente transformación biológica (ej. desnitrificación en zonas de mínimo oxígeno, fijación de  $\text{N}_2$ ), así como del fraccionamiento isotópico asociado con asimilación de nitrógeno, y del grado al cual los productores primarios reducen el nitrógeno disponible (Sigman *et al.*, 1997; Altabet, 2001; Deutsch *et al.*, 2001).

Tanto la fuente, como la absorción de nutrientes por el fitoplancton son afectados por procesos oceanográficos físicos y químicos (Graham *et al.*, 2010). Por ejemplo, en regiones de surgencia se registran valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre 5-7‰ (Sigman *et al.*, 1997) y que es liberado a la zona eufótica donde está disponible para absorción biológica (Saino y Hattori, 1987).

Alternativamente, en áreas donde la columna de agua es altamente estratificada y los nutrientes están limitados en la zona eufótica, la fijación de nitrógeno resulta en un valor de  $\delta^{15}\text{N}$  cercano a 0‰ (Carpenter *et al.*, 1997; Karl *et al.*, 1997; Deutsch *et al.*, 2001). Es posible que aunque todos los peces se alimentaron del mismo tipo de presas, lo hayan hecho en diferentes zonas que pudieron ser afectados por las distintas fuentes de nitrógeno, ya que los valores isotópicos de línea base permanecen a través de toda la red trófica, incluyendo a los depredadores tope.



En los perfiles isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$ , también se presentaron tres diferentes tendencias: el 39% de los peces registraron disminución, el 32% un incremento y el 27% una mínima variación en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  a través de la vida. De acuerdo con Arocha y Lee (1996) los movimientos de esta especie están posiblemente influenciados por la variación espacio-temporal de la alimentación.

Se ha establecido que la aparición estacional del pez espada en zonas, como Hawái, esta acoplada a la distribución de las larvas y adultos maduros, indicando una migración a aguas más cálidas (23 – 24 °C) para desovar, mientras que los peces que no desovan se mueven entre aguas costeras y oceánicas (Carey y Robinson, 1980; Nakamura, 1985).

La identificación de áreas de desove ha sido difícil, debido a que la temporada es muy extensa, y por lo tanto, el área donde se encuentran las larvas también lo es (Grall *et al.*, 1983). Desafortunadamente, no se han podido establecer las rutas migratorias o la estructura poblacional en el océano Pacífico (Reeb *et al.*, 2000). Luego del desove, el pez espada se mueve a las zonas de alimentación, con una gran agregación de hembras en aguas frías a latitudes superiores, mientras que machos pequeños dominan las capturas en bajas latitudes (Nakamura, 1985; DeMartini *et al.*, 2000).

Si bien, la variación en porcentaje entre las tres tendencias no es alta, es probable que esta especie tienda a moverse de zonas costeras a aguas más oceánicas o de latitudes medias a altas. Graham *et al.* (2010) menciona que a una escala relativamente pequeña dentro de las cuencas oceánicas, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  reflejan productividad, con valores elevados en regiones productivas cercanas a la costa, así como zonas de surgencia. Lo anterior, debido a que durante la fotosíntesis el fitoplancton asimila preferentemente  $^{12}\text{C}$ , y los afloramientos fitoplanctónicos que impulsan nutrientes a las zonas de surgencia presentan un incremento de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . En regiones oceánicas o lejanas a la costa, especialmente en la región ecuatorial donde la columna de agua está fuertemente estratificada, niveles de nutrientes bajos generan tasas de crecimiento bajas, y los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en productores primarios son bajos.

Asimismo, el gradiente en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre productores primarios en zonas costeras y ecosistemas pelágicos oceánicos, también se debe a efectos del tamaño del fitoplancton y su geometría, así como las diferencias taxonómicas en el fraccionamiento isotópico (DeNiro y Epstein, 1978; Rau *et al.*, 1982; Popp *et al.*, 1998).

Es posible que los individuos de pez espada muestreados en las diferentes áreas presenten un cambio de hábitat de áreas oceánicas a costeras, ya que sus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentan a medida que crecen. Por otro lado, es probable que si latitud influyera en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , una mayor variación se presentaría en los valores a través de la vida. El movimiento de zonas oceánicas a costeras ha sido observado en algunos depredadores tope, como el tiburón galludo (*Squalus suckleyi*) que en estadio juvenil habita aguas oceánicas, en transición en aguas neríticas, y en etapa adulta habita aguas demersales (Ketchen, 1986; En: Carlisle *et al.*, 2015).

Asimismo, el tiburón salmón (*Lamna ditropis*), como el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*), usan hábitats oceánicos principalmente en etapas juveniles y luego incrementan el uso de la ecoregión nerítica, indicando que es probable que este cambio suceda una vez que han madurado (Kerr *et al.*, 2006; Carlisle *et al.*, 2015). Este comportamiento puede jugar un papel importante en la reducción de la competencia con los conspecíficos más jóvenes o cambios en los requerimientos energéticos.

Es posible que tanto las variaciones en los perfiles isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  como de  $\delta^{13}\text{C}$  estén reflejando una variabilidad natural en el comportamiento de los individuos, la cual se espera en depredadores tope, ya que ésta fluctúa en relación a la relativa disponibilidad de presas, el uso de hábitat el cual puede afectar cambios en la preferencia de las mismas, así como el uso de diferentes estrategias alimenticias (Estrada *et al.*, 2006).

Al comparar los valores isotópicos de músculo con respecto a espina, para marlin rayado y pez espada se encontró que los valores de  $^{15}\text{N}$  son significativamente más enriquecidos en músculo que en espina, esta diferencia puede deberse a dos factores.

El primer factor se relaciona con la composición bioquímica que puede ser diferente entre el músculo y las espinas (dorsal y anal). Por ejemplo, Estrada *et al.* (2005) determinaron una diferencia significativa entre las escamas y el músculo del atún aleta azul (*Thunnus thynnus*), sugiriendo que esto pudo estar relacionado con la diferente composición de aminoácidos de cada uno de los tejidos.

En particular, la glicina representa el 40% del peso total de los aminoácidos en las escamas, mientras que solamente contribuye con el 5% del total del peso de los aminoácidos en el músculo. Además, tanto el contenido orgánico total como la abundancia relativa de los aminoácidos pueden generar diferencias en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre los tejidos (Estrada *et al.*, 2005; Macneil *et al.*, 2006; Polo-Silva *et al.*, 2013).

Es clara la necesidad de un mejor conocimiento sobre los componentes específicos de  $^{15}\text{N}$  en los tejidos analizados de los peces marinos (Estrada *et al.*, 2005). Desafortunadamente, no se ha llevado a cabo la determinación de la composición de aminoácidos en este tipo de tejidos en ninguna especie de picudos y por tanto ninguna comparación entre ellos.

El segundo factor importante, es el periodo sobre el cual la concentración isotópica de una dieta particular será reflejada en el tejido, y que en parte dependerá de la tasa de recambio del tejido (Tieszen *et al.*, 1983; Hobson y Clark, 1992).

Tejidos con tasa de recambio rápida pueden reflejar una dieta reciente mientras que aquellos con tasa de recambio lenta reflejarán el promedio de dieta a largo plazo (Hobson y Clark, 1992).

En consecuencia como las espinas (dorsal y anal) no son un tejido metabólicamente activo como el músculo, su tasa de recambio reflejará la dieta individual durante el crecimiento de la misma (Tieszen *et al.*, 1983). De esta forma, es de esperarse que los valores de colágeno de la espina dorsal que pueden integrar la composición isotópica de la dieta sobre un periodo de aproximadamente un año por anillo de crecimiento, mientras que el músculo solamente refleja información isotópica de aproximadamente tres meses.

Es posible que tanto la composición de aminoácidos de los tejidos como las diferencias en la tasa de recambio que cada uno de ellos representa, pueden ser

factores importantes en la explicación de la diferencia en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ . Además, es importante conocer la relación isotópica que existe entre la banda de crecimiento más reciente en las espinas de picudos y el tejido muscular, ya que esto puede ser útil para muestreos no-letales, o por lo menos no dañar al pez.

### **9.3 Comparación entre los valores isotópicos de pez espada colectados en B.C.S., CA y ZTPN**

La variación espacial observada en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de pez espada puede estar relacionada principalmente a variaciones observadas en la fuente, donde la composición isotópica de la fijación de nitrógeno puede variar entre ecosistemas. Debido a esta característica, el análisis de isótopos estables ha sido extensivamente aplicado a migraciones en animales marinos (Hobson, 1999; Fry *et al.*, 2003; Hobson, 2005; Ménard *et al.*, 2007; Hobson, 2008; Graham *et al.*, 2010; Olson *et al.*, 2010; Ruiz-Cooley y Gerrodette, 2012).

El concepto general permite el uso de los valores isotópicos de un animal como una “marca natural”, para rastrear sus movimientos a través de diferentes ecosistemas (Fry, 1981). Los tejidos de los animales adquieren la composición isotópica o marca natural del área donde se han alimentado, puesto que la presa refleja los valores isotópicos de la zona; estos valores pueden ser usados para determinar rutas de migración, regiones de crianza, y mapas de dispersión de especies (Hobson, 1999, 2005, 2008; Cherel *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2010). Así, al determinar la composición isotópica y relacionarla con los valores isotópicos en la base de la red trófica, los animales pueden ser vinculados a regiones particulares (Hobson, 1999, 2005; Fry *et al.*, 2003; Cherel *et al.*, 2007).

Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en la base de la red trófica, exhiben variaciones y patrones geográficos en el Océano Pacífico (Saino y Hattori, 1987; Altabet *et al.*, 1988, 1999; Sigman *et al.*, 1997; Altabet *et al.*, 2001). La composición isotópica de nitrógeno que los productores primarios fijan y los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en la base de la red trófica, son dependientes de varios factores (Sigman *et al.*, 1997; Montoya *et al.*, 2002; Graham *et al.*, 2010), pero en particular la fuente de nutrientes (ej. nitrato, amonio,  $\text{N}_2$ ) que los

productores primarios usarán puede generar variación en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en toda la red trófica (Sigman *et al.*, 1997; Montoya *et al.*, 2002; Graham *et al.*, 2010).

Debido a lo anterior, la producción de nitrógeno nuevo mediante la fijación de nitrato, se puede generar, mediante nutrientes provistos por surgencia en la zona eufótica o por fijación de  $\text{N}_2$ , gracias a diazótrofos planctónicos en aguas oligotróficas (Montoya *et al.*, 2002). La fijación de  $\text{N}_2$ , que es la conversión de  $\text{N}_2$  gaseoso a  $\text{NH}_4^+$  por algunas cianobacterias, añadiendo nitrógeno nuevo al océano (Wada y Hattori, 1976), y puede ser la mayor fuente de este elemento en algunos ambientes marinos (Minagawa y Wada, 1984; McClelland y Montoya, 2002).

El fitoplancton que produce la materia orgánica basada en fijación de  $\text{N}_2$  es isotópicamente empobrecido en comparación con el promedio del nitrógeno oceánico (Minagawa y Wada, 1984). Estos diazótrofos oceánicos típicamente tienen valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de  $-2$  a  $-1\text{‰}$  (Montoya *et al.*, 2002), mientras que el nitrato de agua profunda tiene valores de  $4.8\text{‰}$  ( $\pm 0.2$ ) en todo el mundo (Sigman *et al.*, 1997). Asimismo, durante la fijación de  $\text{N}_2$ , el fraccionamiento isotópico casi no ocurre (Wada y Hattori, 1976), y el nitrato recién fijado presenta una composición isotópica cercana a la del substrato atmosférico  $\text{N}_2$  (Kienast *et al.*, 2002).

Por lo que, las redes tróficas que se basan en fijación de  $\text{N}_2$  en aguas oligotróficas presentan valores más bajos de  $\delta^{15}\text{N}$  a través de todos los niveles tróficos, a diferencia de una red trófica que habita aguas más productivas donde el fitoplancton está utilizando nitrógeno de surgencia (Altabet, 2001; McClelland y Montoya, 2002).

Por otro lado, en ausencia de la concentración adecuada de  $\text{O}_2$ , se presenta desnitrificación en la columna de agua. La desnitrificación, es la reducción de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$  por bacterias, presentando un aumento en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de  $\text{NO}_3^-$ , puesto que los productores primarios consumen preferiblemente  $^{14}\text{NO}_3^-$  (Saino and Hattori, 1987; Voss *et al.*, 2001). Este proceso ocurre en áreas localizadas de elevada productividad superficial y baja concentración de oxígeno o zonas mínimas de oxígeno (ZMO).

Se define la ZMO como la masa de agua de profundidad media con concentraciones de oxígeno por debajo de  $10 \mu\text{mol l}^{-1}$  (Somes *et al.*, 2010). El Pacífico

Oriental Tropical Norte (POTN) es la zona más grande de mínimo oxígeno, exhibiendo altas tasas de desnitrificación en la columna de agua. El límite sur del PONT-ZMO empieza aproximadamente a los 8°N y se produce entre las profundidades de 300 a 600 m (Voss *et al.*, 2001). Otros posibles procesos que contribuyen a los valores altos de  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  en la ZMO pueden ser la degradación y oxidación del sedimento, así como partículas suspendidas con valores elevados de  $\delta^{15}\text{N}$  (Voss *et al.*, 2001).

Diferencias geográficas en la intensidad de la surgencia y la extensión de la zona de desnitrificación sub-superficial contribuyen a diferencias a gran escala en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  del fitoplancton.

Con la información antes proporcionada sobre los factores que afectan los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en la base de la red trófica y para el caso de los valores obtenidos en los peces espada muestreados en Baja California Sur, pueden estar influenciados por la zona mínima de oxígeno y procesos de desnitrificación que se encuentra en la boca del Golfo de California (Altabet *et al.*, 1999), permitiendo una elevación en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en comparación con las muestras de peces espada de California y de la zona de transición del Pacífico Norte (ZTPN).

Asimismo, cabe resaltar que se presenta una atenuación de los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de la línea base con la latitud y que esto es fundamentalmente dado por la subcorriente de California que transporta aguas ricas en  $\delta^{15}\text{NO}_3^-$  hacia el norte originándose en el Pacífico oriental tropical (Kienast *et al.*, 2002), mientras que la salinidad baja y aguas superficiales con  $\text{O}_2$  disuelto elevado de la Corriente de California son transportados hacia el Ecuador (Reid, 1997). Esto permite que los valores de la MOP colectados en diferentes zonas reflejen un patrón en los valores isotópicos de nitrógeno, como por ejemplo, en la Cuenca de San Pedro, California (8‰; Altabet *et al.*, 1999) los valores son más bajos que los obtenidos en la punta de la península de Baja California Sur (10.2‰; Voss *et al.*, 2001).

También se determinó una diferencia en los valores promedio tanto de espina anal como de tejido muscular, en los peces espada colectados en las tres zonas, sugiriendo que posiblemente los organismos analizados en este trabajo no fueran tan

migratorios, como ha sido determinado por estudios previos (Reeb *et al.*, 2000; Sedberry y Loefer, 2001; Dewar *et al.*, 2011; Abecassis *et al.*, 2012) y que quizá estos depredadores tope se alimenten principalmente en las zonas donde fueron colectados, no solo en periodos cortos de tiempo (valores en tejido muscular), sino a través de la vida (valores en espina anal), lo que sugeriría cierta fidelidad al sitio.

Carey y Robinson (1980) determinaron que es posible que algunos individuos de esta especie presenten un comportamiento “de fidelidad al sitio” a través del tiempo, lo cual es concordante con lo encontrado en este estudio. Por otro lado, mediante estudios genéticos (ADN-mitocondrial y ADN LDH-A) se ha determinado que existe una diferenciación genética en el pez espada del Pacífico, sugiriendo que esta especie, independientemente de su potencial altamente migratorio, probablemente presente un comportamiento de filopatría, a zonas de reproducción separadas (Reeb *et al.*, 2000; Alvarado Bremer *et al.*, 2006).

Pequeñas variaciones isotópicas entre los tres grupos hubieran sido observadas, si el pez espada fuera altamente migratorio o si una mezcla poblacional uniforme existiera, debido a que las diferencias regionales isotópicas pueden ser integradas en tiempo y espacio, situación que no se presentó en las muestras analizadas en este trabajo.

Considerando el hecho de que estos peces se están alimentando en diferentes zonas, se compararon los valores isotópicos de músculo de peces espada con valores promedio de las potenciales presas para cada una de las zonas. En el caso de la ZTPN, la presa potencial es el calamar, *Ommastrephes bartramii* con longitud de manto de 357 mm a 495 mm (Seki, 1993). El valor promedio de nitrógeno para *O. bartramii* colectado en ZTPN entre 1999 y 2001 fue de  $13.0 \pm 1.4\text{‰}$  (Parry, 2008).

Es probable que los peces espada capturados en la ZTPN no se hayan alimentado en esta zona, ya que al comparar los valores presa-depredador, apenas hay un enriquecimiento de  $\delta^{15}\text{N}$  de  $0.6\text{‰}$ , cuando este debería ser entre 3 a 5 ‰ (DeNiro y Epstein, 1981).

Independientemente de este resultado, hay diferencias entre las tres zonas, presentándose una marca isotópica distintiva para cada una de ellas, posiblemente los

peces colectados en la ZTPN no se alimentaron ni en California, ni en B.C.S. En el caso de los peces colectados en Baja California Sur, estos fueron comparados con los valores isotópicos, de la presa más común, *Dosidicus gigas* (Makaira y Hochberg, 2005).

El promedio de  $\delta^{15}\text{N}$  de los peces espada colectados en esta área fue de 16.6‰, y el de *D. gigas* fue de 13.5‰ (Tripp-Valdez *et al.*, 2015), siendo la diferencia entre depredador y presa de 3.1‰. Es muy probable que los peces espada que fueron colectados en B.C.S., estén haciendo uso de esta área para alimentarse, o bien de algún ítem que sea un equivalente ecológico de ese calamar en la región, aunque estudios de alimentación han determinado que *D. gigas* es la presa más importante para esta zona (Trujillo-Olvera, 2015).

En el caso del  $\delta^{13}\text{C}$ , también se observaron diferencias significativas en los valores isotópicos en las muestras de espinas, aunque no se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos de tejido muscular entre B.C.S.-ZTPN. En latitudes elevadas, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  han mostrado variación en relación a los valores de los productores primarios (Rau *et al.*, 1982; Goericke y Fry, 1994; Schell *et al.*, 1998), presentándose valores de  $\delta^{13}\text{C}$  más elevados en latitudes bajas (Goericke y Fry, 1994).

Los factores claves que afectan el  $\delta^{13}\text{C}$  del fitoplancton marino son (1) los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y concentración de  $\text{CO}_2$  disuelto ( $[\text{CO}_2]_{\text{acuoso}}$ ) (Goericke y Fry, 1994; Laws *et al.*, 1995; Popp *et al.*, 1998), (2) la composición de la comunidad (especies) y la tasa de crecimiento del fitoplancton (Fry y Wainright, 1991; Laws *et al.*, 1995), y (3) la morfología celular del fitoplancton (Popp *et al.*, 1998).

En regiones frías, la concentración de  $\text{CO}_2$  acuoso es elevada debido a las bajas tasas fotosintéticas, y a que la columna de agua es principalmente estratificada. Cuando ésta concentración es alta, el fraccionamiento asociado con la toma de  $\text{CO}_2$  fotosintético es expresado, permitiendo valores bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  (Goericke y Fry, 1994).

La temperatura superficial que actúa como control, permite que en aguas más frías, que contienen más nutrientes disueltos, incluyendo  $\text{CO}_2$ , se dé una mayor



captación preferencial del isótopo más ligero, ej.  $^{12}\text{C}$ ; mientras que en aguas más cálidas, ya que hay menos  $\text{CO}_2$  disponible resulta en valores  $\delta^{13}\text{C}$  en la MOP relativamente positivos (Rau *et al.*, 1982).

Asimismo, la temperatura, que también controla la tasa de crecimiento fitoplanctónico donde los nutrientes no son limitantes, permite un crecimiento celular más rápido bajo condiciones cálidas, con lo que se presenta una menor captación preferencial del isótopo ligero (Popp *et al.*, 1998). La combinación de baja disponibilidad de  $\text{CO}_2$  y las elevadas tasas de crecimiento, así como el efecto de la temperatura cálida generalmente permiten, enriquecimiento de  $^{13}\text{C}$  y así la elevación de los valores  $\delta^{13}\text{C}$  (Goericke y Fry, 1994).

A este respecto, Auriolles *et al.* (2006) encuentran una significativa correlación entre valores disponibles de  $\delta^{13}\text{C}$  de MOP en el Océano Pacífico noroeste y la latitud ( $r = -0.87$ ,  $p = 0.005$ ), indicando una disminución en latitud de  $\sim 5^\circ$  por cada aumento de 1‰ en  $\delta^{13}\text{C}_{\text{MOP}}$ . Asimismo, se ha sugerido que los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  aumentan del norte al sur en el Pacífico noreste, encontrando que entre  $40^\circ\text{S}$  y  $40^\circ\text{N}$  la mayoría de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de carbono orgánico particulado caen dentro del rango de  $-22$  a  $-18$ ‰ (Fry y Wainright, 1991).

En general, los animales de latitudes altas (California), tiene valores más bajos de  $\delta^{13}\text{C}$  (músculo) que los residentes en latitudes medias. Es posible que la diferencia de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre los peces de California y B.C.S., este indicando la separación entre las zonas de alimentación, debido al gradiente latitudinal que se presenta en el océano Pacífico en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . Esta variación es más marcada en  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo que en anillos de crecimiento, y es probable que las diferencias que existen entre uso de hábitat (costero vs pelágico) entre las diferentes edades e individuos, permitan que para los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en espinas se enmascare un poco el efecto latitudinal, que fue más evidente en tejidos con una tasa de recambio más alta.

#### **9.4 Comparación de marlin rayado y pez espada capturados en B.C.S.**

De acuerdo a los resultados obtenidos, se estableció que existen diferencias significativas entre los valores isotópicos de ambos depredadores en ambos tejidos (excepto en valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo). Es probable que esto sea el reflejo de un uso de hábitat diferente, de una diferencia en los ítems presa de cada una de las especies y/o de una mezcla de ambos factores.

Nakamura (1985) estableció que el marlin rayado es una especie oceánica epipelágica, que usualmente nada por encima de la termoclina, y que habita en la isoterma en todos los estadios de su ciclo de vida, y que usualmente está confinado a aguas tropicales y subtropicales donde se presenta la termoclina permanente.

Por otro lado, este mismo autor determinó que el pez espada, es una especie oceánica epi- y mesopelágica que presenta una distribución geográfica cosmopolita en aguas tropicales, templadas y algunas veces frías de todos los océanos. Asimismo, se ha demostrado que el pez espada es la especie de picudos, tanto con mayor tolerancia en temperatura como en profundidad, con un rango de temperatura óptimo de 5 °C a 27 °C y de profundidad desde la superficie hasta 550 m (Nakamura, 1985).

Es probable que el hecho de que habiten diferentes zonas (epi- y meso-pelágica) y de que el pez espada tenga acceso a una mayor profundidad, haya permitido que se presenten diferencias significativas entre los valores isotópicos. Esto es posible ya que la sensibilidad al hundimiento de nitrógeno fijado en el océano a los cambios ambientales, como son la circulación oceánica, la productividad o el nivel del mar, puede variar dependiendo de si el proceso de desnitrificación se concentra en la columna de agua o en los sedimentos, afectando la estimación de nitrógeno oceánico (Sigman *et al.*, 2003) y por ende los valores isotópicos de las presas y depredadores que habitan en cada una de estas zonas.

Por otro lado, se ha determinado mediante análisis de contenido estomacal, que dentro de los ítems alimenticios más importantes para el marlin rayado en el área de Cabo San Lucas se encuentran, *Scomber japonicus*, *Sardinops caeruleus*, *Selar crumenophthalmus* y *Dosidicus gigas* (Abitía-Cárdenas *et al.*, 1997, 2012; Torres-

Rojas *et al.*, 2013), mientras que la dieta de pez espada es dominada por especies de calamares medianos a grandes, destacándose las familias Ommastrephidae (*Dosidicus gigas*) y Gonatidae, de los cuales se alimenta en aguas superficiales en la noche en el área de Baja California (Markaida y Hochberg, 2005). La diferencia encontrada en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  tanto en tejido muscular como en polvo de espina entre las dos especies, puede ser atribuida tanto a la diferencia en composición de la dieta (presas consumidas), como a la diferencia en la proporción de las presas que comparten.

Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  promedio de los ítems alimenticios de ambas especies, colectados en Baja California Sur, han sido determinados por Torres-Rojas *et al.* (2013) y Richert *et al.* (2015), indicando que en promedio los valores de peces como *S. crumenophthalmus* ( $15.6 \pm 0.32\text{‰}$ ) y *S. japonicus* ( $17.4 \pm 0.89\text{‰}$ ) que son parte de la dieta de marlin rayado, son más altos que los valores de *D. gigas* ( $14.69 \pm 2.69\text{‰}$ ) (Torres-Rojas *et al.*, 2013; Richert *et al.*, 2015) que es el componente principal en la dieta del pez espada (Markaida y Hochberg, 2005).

Asimismo, Abitía-Cardenas *et al.* (1997, 2012) indican que el marlin rayado presenta cierta plasticidad para adaptarse a la disponibilidad del recurso; mientras que los resultados de contenido estomacal analizado en pez espada en diferentes años en las costas de Baja California, sugiere que no hay cambios drásticos de presas, lo único que puede llegar a cambiar es la composición de tallas de las presas de la familia Ommastrephidae (Markaida y Hochberg, 2005). Estas diferencias en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en las presas, hacen que el marlin rayado presente valores más enriquecidos en músculo que el pez espada.

Para los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en espinas (dorsal y anal) de ambas especies, también se presentaron diferencias significativas, aunque la diferencia fue baja ( $0.38\text{‰}$ ). Es probable que la diferencia no haya sido tan marcada como en tejido muscular, debido a la diferente tasa de recambio de cada uno de los tejidos.

Las espinas integran la información de toda la historia de vida alimenticia de las especies, así como la variación tanto inter- como intra-individual, siendo probable que esto genere que la variación sea mucho menor en este tejido.

Asimismo, es importante mencionar que las diferencias en nitrógeno pueden ser atribuidas a las posibles migraciones que el marlin rayado realiza posiblemente para alimentarse en áreas diferentes al lugar de captura, mientras que el pez espada al parecer es una especie mucho más “residente” por lo menos en esta zona y en los animales analizados en este trabajo.

Para  $\delta^{13}\text{C}$ , no se encontraron diferencias significativas en el tejido muscular, mientras que en espinas si se presentó una diferencia significativa. El análisis isotópico en un tejido que presenta una serie consecutiva, mostró que hay un patrón de movimiento desde aguas lejanas de la costa hacia zonas más costeras, siendo más evidente este patrón en el marlin rayado que en el pez espada.

Quizá esta migración a diferentes hábitats a través del tiempo, pudo generar que se reflejaran cambios significativos en los valores isotópicos entre las dos especies. Mientras que en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en músculo, quizá reflejan el uso de la zona oceánica para alimentación en ambas especies, ya que tanto el rango de tallas como de edades es similar.

Es factible que las diferencias en los valores  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  indiquen que los depredadores están haciendo uso de hábitats diferentes en la columna de agua, así como de diferentes ítems presa, lo que sugiere que probablemente no hay un traslapo trófico entre el marlin rayado y el pez espada en la zona de Baja California Sur. La posible competencia que se pudiera generar entre las dos especie, es evitada mediante diferente uso de hábitat o la segregación de nichos, que en el caso del marlin rayado se alimenta en la parte superior a 50 m en el día, mientras que el pez espada lo hace por debajo de 80 m, pero durante la noche (Nakamura, 1985).

## 10. CONCLUSIONES

- Se presenta evidencia de que el análisis de isótopos estables en espinas de peces picudos puede ser usado para trazar la historia trófica de un individuo a través de su ontogenia. Este estudio determinó que existe considerable variación isotópica a través de los anillos de crecimiento de los organismos.
- En marlin rayado no se encontró ninguna relación entre la talla y los valores isotópicos. Asimismo, los perfiles isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  no presentaron cambios abruptos a través del tiempo, lo que sugiere que no hay cambios de hábitos alimenticios a través de la vida que sean suficientemente contrastantes como para que se detecten a través de este isótopo estable. Aunque, es posible que una migración alimenticia a otras zonas exista.
- El marlin rayado presenta cambios y variación ontogénicas de  $\delta^{13}\text{C}$ , evidenciando probables cambios de hábitat, con movimientos de áreas lejanas a la costa, en estadios tempranos, a zonas más costeras en etapa adulta.
- No se encontró relación entre los valores isotópicos y la talla o edad en los peces espada colectados en las tres zonas. Los valores en los perfiles de  $\delta^{15}\text{N}$  sugieren que éstos presentan diferentes estrategias de alimentación, presentando al menos tres patrones diferentes: aumento, disminución y poca variación a través del tiempo.
- Los valores isotópicos de músculo y espinas tanto en marlin rayado como en pez espada fueron significativamente diferentes, lo cual puede deberse a la composición de aminoácidos y/o a la tasa de recambio de ambos tejidos.
- Los valores isotópicos de los peces espada colectados en las tres zonas presentaron diferencias significativas, lo que podría sugerir que el pez espada

no sea una especie altamente migratoria sino que presente cierta fidelidad al sitio de alimentación.

- Se encontraron diferencias significativas en los valores isotópicos entre el marlin rayado y el pez espada, lo que sugiere que aunque comparten ítems alimenticios probablemente lo hacen en diferentes proporciones, y que el hábitat que usan a través de la columna de agua podría ser diferente.

## 11. RECOMENDACIONES

- Es importante conocer la composición de aminoácidos de los tejidos que serán analizados isotópicamente, de esta forma si se hacen comparaciones entre ellos se puede detectar con mayor veracidad cual es la razón de la variación entre ellos.
- Es primordial determinar la composición de hueso en depredadores tope, en particular en picudos. Puesto que al momento de ser analizadas este tipo de estructuras, es fundamental considerar todos los factores que pueden influenciar los resultados, y conociendo la composición, se pueden tomar decisiones en cuanto a procedimientos necesarios, como son la extracción de lípidos o la descalcificación.
- Para tener una mayor resolución, se recomienda hacer análisis de contenido estomacal e isotópicos, simultáneos en tiempo y espacio, para no hacer uso de referencias bibliográficas de contenido estomacal de años anteriores.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- Abascal, F.J., Mejuto, J., Quintans, M., Ramos-Cartelle, A., 2010. Horizontal and vertical movements of swordfish in the Southeast Pacific. *ICES J Mar Sci* 67, 466–474.
- Abecassis, M., Dewar, H., Hawn, D., Polovina, J., 2012. Modeling swordfish daytime vertical habitat in the North Pacific Ocean from pop-up archival tags. *Mar Ecol Prog Ser* 452, 219–236.
- Abitía-Cardenas, L.A., Galvan-Magaña, F., Rodriguez-Romero, J., 1997. Food habits and energy values of prey of striped marlin, *Tetrapturus audax*, off the coast of Mexico. *Fish Bull* 95, 360–368.
- Abitía-Cárdenas, L.A., Galvan-Magaña, F., Cruz-Escalona, V.H., Peterson, M.S., Rodriguez-Romero, J., 2011. Daily food intake of *Kajikia audax* (Philippi, 1887) off Cabo San Lucas, Gulf of California, Mexico. *Lat Am J Aquat Res* 39, 449–460.
- Abitía-Cárdenas, L.A., Arizmendi-Rodríguez, D.I., Cruz-Escalona, V.H., Manjarrez-Acosta, C., 2012. Feeding of striped marlin, *Kajikia audax* (Philippi 1987), from the area off the coast of Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *Res J Fish Hydrobiol* 7, 6–13.
- Altabet, M.A., 1988. Variation in nitrogen isotopic composition between sinking and suspended particles: implications for nitrogen cycling and particle transformation in the open ocean. *Deep Res* 35, 535–554.
- Altabet, M.A., PilskaIn, C., Thunell, R., Pride, C., Sigman, D., Chavez, F., Francois, R., 1999. The nitrogen isotope biogeochemistry of sinking particles from the margin of the Eastern North Pacific. *Deep Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 46, 655–679.
- Altabet, M.A., 2001. Nitrogen isotopic evidence for micronutrient control of fractional  $\text{NO}_3^-$  utilization in the equatorial Pacific. *Limnol Oceanogr* 46, 368–380.



- Alvarado-Bremer, J.R., Hinton, M.G., Greig, T.W., 2006. Evidence of spatial genetic heterogeneity in Pacific swordfish (*Xiphias gladius*) revealed by the analysis of LDH -A sequences. *Bull Mar Sci* 79, 493–503.
- Ambrosea S.H. 1990. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science* 17, 431–451.
- Arata, G.F. 1954. A contribution to the life history of the swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus, from the south Atlantic coast of the united states and the Gulf of Mexico. *Bull Mar Sci Gulf Caribb* 4, 183–243.
- Arocha F., Lee, D.W., 1996. Maturity at size, reproductive seasonality, spawning frequency, fecundity and sex ratio in swordfish from the northwest Atlantic. *Collect Vol Sci Pap* 45, 350–357.
- Arocha, F., Moreno, C., Beerkircher, L., Lee, D.W., Marcano, L., 2003. Update on growth estimates for swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 55, 1416–1429.
- Aurioles, D., Koch, P.L., Le Boeuf, B.J., 2006. Differences in foraging location of mexican and California elephant seals: evidence from stable isotopes in pups. *Mar Mammal Sci* 22, 326–338.
- Bedford, D.W., Hagerman, F.B., 1983. The billfish fishery resource of the California current. *Calcofi* XXIV, 70–78.
- Berkeley, S.A., Houde, E.D., 1983. Age determination of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, from the Straits of Florida, using anal fin spine sections. *NOAA* 137–143.
- Beverton, R.J.H., 1990. Small marine pelagic fish and the threat of fishing ; are they endangered? *J Fish Biol* 37, 5–16.
- Block, B.A., Jonsen, I.D., Jorgensen, S.J., Winship, A.J., Shaffer, S.A., Bograd, S.J., Hazen, E.L., Foley, D.G., Breed, G.A., Harrison, A.-L., Ganong, J.E., Swithenbank,

- A., Castleton, M., Dewar, H., Mate, B.R., Shillinger, G.L., Schaefer, K.M., Benson, S.R., Weise, M.J., Henry, R.W., Costa, D.P., 2011. Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. *Nature* 475, 86–90.
- Bograd, S.J., Foley, D.G., Schwing, F.B., Wilson, C., Laurs, R.M., 2004. On the seasonal and interannual migration of the transition zone chlorophyll front. *Geophys Res Lett* 31.
- Brault, E.K., Koch, P.L., Gier, E., Ruiz-Cooley, R.I., Zupcic, J., Gilbert, K.N., McCarthy, M.D., 2014. Effects of decalcification on bulk and compound-specific nitrogen and carbon isotope analyses of dentin. *Rapid Commun Mass Spectrom* 28, 2744–2752.
- Bromhead, D., Pepperell, J., 2004. Striped marlin: biology and fisheries. En: *Striped marlin: biology and fisheries*. Bromhead, D., Pepperell, J., Brent, W., James, F. (eds). Bureau of Rural Science, Canberra.
- Burton, R.K., Koch, P.L., 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. *Oecologia* 119, 578–585.
- Carey, F.G., Robinson, B.H., 1980. Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. *Fish Bull* 79, 277–292.
- Carlisle, A.B., Goldman, K.J., Litvin, S.Y., Madigan, D.J., Bigman, J.S., Swithenbank, A.M., Kline Jr., T.C., Block, B.A., 2015. Stable isotope analysis of vertebrae reveals ontogenetic changes in habitat in an endothermic pelagic shark. *Proc R Soc Biol Sci*.
- Carpenter, E.J., Harvey, H.R., Brian, F., Capone, D.G., 1997. Biogeochemical tracers of the marine cyanobacterium *Trichodesmium*. *Deep Res Part I Oceanogr Res Pap* 44, 27–38.
- Carta Nacional Pesquera. 2004. Diario Oficial de la federación. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación.

- Castillo, K., Ibañez, C.M., González, C., Chong, J., 2007. Dieta del pez espada *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, en distintas zonas de pesca frente a Chile central durante el otoño de 2004. *Rev Biol Mar Oceanogr* 42, 149–156.
- Cepeda-morales, J., Gaxiola-castro, G., Beier, E., Godínez, V.M., 2013. Deep-Sea Research I The mechanisms involved in defining the northern boundary of the shallow oxygen minimum zone in the eastern tropical Pacific Ocean off Mexico. *Deep Sea Res I* 76, 1–12.
- Cerna, J., 2009. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) in the southeastern Pacific off Chile (2001). *Lat Am J Aquat Res* 37, 59–69.
- Chancollon, O., Pusineri, C., Ridoux, V., 2006. Food and feeding ecology of Northeast Atlantic swordfish (*Xiphias gladius*) off the Bay of Biscay. *J Mar Sci* 63, 1075–1085.
- Checkley, D.M., Barth, J.A., 2009. Patterns and processes in the California Current System. *Prog Oceanogr* 83, 49–64.
- Cherel, Y., Hobson, K.A., Guinet, C., Vanpe, C., 2007. Stable isotopes document seasonal changes in trophic niches and winter foraging individual specialization in diving predators from the Southern Ocean. *J Anim Ecol* 76, 826–836.
- Cherel, Y., Le Corre, M., Jaquemet, S., Ménard, F., Richard, P., Weimerskirch, H., 2008. Resource partitioning within a tropical seabird community: new information from stable isotopes. *Mar Ecol Prog Ser* 366, 281–291.
- Chong, J., Aguayo, M., 2009. Edad y crecimiento del pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) en el Pacífico suroriental (Diciembre 1994-Septiembre 1996). *Lat Am J Aquat Res* 37, 1–15.
- Clarke, M.R., Clarke, D.C., Martins, H.R., Silva, H.M., 1995. The diet of swordfish (*Xiphias gladius*) in Azorean waters. *Arquipelago Life Mar Sci* 13A, 53–69.

- Cline, J.D., Richards, F.A., 1972. Oxygen deficient conditions and nitrate reduction in the eastern tropical north Pacific Ocean. *Limnol Oceanogr* 17, 885–900.
- Cox, S.P., Essington, T.E., Kitchell, J.F., Martell, S.J.D., Walters, C.J., Boggs, C., Kaplan, I., 2002. Reconstructing ecosystem dynamics in the central Pacific Ocean, 1952 - 1998. II. A preliminary assessment of the trophic impacts of fishing and effects on tuna dynamics. *Can J Fish Aquat Sci* 59, 1736–1747.
- Danner, E., Kauffman, M., Brownell, R., 2006. Industrial whaling in the North Pacific Ocean 1952-1976, in: Estes, J., Demaster, D., Doak, D., Williams, T., Brownell, R. (Eds.), *Whales, Whaling and Ocean Ecosystems*. University of California Press, Los Angeles.
- DeMartini, E.E., Uchiyama, J.H., Williams, H.A., 2000. Sexual maturity, sex ratio, and size composition of swordfish, *Xiphias gladius*, caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Fish Bull* 98, 489–506.
- DeMartini, E.E., Uchiyama, J.H., Humphreys Jr., R.L., Sampaga, J.D., Williams, H.A., 2007. Age and growth of swordfish (*Xiphias gladius*) caught by the Hawaii-based pelagic longline fishery. *Fish Bull* 105, 356–367.
- DeNiro, M.J., Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 42, 495–506.
- DeNiro, M.J., Epstein, S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 45, 341–351.
- Deutsch, C., Gruber, N., Key, R.M., Sarmiento, J.L., Ganachaud, A., 2001. Denitrification and N<sub>2</sub> fixation in the Pacific Ocean. *Global Biogeochem Cycles* 15, 483–506.
- Dewar, H., Prince, E.D., Musyl, M.K., Brill, R.W., Sepulveda, C., Luo, J., Foley, D., Orbesen, E.S., Domeier, M.L., Nasby-Lucas, N., Snodgrass, D., Michael Laurs, R., Hoolihan, J.P., Block, B. a., Mcnaughton, L.M., 2011. Movements and

behaviors of swordfish in the Atlantic and Pacific Oceans examined using pop-up satellite archival tags. *Fish Oceanogr* 20, 219–241.

Diario Oficial de la Federación, (DOF), 1994. Acuerdo que regula el aprovechamiento de las especies marlin, pez vela y pez espada conocida comúnmente como picudos, en la Zona Económica Exclusiva del Litoral del Océano Pacífico.

Ditton, R.B., Stoll, J.R., 2003. Social and economic perspective on recreational billfish fisheries. *Mar Freshw Res* 54, 545–554.

Domeier, M.L., 2006. An Analysis of Pacific Striped marlin (*Tetrapturus audax*) horizontal movement patterns using pop-up satellite archival tags. *Bull Mar Sci* 79, 811–825.

Duffy, J.E., Stachowicz, J.J., 2006. Why biodiversity is important to oceanography: potential roles of genetic, species, and trophic diversity in pelagic ecosystem processes. *Mar Ecol Prog Ser* 311, 179–189.

Ehrhardt, N.M., 1992. Age and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwestern Atlantic. *Bull Mar Sci* 50, 292–301.

Ehrhardt, N.M., Robbins, R.J., Arocha, F., 1996. Age validation and growth of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Northwest Atlantic. *Collect Vol Sci Pap* 45, 358–367.

Estrada, J.A., Lutcavage, M., Thorrold, S.R., 2005. Diet and trophic position of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) inferred from stable carbon and nitrogen isotope analysis. *Mar Biol* 147, 37–45.

Estrada, J.A., Rice, A.N., Natanson, L.J., Skomal, G.B., 2006. Use of isotopic analysis of vertebrae in reconstructing ontogenetic feeding ecology in white sharks. *Ecology* 87, 829–34.

- Fry, B., 1981. Natural stable carbon isotope tag traces Texas shrimp migrations (*Penaeus aztecus*). Fish Bull 79, 337–345.
- Fry, B., Wainright, S.C., 1991. Diatom sources of  $^{13}\text{C}$ -rich carbon in marine food webs. Mar Ecol Prog Ser 76, 149–157.
- Fry, B., Baltz, D.M., Benfield, M.C., Fleeger, J.W., Gace, A., Haas, H.L., Quiñones-Rivera, Z.J., 2003. Stable isotope indicators of movement and residency for brown shrimp (*Farfantepenaeus aztecus*) in coastal Louisiana marshscapes. Estuaries 26, 82–97.
- Game, E.T., Grantham, H.S., Hobday, A.J., Pressey, R.L., Lombard, A.T., Beckley, L.E., Gjerde, K., Bustamante, R., Possingham, H.P., Richardson, A.J., 2009. Pelagic protected areas: the missing dimension in ocean conservation. Trends Ecol Evol 24, 360–9.
- Godínez, V.M., Beier, E., Lavín, M.F., Kurczyn, J.A., 2010. Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic observations. J Geophys Res 115, C04007.
- Goericke, R., Fry, B., 1994. Variations of marine plankton  $\delta^{13}\text{C}$  with latitude, temperature, and dissolved  $\text{CO}_2$  in the world ocean. Global Biogeochem Cycles 8, 85–90.
- Goering, J., Alexander, V., Haubenstock, N., 1990. Seasonal variability of stable carbon and nitrogen isotope ratios of organisms in a North Pacific Bay. Estuar Coast Shelf Sci 30, 239–260.
- González-Armas, R., Sosa-Nishizaki, O., Funes-Rodríguez, R., Levy-Pérez, V.A., 1999. Confirmation of the spawning area of the striped marlin, *Tetrapturus audax*, in the so-called core area of the eastern tropical Pacific off Mexico. Fish Oceanogr 8, 238–242.

- González-Armas, R., Klett-Traulsen, A., Hernández-Herrera, A., 2006. Evidence of billfish reproduction in the southern Gulf of California, Mexico. *Bull Mar Sci* 79, 705–717.
- Graham, B.S., Koch, P.L., Newsome, S.D., McMahon, K.W., Aurioles, D., 2010. Using isoscapes to trace the movements and foraging behaviour of top predators in oceanic ecosystems, in: West, J.B., Bowen, G.J., Dawson, T.E., Tu, K.P. (Eds.), *Isoscapes: Understanding Movement, Pattern, and Process on Earth through Isotope Mapping*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 299–318.
- Grall, C., De Sylva, D.P., Houde, E.D., 1983. Distribution, relative abundance, and seasonality of swordfish Larvae. *Trans Am Fish Soc* 112, 235–246.
- Hernández-García, V., 1995. The diet of the swordfish *Xiphias gladius* Linnaeus, in the central east Atlantic, with emphasis on the role of cephalopods. *Fish Bull* 93, 403–411.
- Hickey, B.M., 1979. The California Current System-hypotheses and facts. *Prog Oceanogr* 2, 191–279.
- Hill, K.T., Cailliet, G.M., Radtke, R.L., 1989. A comparative analysis of growth zones in four calcified structures of Pacific blue marlin, *Makaim nigricans*. *Fish Bull* 87, 829–843.
- Hinke, J.T., Kaplan, I.C., Aydin, K., Watters, G.M., Olson, R.J., Kitchell, J.F., 2004. Visualizing the food-web effects of fishing for tunas in the Pacific Ocean. *Ecol Soc* 9, 10.
- Hinton, M.G., 2003. Status of swordfish stocks in the eastern Pacific Ocean estimated using data from Japanese tuna longline fisheries. *Mar Freshw Res* 54, 393–399.
- Hobson, K.A., Clark, R.G., 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of  $^{13}\text{C}$  in tissues. *Condor* 94, 181–188.

- Hobson, K.A., Welch, H.E., 1992. Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis. *Mar Ecol Prog Ser* 84, 9–18.
- Hobson, K.A., Schell, D.M., 1998. Stable carbon and nitrogen isotope patterns in baleen from eastern Arctic bowhead whales (*Balaena mysticetus*). *Can J Fish Aquat Sci* 55, 2601–2607.
- Hobson, K.A., 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120, 314–326.
- Hobson, K.A., 2005. Using stable isotopes to trace long-distance dispersal in birds and other taxa. *Divers Distrib* 11, 157–164.
- Hobson, K.A., 2008. Tracking animal migration with stable isotopes, En: Hobson, K.A., Wassenaar, L.I. (Eds.), *Tracking animal migration with stable isotopes, terrestrial ecology*. Elsevier, pp. 45–78.
- Hofmann, M., Wolf-Gladrow, D.A., Takahashi, T., Sutherland, S.C., Six, K.D., Maier-Reimer, E., 2000. Stable carbon isotope distribution of particulate organic matter in the ocean: a model study. *Mar Chem* 72, 131–150.
- Holdsworth, J.C., Sippel, T.J., Block, B.A., 2009. Near real time satellite tracking of striped marlin (*Kajikia audax*) movements in the Pacific Ocean. *Mar Biol* 156, 505–514.
- Holts, D., Bedford, D., 1990. Activity patterns of striped marlin in the southern California bight, in: Stroud, R.S. (Ed.), *Planning the Future of Billfishes. Research and Management in the 90s and Beyond. Proceedings Second International Billfish Symposium*. National Coalition for Marine Conservation, Inc., Savannah, Georgia, pp. 81–93.
- Hughes, R.N., 1979. Optimal diets under the energy maximization premise: The effects of recognition time and learning. *Am Nat* 113, 209–221.



- Hussey, N.E., MacNeil, M.A., Olin, J.A., McMeans, B.C., Kinney, M.J., Chapman, D.D., Fisk, A.T., 2012. Stable isotopes and elasmobranchs: tissue types, methods, applications and assumptions. *J Fish Biol* 80, 1449–84.
- Huyer, A., 1983. Coastal upwelling in the California current system. *Prog Oceanogr* 12, 259–284.
- Hyde, J., Humphreys Jr., R.L., Musyl, M., Lynn, E., Russell, V., 2006. A Central North Pacific Spawning ground for striped marlin, *Tetrapturus audax*. *Bull Mar Sci* 79, 683–690.
- IATTC, Inter-American Tropical Tuna Commission, 2013. Los atunes y peces picudos en el Óceano Pacífico Oriental en 2012. Veracruz, Veracruz (Mexico).
- Ibáñez, C.M., González, C., Cubillos, L., 2004. Dieta del pez espada *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, en aguas oceánicas de Chile central en invierno de 2003. *Investig Mar* 32, 113–120.
- Jennings, S., Warr, K.J., Mackinson, S., 2002. Use of size-based production and stable isotope analyses to predict trophic transfer efficiencies and predator-prey body mass ratios in food webs. *Mar Ecol Prog Ser* 240, 11–20.
- Karl, D.M., Letelier, R., Hebel, D., Tupas, L., Dore, J., Christian, J., Winn, C., 1995. Ecosystem changes in the North Pacific subtropical gyre attributed to the 1991-92 El Niño. *Nature* 373, 230–234.
- Karl, D. M., Letelier, R., Tupas, L., Dore, J., Christian, J., Hebel, D., 1997. The role of nitrogen fixation in biogeochemical cycling in the subtropical North Pacific Ocean. *Nature* 388, 533–538.
- Kennedy, B.P., Klaue, A., Blum, J.D., Folt, C.L., Nislow, K.H., 2002. Reconstructing the lives of fish using Sr isotopes in otoliths. *Can J Fish Aquat Sci* 59, 925–929.

- Kerr, L.A., Andrews, A.H., Cailliet, G.M., Brown, T.A., Coale, K.H., 2006. Investigations of  $\Delta^{14}\text{C}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ , and  $\delta^{15}\text{N}$  in vertebrae of white shark (*Carcharodon carcharias*) from the eastern North Pacific Ocean. *Environ Biol Fishes* 77, 337–353.
- Kessler, W.S., 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog Oceanogr* 69, 181–217.
- Kienast, S.S., Calvert, S.E., Pedersen, T.F., 2002. Nitrogen isotope and productivity variations along the northeast Pacific margin over the last 120 kyr: Surface and subsurface paleoceanography. *Paleoceanography* 17.
- Kim, S.L., Koch, P.L., 2011. Methods to collect, preserve, and prepare elasmobranch tissues for stable isotope analysis. *Environ Biol Fishes*.
- Kim, S.L., Tinker, M.T., Estes, J. a, Koch, P.L., 2012. Ontogenetic and among-individual variation in foraging strategies of northeast pacific white sharks based on stable isotope analysis. *PLoS One* 7.
- Kitchell, J.F., Essington, T.E., Boggs, C.H., Schindler, D.E., Walters, C.J., 2002. The role of sharks and longline fisheries in a pelagic ecosystem of the central Pacific. *Ecosystems* 5, 202–216.
- Klett-Traulsen, A., Ponce-Díaz, G., Ortega-García, S., 1996. Pesquería deportivo-recreativa, in: Casas-Valdez, M., Ponce-Díaz, G. (Eds.), Estudio Potencial Pesquero Y Acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP, Gobierno del estado de BCS., FAO, INP, UABCS, CIBNOR, CICIMAR Y CET del Mar, La Paz, Mexico, pp. 389–418.
- Kopf, R.K., Davie, P.S., Holdsworth, J.C., 2005. Size trends and population characteristics of striped marlin, *Tetrapturus audax* caught in the New Zealand recreational fishery. *New Zeal J Mar Freshw Res* 39, 1145–1156.
- Kopf, R.K., Drew, K., Humphreys Jr., R.L., 2008. A protocol for age estimation of striped and white marlin (*Kajikia* spp.) using fin spine cross-sections. *SCRS* 1–14.

- Kopf, R.K., 2010. Age , growth , and reproductive dynamics of striped marlin , *Kajikia audax* in the southwest Pacific Ocean. *Tesis de doctorado*. Charles Sturt University, Australia, 1-235pp.
- Kopf, R.K., Drew, K., Humphreys Jr., R.L., 2010. Age estimation of billfishes (*Kajikia* spp.) using fin spine cross-sections: the need for an international code of practice. *Aquat Living Resour* 23, 13–23.
- Kopf, R.K., Davie, P.S., 2011. Fin-spine selection and section level influence potential age estimates of striped marlin (*Kajikia audax*). *Copeia* 153–160.
- Kopf, R.K., Davie, P.S., Bromhead, D., Pepperell, J.G., 2011. Age and growth of striped marlin (*Kajikia audax*) in the Southwest Pacific Ocean. *ICES J Mar Sci* 68, 1884–1895.
- Kume, S., Joseph, J., 1969. Size composition and sexual maturity of billfish caught by the japanese longline fishery in the Pacific Ocean East of 130°W. *Bull Far Seas Fish Res Lab* 2, 115–162.
- Lam, P., Lavik, G., Jensen, M.M., van de Vossenberg, J., Schmid, M., Woebken, D., Gutiérrez, D., Amann, R., Jetten, M.S.M., Kuypers, M.M.M., 2009. Revising the nitrogen cycle in the Peruvian oxygen minimum zone. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106, 4752–7.
- LaMonte, F.R., 1955. A review and revision of the marlins, genus *Makaira*. *Bull Am Museum Nat Hist* 107, 323–358.
- Landry, M.R., 1977. A review of important concepts in the trophic organization of pelagic ecosystems. *Helgolander wiss. Meeresunters* 30, 8–17.
- Lavín, M.F., Beier, E., Gómez-Valdés, J., Godínez, V.M., García, J., 2006. On the summer poleward coastal current off SW México. *Geophys Res Lett* 33, 1–4.

- Laws, E.A., Popp, B.N., Bidigare, R.R., Kennicutt, M.C., Macko, S.A., 1995. Dependence of phytoplankton carbon isotopic composition on growth rate and  $[CO_2]_{aq}$ : Theoretical considerations and experimental results. *Geochim Cosmochim Acta* 59, 1131–1138.
- Leon-Chavez, C.A., Sanchez-Velasco, L., Beier, E., Lavin, M.F., Godínez, V.M., Farber-Lorda, J., 2010. Larval fish assemblages and circulation in the Eastern Tropical Pacific in Autumn and Winter. *J Plankton Res* 32, 397–410.
- Letelier, S., Meléndez, R., Carreño, E., Lopez, S., Barría, P., 2009. Alimentación y relaciones tróficas del pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758), frente a Chile centro-norte durante 2005. *Lat Am J Aquat Res* 37, 107–119.
- Lluch-Belda, D., 2000. Centros de actividad biológica en la costa occidental de Baja California, En: Lluch-Belda, D., Elorduy-Garay, J., Lluch-Cota, S.E., Ponce-Díaz, G. (Eds.), BAC: Centro de actividad biológica del Pacífico Mexicano. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C., México, p. 367.
- Logan, J.M., Lutcavage, M.E., 2008. A comparison of carbon and nitrogen stable isotope ratios of fish tissue following lipid extractions with non-polar and traditional chloroform/methanol solvent systems. *Rapid Commun Mass Spectrom* 22, 1081–1086.
- Lorrain, A., Graham, B., Ménard, F., Popp, B., Bouillon, S., Van Breugel, P., Cherel, Y., 2009. Nitrogen and carbon isotope values of individual amino acids: A tool to study foraging ecology of penguins in the Southern Ocean. *Mar Ecol Prog Ser* 391, 293–306.
- Lynn, R.J., Simpson, J.J., 1987. The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *J Geophys Res* 92, 12947–12966.
- Macneil, M.A., Drouillard, K.G., Fisk, A.T., 2006. Variable uptake and elimination of stable nitrogen isotopes between tissues in fish. *Can J Fish Aquat Sci* 63, 345–353.

- Madigan, D.J., Litvin, S.Y., Popp, B.N., Carlisle, A.B., Farwell, C.J., Block, B.A., 2012. Tissue turnover rates and isotopic trophic discrimination factors in the endothermic teleost, Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*). PLoS One 7, 1–13.
- Markaida, U., Hochberg, F.G., 2005. Cephalopods in the Diet of Swordfish (*Xiphias gladius*) Caught off the West Coast of Baja California, Mexico. Pacific Sci 59, 25–41.
- McClelland, J.W., Montoya, J.P., 2002. Trophic relationships and the nitrogen isotopic composition of amino acids in plankton. Ecology 83, 2173–2180.
- McDowell, J.R., Graves, J.E., 2008. Population structure of striped marlin (*Kajikia audax*) in the Pacific Ocean based on analysis of microsatellite and mitochondrial DNA. Can J Fish Aquat Sci 65, 1307–1320.
- Megalofonou, P., Dean, J.M., De Metrio, G., Wilson, C., Berkeley, S., 1995. Age and growth of juvenile swordfish, *Xiphias gladius* Linnaeus, from the Mediterranean Sea. J Exp Mar Bio Ecol 188, 79–88.
- Melo-Barrera, F.N., Félix-Uraga, R., Quiñonez-Velázquez, C., 2003. Crecimiento y relación peso longitud del marlin rayado, *Tetrapturus audax* (Pisces: *Istiophoridae*), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. Ciencias Mar 29, 305–313.
- Melo-Barrera, F.N., Felix-Uraga, R., 2004. Estructura de tallas y edad del marlin rayado *Tetrapturus audax* (Pisces: *Xiphidae*), en Cabo San Lucas, Baja California Sur, México. Rev Biol Trop 52, 981–989.
- Ménard, F., Lorrain, A., Poiter, M., Marsac, F., 2007. Isotopic evidence of distinct feeding ecologies and movement patterns in two migratory predators (yellowfin tuna and swordfish) of the western Indian Ocean. Mar Biol 153, 141–152.

- Mendes, S., Newton, J., Reid, R.J., Zuur, A.F., Pierce, G.J., 2007. Stable carbon and nitrogen isotope ratio profiling of sperm whale teeth reveals ontogenetic movements and trophic ecology. *Oecologia* 151, 605–615.
- Minagawa, M., Wada, E., 1984. Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains : Further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochim Cosmochim Acta* 48, 1135–1140.
- Montoya, J.P., Carpenter, E.J., Capone, D.G., 2002. Nitrogen fixation and nitrogen isotope abundances in zooplankton of the oligotrophic North Atlantic. *Limnol Oceanogr* 47, 1617–1628.
- Myers, R.A., Worm, B., 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423, 280–283.
- Nakamura, I., 1985. FAO species catalogue. Vol 5. Billfishes of the World. An annotated and illustrated catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. FAO fisheries Synopsis.
- Nelson, J.S., 2006. Fishes of the world. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Nitta, E.T., Henderson, J.R., 1993. A review of interactions between Hawaii's fisheries and protected species. *Mar Fish Rev* 55, 83–92.
- Okamoto, H., Bayliff, W.H., 2003. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the Eastern Pacific Ocean, 1993-1997. IAACT-REPORT, Bull 22.
- Olson, R.J., Watters, G.M., 2004. Ecosystem modeling of the pelagic eastern tropical Pacific ocean. NOAA Tech Rep NMFS 365–388.
- Olson, R.J., Popp, B.N., Graham, B.S., López-Ibarra, G. a., Galván-Magaña, F., Lennert-Cody, C.E., Bocanegra-Castillo, N., Wallsgrove, N.J., Gier, E., Alatorre-Ramírez, V., Ballance, L.T., Fry, B., 2010. Food-web inferences of stable isotope

spatial patterns in copepods and yellowfin tuna in the pelagic eastern Pacific Ocean. *Prog Oceanogr* 86, 124–138.

Ortega-García, S., Camacho-Bareño, E., Martínez-Rincon, R.O., 2015. Effects of environmental factors on the spatio-temporal distribution of striped marlin catch rates off Cabo San Lucas, Baja California Sur, Mexico. *Fish Res* 166, 47–58.

Ortiz, M., Prince, E.D., Serafy, J.E., Holts, D., Davy, K.B., Pepperell, J.G., Lowry, M.B., Holdsworth, J.C., 2003. Global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. *Mar Freshw Res* 54, 489–507.

Pantoja, D. a., Marinone, S.G., Parés-Sierra, a., Gómez-Valdivia, F., 2012. Modelación numérica de la hidrografía y circulación estacional y de mesoescala en el Pacífico Central Mexicano. *Ciencias Mar* 38, 363–379.

Pasteris J.D., Wopenka B., Valsami-Jones E. 2008. Bone and tooth mineralization: Why apatite? *Elements* 4, 97–104.

Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T.J., Sumaila, U.R., Walters, C.J., Watson, R., Zeller, D., 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418, 689–695.

Peristeraki, P., Tserpes, G., Lefkaditou, E., 2005. What cephalopod remains from *Xiphias gladius* stomach can imply about predator-prey interactions in the Mediterranean Sea? *J Fish Biol* 67, 549–554.

Pinela, A.M., Borrell, A., Cardona, L., Aguilar, A., 2010. Stable isotope analysis reveals habitat partitioning among marine mammals off the NW African coast and unique trophic niches for two globally threatened species. *Mar Ecol Prog Ser* 416, 295–306.

- Pinnegar, J.K., Polunin, N.V.C., 1999. Differential fractionation of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Funct Ecol* 13, 225–231.
- Polo-Silva, C.J., Galván-Magaña, F., Delgado-Huertas, A., 2012. Trophic inferences of blue shark (*Prionace glauca*) in the Mexican Pacific from stable isotope analysis in teeth. *Rapid Commun Mass Spectrom* 26, 1631–1638.
- Polo-Silva, C., Newsome, S.D., Galván-Magaña, F., Grijalba-Bendeck, M., Sanjuan-Muñoz, A., 2013. Trophic shift in the diet of the pelagic thresher shark based on stomach contents and stable isotope analyses. *Mar Biol Res* 9, 958–971.
- Polovina, J.J., Howell, E., Kobayashi, D.R., Seki, M.P., 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Prog Oceanogr* 49, 469–483.
- Popp, B.N., Laws, E.A., Bidigare, R.R., Dore, J.E., Hanson, K.L., Wakeham, S.G., 1998. Effect of phytoplankton cell geometry on carbon isotopic fractionation. *Geochim Cosmochim Acta* 62, 69–77.
- Popp, B.N., Graham, B.S., Olson, R.J., Hannides, C.C.S., Lott, M.J., Lopez-Ibarra, G. A., Galvan-Magana, F., Fry, B., 2007. Insight into the trophic ecology of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from compound-specific nitrogen isotope analysis of proteinaceous amino acids, in: Dawson, T., Seigwolf, R. (Eds.), *Isotopes as Indicators of Ecological Change*. Elsevier, New York, pp. 173–190.
- Potier, M., Marsac, F., Cherel, Y., Lucas, V., Sabatié, R., Maury, O., Ménard, F., 2007. Forage fauna in the diet of three large pelagic fishes (lancetfish, swordfish and yellowfin tuna) in the western equatorial Indian Ocean. *Fish Res* 83, 60–72.
- Purcell, C.M., Edmands, S., 2011. Resolving the genetic structure of striped marlin, *Kajikia audax*, in the Pacific Ocean through spatial and temporal sampling of adult and immature fish. *Can J Fish Aquat Sci* 68, 1861–1875.



- Rau, G., Sweeney, R., Kaplan, I., 1982. Plankton  $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$  ratio changes with latitude: differences between northern and southern oceans. *Deep Sea Res* 29, 1035–1039.
- Rau, G., Meams, A.J., Young, D.R., Olson, R.J., Schafer, H.A., Kaplan, I., 1983. Animal  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  correlates with trophic level in pelagic food webs. *Ecology* 64, 1314–1318.
- Reeb, C.A., Arcangeli, L., Block, B.A., 2000. Structure and migration corridors in Pacific populations of the Swordfish *Xiphias gladius*, as inferred through analyses of mitochondrial DNA. *Mar Biol* 136, 1123–1131.
- Reid, J.L., 1997. On the total geostrophic circulation of the Pacific ocean: flow patterns, tracers and transports. *Prog Ocean* 39, 263–352.
- Revell, A.T., Young, J.W., Lansdell, M., 2009. Stable isotopic evidence for trophic groupings and bio-regionalization of predators and their prey in oceanic waters off eastern Australia. *Mar Biol* 156, 1241–1253.
- Richert, J.E., Galván-Magaña, F., Klimley, A.P., 2015. Interpreting nitrogen stable isotopes in the study of migratory fishes in marine ecosystems. *Mar Biol* 162, 1099–1110.
- Roden, G.I., 1991. Subarctic-subtropical transition zone of the North Pacific: large-scale aspects and mesoscale structure, Biology, oceanography and fisheries of the North Pacific Transition Zone and Subarctic Frontal Zone.
- Ruiz-Cooley, R., Villa, E.C., Gould, W.R., 2010. Ontogenetic variation of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  recorded in the gladius of the jumbo squid *Dosidicus gigas*: geographic differences. *Mar Ecol Prog Ser* 399, 187–198.
- Ruiz-Cooley, R.I., Garcia, K.Y., Hetherington, E.D., 2011. Effects of lipid removal and preservatives on carbon and nitrogen stable isotope ratios of squid tissues: Implications for ecological studies. *J Exp Mar Bio Ecol* 407, 101–107.

- Ruiz-Cooley, R.I., Gerrodette, T., 2012. Tracking large-scale latitudinal patterns of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  along the E Pacific using epi-mesopelagic squid as indicators. *Ecosphere* 3, 1–17.
- Saino, T., Hattori, A., 1987. Geographical variation of the water column distribution of suspended particulate organic nitrogen and its  $^{15}\text{N}$  natural abundance in the Pacific and its marginal seas. *Deep Sea Res* 34, 807–827.
- Schell, D.M., Barnett, B.A., Vinette, K.A., 1998. Carbon and nitrogen isotope ratios in zooplankton of the Bering, Chukchi and Beaufort seas. *Mar Ecol Prog Ser* 162, 11–23.
- Scott, W.B., Tibbo, S., 1968. Food and feeding habits of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Western North Atlantic. *Fish Res Board Canada* 25, 903–919.
- Sedberry, G., Loefer, J., 2001. Satellite telemetry tracking of swordfish, *Xiphias gladius*, off the eastern United States. *Mar Biol* 139, 355–360.
- Sigman, D.M., Altabet, M.A., Michener, R., Mccorkle, D.C., Fry, B., Holmes, R.M., 1997. Natural abundance-level measurement of the nitrogen isotopic composition of oceanic nitrate: an adaptation of the ammonia diffusion method. *Mar Chem* 57, 227–242.
- Sigman, D.M., Robinson, R., Knapp, A. N., van Geen, A., McCorkle, D.C., Brandes, J.A., Thunell, R.C. 2003. Distinguishing between water column and sedimentary denitrification in the Santa Barbara Basin using the stable isotope of nitrate. *Geochem Geophys* 4 (5), 1–10.
- Sippel, T.J., Davie, P.S., Holdsworth, J.C., Block, B. a., 2007. Striped marlin (*Tetrapturus audax*) movements and habitat utilization during a summer and autumn in the Southwest Pacific Ocean. *Fish Oceanogr* 16, 459–472.
- Somes, C.J., Schmittner, A., Galbraith, E.D., Lehmann, M.F., Altabet, M. a., Montoya, J.P., Letelier, R.M., Mix, A.C., Bourbonnais, A., Eby, M., 2010. Simulating the

- global distribution of nitrogen isotopes in the ocean. *Global Biogeochem Cycles* 24, GB4019.
- Squire, J.L., Suzuki, Z., 1978. Migration Trends of Striped Marlin (*Tetrapturus audax*) in the Pacific Ocean. NOAA Tech Rep NMFS 67–80.
- Squire, J.L., Au, D.W.K., 1990. Striped marlin in the Northeast Pacific - A case for local depletion and core area management. NOAA Tech Rep NMFS 199–214.
- Stillwell, C.E., Kohler, N.E., 1985. Food and feeding ecology of the swordfish *Xiphias gladius* in the western North Atlantic Ocean with estimates of daily ration. *Mar Ecol Prog Ser* 22, 239–247.
- Sullivan, C.H., Krueger, H.W., 1981. Carbon isotope analysis of separate chemical phases in modern and fossil bone. *Nature* 292, 333–335.
- Sun, C., Wang, S., Yeh, S., 2002. Age and growth of the swordfish (*Xiphias gladius* L.) in the waters around Taiwan determined from anal-fin rays. *Fish Bull* 100, 822–835.
- Szpak, P., 2011. Fish bone chemistry and ultrastructure: implications for taphonomy and stable isotope analysis. *J Archaeol Sci* 38, 3358–3372.
- Takai, N., Sayaka, O., Yuzuru, I., Akihiko, Y., Hideaki, K., Sakamoto, W., 2000. Geographical variations in carbon and nitrogen stable isotope ratios in squid. *J Mar Biol Assoc UK* 80, 675–684.
- Tieszen, L.L., Boutton, T.W., Tesdahl, K.G., Slade, N.A., 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for  $\delta^{13}\text{C}$  analysis of diet. *Oecologia* 57, 32–37.
- Toll, R.B., Hess, S.C., 1981. Cephalopods in the diet of the swordfish, *Xiphias gladius*, from the Florida Straits. *Fish Bull* 79, 765–774.

- Toppe, J., Albrektsen, S., Hope, B., Aksnes, A., 2007. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. *Comp Biochem Physiol Part B* 146, 395–401.
- Torres-Rojas, Y., Hernandez-Herrera, A., Ortega-Garcia, S., Domeier, M., 2013. Stable isotope differences between blue marlin (*Makaira nigricans*) and striped marlin (*Kajikia audax*) in the Southern Gulf of California, Mexico. *Bull Mar Sci* 89, 421–436.
- Tripp-Valdez, A., Galván-Magaña, F., Ortega-Garcia, S. 2015. Food sources of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) based on stomach content and stable isotope analyses. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 95, (3), 579–591.
- Trujillo-Olvera, A. Espectro trófico del pez espada (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1785) en la costa occidental de Baja California Sur. *Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). La Paz, Baja California Sur, México. 1-86pp.
- Tserpes, G., Tsimenides, N., 1995. Determination of age and growth of swordfish, *Xiphias gladius* L., 1758, in the eastern Mediterranean using anal-fin spines. *Fish Bull* 93, 594–602.
- Ueyanagi, S., Wares, P.G., 1975. Synopsis of Biological Data on Striped Marlin, *Tetrapturus audax* (Philippi), 1887, in: Shomura, R.S., Williams, F. (Eds.), *Proceedings of the International Billfish Symposium*. NOAA Technical Report, Kailua-Kona, Hawaii, pp. 132–159.
- Voss, M., Dippner, J.W., Montoya, J.P., 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen-deficient waters of the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Deep Sea Res I* 48, 1905–1921.
- Wada, E., Hattori, A., 1976. Natural abundance of <sup>15</sup>N in particulate organic matter in the North Pacific Ocean. *Geochim Cosmochim Acta* 40, 249–251.

- Wada, E., Hattori, A., 1991. Nitrogen in the sea: forms, abundances and rate processes. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wainright, S.C., Fry, B., 1996. Seasonal variation of the stable isotopic compositions of coastal marine plankton from Woods Hole, Massachusetts and Georges Bank. *Estuaries* 17, 552–560.
- Wells, R. J. D., Rooker, J. R., Prince, E. D. 2010. Regional variation in the otolith chemistry of blue marlin (*Makaira nigricans*) and white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western North Atlantic Ocean. *Fish. Res.* 106, 430–435.
- Wu, J., Calvert, S.E., Wong, C.S., Whitney, F.A., 1999. Carbon and nitrogen isotopic composition of sedimenting particulate material at Station Papa in the subarctic northeast Pacific. *Deep Sea Res II* 46, 2793–2832.
- Young, J.W., Lamb, T.D., Le, D., Bradford, R.W., Whitelaw, A.W., 1997. Feeding ecology and interannual variations in diet of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, in relation to coastal and oceanic waters off eastern Tasmania, Australia. *Environ Biol Fishes* 50, 275–291.
- Young, J., Lansdell, M., Riddoch, S., Revill, A., 2006. Feeding ecology of broadbill swordfish, *Xiphias gladius*, off eastern Australia in relation to physical and environmental variables. *Bull Mar Sci* 79, 793–809.
- Young, J.W., Guest, M.A., Lansdell, M., Phleger, C.F., Nichols, P.D., 2010a. Discrimination of prey species of juvenile swordfish *Xiphias gladius* (Linnaeus, 1758) using signature fatty acid analyses. *Prog Oceanogr* 86, 139–151.
- Young, J.W., Lansdell, M.J., Campbell, R.A., Cooper, S.P., Juanes, F., Guest, M.A., 2010b. Feeding ecology and niche segregation in oceanic top predators off eastern Australia. *Mar Biol* 157, 2347–2368.