

Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México



**CAMBIOS PATOLÓGICOS ATRIBUIDOS A LA OSTEOARTRITIS Y
OSTEOMIELITIS MANDIBULAR Y SU POSIBLE RELACIÓN CON
LA ALIMENTACIÓN DEL LOBO MARINO DE CALIFORNIA
(*Zalophus californianus*)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

(BIOLOGÍA MARINA)

P R E S E N T A:

MARICELA JUÁREZ RODRÍGUEZ

Director de tesis

Dr. David Auriolles Gamboa

Comité tutorial

Dr. Agustín Hernández Herrera

Dr. Martín Soto Jiménez

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski

Dra. Josefina Mansilla Lory

México, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

"It is not possible to give an adequate idea of the higher feelings of wonder, admiration and devotion which fill and elevate the mind".

Charles Darwin

RESUMEN

El lobo marino de California presenta lesiones óseas degenerativas localizadas en el aparato masticatorio que podrían afectar su capacidad de captura obligándolo a consumir presas de más fácil captura pero quizás de menor nivel trófico. Estos cambios se podrían ver reflejados en variaciones de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del colágeno dental, ya que este tejido se deposita en capas anuales y puede ser analizado isotópicamente para reconstruir su historia alimentaria. En este trabajo se compararon los valores isotópicos de capas de crecimiento de animales enfermos y sin rastro de lesiones, considerados sanos. Se tomaron 53 cráneos de lobo marino de la región de Bahía Magdalena BCS; 23 con lesiones óseas y 30 sin rastro de ellas. Para determinar la osteoartritis se caracterizaron y atribuyeron las siguientes lesiones (establecidas con nivel de avance): área afectada, número de excrecencias y deformación en cóndilos y fosas mandibulares y para el caso de osteomielitis: área afectada, número y diámetro de perforaciones en mandíbulas. Además se caracterizaron lesiones no atribuibles a estas dos enfermedades pero con potencial de afectar la alimentación; presencia de fisuras y fracturas en mandíbulas, desalineación mandibular, desgaste dental y pérdida dentaria. Para la obtención de las señales isotópicas se aisló el colágeno de cada capa de crecimiento de los 53 dientes y se analizó en un espectrómetro de masas. Se generó un índice acumulado de todas las lesiones que no mostró una clara relación entre cambios en los valores $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del último año y grado de avance de las enfermedades. Debido a lo anterior, se analizaron cuatro individuos con daño extremo en los últimos tres años de vida, que mostraron valores significativamente más altos para el $\delta^{13}\text{C}$, lo anterior debido probablemente a la influencia de un hábitat más bentónico o costero, mientras que para el $\delta^{15}\text{N}$ no hubo diferencias significativas entre individuos con daño extremo en comparación con los de sin lesiones óseas. Sin embargo si existió una tendencia de valores más altos en los animales con daño debido probablemente a estrés nutricional o reciclamiento del nitrógeno para la formación de tejido nuevo. Nuestro análisis sugiere que el análisis isotópico del colágeno dental tiene la característica de mostrar la información promedio por lo que dificulta la evaluación de los últimos meses de vida del animal. Un tejido más adecuado para este tipo de estudios podría ser la vibrisa.

ABSTRACT

The California sea lion presents certain degenerative bone lesions located in the masticatory system that could affect your ability to capture fish and squid forcing to consume easier prey of catch but lower trophic level. Any change of trophic level should be reflected in the values of $\delta^{13}\text{C}$ of $\delta^{15}\text{N}$ of its tissues. The collagen dental is deposited in annual layers can be an interesting tissue to analyze isotopically to build the feeding history of this species. In this study we compared the isotopic values in growth layers of animals with bone lesions (22) and no sign of lesions (29), collected at Isla Santa Margarita and Cabo San Lázaro, BCS. To determine the osteoarthritis were characterized and attributed the following lesions (established on advance level) affected area, number of spurs and deformation of mandibular condyles and aliesfenoidal channel. For osteomyelitis: affected area, number and diameter of perforations, presence of fissures and fractures in jaws. In addition we characterized the tooth lost, mandibular misalignmentand tooth wear, lesions not attributable to these two diseases but pathological and abnormal buccally. To obtain isotopic signals the collagen was isolated from each growth layer of 51 teeth and then was analyzed in a mass spectrometer of isotopic ratios. An index was generated accumulating all lesions, which was compared with the isotopic profiles, but there were no clear relationships. This possibly due to the index could mask the individual effect of each anomaly. Because of this, we analyzed four individuals with extreme damage in the last three years, showed significantly higher $\delta^{13}\text{C}$ values, there were probably influenced by a more benthic or coastal habitat, in case of $\delta^{15}\text{N}$ values there no significant differences between individuals with and without bone lesions. However there was a higher values tendency in animals with damage probably due to nutritional stress or recycling of nitrogen for the formation of new tissue. Our analysis suggests that the isotopic analysis of dental collagen has the feature to show the average information which make difficult the evaluation of the last months of its life. A more appropriate tissue for such studies could be the vibrissae.

CRÉDITOS

El presente trabajo fue posible gracias al apoyo económico recibido como becaria del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, registro 272268/223049) del 01 de septiembre de 2008 al 31 de agosto de 2010.

El apoyo financiero para el desarrollo de esta investigación proviene del proyecto SEP-2004-C01-46806.

El trabajo se realizó con la infraestructura, equipo y materiales del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos "Burney J. Le Boeuf" del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas perteneciente al Instituto Politécnico Nacional.

Parte del escrito se hizo en el Laboratorio de Cómputo del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

AGRADECIMIENTOS

Dr. David Auriolés gracias por abrirme las puertas de su laboratorio, por hacerme creer en mi proyecto, por compartir su experiencia y conocimiento, por su inmensa paciencia, por su total entrega al trabajo y por dejarme aprender de usted.

Dra. Claudia Hernández estoy profundamente agradecida por sus críticas, tiempo, consejos, pero sobre todo por enseñarme el ejemplo de intensidad de vida.

Dr. Fernando Elorriaga, gracias por tu enorme paciencia, por dedicarme tanto tiempo y esfuerzo, y lo más importante por tu amistad.

A mis tutores y jurado de examen: Dr. Agustín Hernández, Dr. Martín Soto, Dra. Gisela Heckel y Dra. Mansilla, gracias por su tiempo, revisión, corrección y por todas sus atenciones.

A mis compañeros de laboratorio: Diego, Marjorie, Haniel, Taty, Trini, Nere, Lig, Sand, Sebastian y Moni.

A todos mis amigos que presentes o a distancia estuvieron apoyándome, los quiero mucho.

DEDICATORIA ESPECIAL

A mi familia por su inmenso apoyo:

Mami gracias por estar tan cerca de mi pese a los muchos kms de distancia

Papá gracias por enseñarme a ser quien soy

Hermano por todas nuestras charlas y confesiones.

Abuelo por toda tu ternura y preocupación

Y a los que ya no están físicamente presentes pero que su alma sigue y seguirá en mi corazón.

Mi eterno agradecimiento para ustedes.

Jorge gracias por compartir este período de mi vida, por estar a mi lado, por tu apoyo y amor.

A Deyanira porque no habrá un día que no recuerde lo feliz que me hiciste. Gracias negrita linda.

CONTENIDO

Resumen	I
Abstract.....	II
Créditos.....	III
Agradecimientos.....	IV
Dedicatoria especial.....	V
Contenido.....	VI
Listado de figuras.....	X
Listado de tablas.....	XIV
Glosario.....	XVI
I INTRODUCCIÓN.....	1
II ANTECEDENTES.....	4
II.1. GENERALIDADES DE LA ESPECIE.....	4
II.1.1. Descripción.....	4
II.1.2. Distribución y hábitat.....	4
II.1.3. Reproducción.....	5
II.2. HÁBITOS ALIMENTARIOS.....	6
II.2.1. Técnicas para estudiar hábitos alimentarios.....	7
II.2.2. Valores isotópicos de las principales presas.....	8
II.3. DIENTE.....	9
II.3.1. Morfología.....	9
II.3.2. La dentina.....	10
	VI

II.3.3. Colágeno dental.....	11
II.3.4. Estimación de edad en pinnípedos.....	12
II. 4. ESTUDIOS CON BASE EN ISÓTOPOS DE $\delta^{15}\text{N}$ Y $\delta^{13}\text{C}$	13
II. 4.1. Análisis ontogénicos.....	14
II. 4.2. Comparación entre poblaciones.....	14
II.4.3. Diversificación intraespecífica de dietas.....	15
II.5. PATOLOGÍAS ÓSEAS Y DENTARIAS.....	16
II.5.1.Osteoartritis.....	16
II.5.2.Osteomielitis.....	17
II.6. ENMALLADOS.....	21
III PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	22
IV OBJETIVOS	23
IV.1. GENERAL.....	23
IV.2. PARTICULARES.....	23
V ZONA DE ESTUDIO	24
V.1. ISLA SANTA MARGARITA.....	24
VI MÉTODOS	26
VI.1 DETERMINACIÓN DE LA OSTEOARTRITIS Y OSTEOMIELITIS.....	26
VI.1.1. Caracterización de las lesiones	26
VI.2.ESTIMACIÓN DE LA EDAD.....	33
VI.3. EXTRACCIÓN DEL COLÁGENO.....	33

VI.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	34
VII RESULTADOS.....	36
VII.1. DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS.....	36
VII.1.1. Osteomielitis y osteoartritis.....	36
VII.1.2. Otros cambios que afectan el estado de salud.....	36
VII.1.3.Frecuencia de las lesiones.....	41
VII.1.4. Índice acumulado.....	42
VII.2. DETERMINACIÓN DE LA EDAD.....	41
VII.2.1. Comparación de edad entre individuos con y sin rastro de lesiones.....	46
VII.2.2. Comparación intrasexual en individuos con rastro de lesiones....	47
VII.3. ANÁLISIS ISOTÓPICO.....	48
VII.3.1. Tamaño de muestra específico.....	48
VII.3.2. Perfiles y patrones isotópicos.....	49
VII.3.3. Diferencias del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre categorías de sexo y edad en individuos con rastro de lesiones óseas.....	52
VII.3.4. Fraccionamiento isotópico.....	55
VII.3.5. Diferencias isotópicas entre individuos con y sin rastro lesiones óseas en las distintas categorías de edad.....	56
VII.3.6. Comparación de los últimos años de vida en casos más dañados.....	60
VII.3.7. Corrección tiempos generacionales comparables.....	61
VII.4. RELACIÓN CON LA ALIMENTACIÓN.....	64
VIII DISCUSIÓN.....	66
VIII.1. LESIONES.....	66
VIII.1.1.Frecuencia de lesiones.....	69

VIII.1.2. Índice acumulado de lesiones y la edad.....	69
VIII.2. EDAD.....	70
VIII.3. VARIACIÓN ISOTÓPICA.....	70
VIII.3.1. Patrones de variación de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$	71
VIII.3.2. Casos extremos.....	72
VIII.3.3. Relación con la alimentación.....	72
IX CONCLUSIONES	74
X BIBLIOGRAFÍA	76

Listado de figuras

Figura 1.	Distribución de <i>Zalophus californianus</i>	5
Figura 2.	Morfología del diente de un mamífero.....	10
Figura 3.	Esquema de banda anual de crecimiento donde se observan sus componentes, la banda opaca y traslúcida.....	11
Figura 4.	Serie de cóndilos mandibulares de lobo marino de California desde condición normal (arriba) hasta un grado avanzado de osteoartritis temporo-mandibular (OTM).....	18
Figura 5.	Serie de mandíbulas mostrando diversos grados de deterioro por osteomielitis, desde condición normal (arriba) hasta el caso extremo con fractura (abajo)	20
Figura 6.	Fotografía de un cráneo con lesión de enmalle. Tomado de www.calacademy.org	21
Figura 7.	Área de estudio. Ubicación de la playa occidental en Isla Magdalena BCS, con su límite sur en Cabo San Lázaro y de la colonia reproductora del lobo marino en Isla Santa Margarita.....	25
Figura 8.	Fotografías de los cóndilos mandibulares (izquierdo y derecho) pertenecientes al individuo con clave CSL-560-270604, se muestra el área total y afectada.....	27
Figura 9.	Fotografías de las fosas condilares (derecha e izquierda) de un macho subadulto con clave CSL-560-270604, mostrando el área total y afectada.....	27
Figura 10 a-d.	Fotografías de mandíbulas de machos adultos por ambos lados izquierdo y derecho en vista externa y lingual, mostrando el área total y afectada: a) mandíbula derecha en vista externa (clave CSL-S/N-2008), b) mandíbula izquierda en vista externa (clave CSL-567-040405), c) mandíbula derecha en vista lingual (clave CSL-S/N-2008), d) mandíbula izquierda en vista lingual (clave CSL-560-061204).....	28
Figura 11.	Imagen que muestra el conteo de número de excrecencias.....	28
Figura 12.	Imagen que muestra un ejemplo de deformación de un cóndilo.....	29

Figura 13.	Imagen que muestra la contabilización del número de perforaciones en un ejemplar con osteomielitis.....	29
Figura 14.	Imagen que muestra la medición del diámetro de las perforaciones en un ejemplar con osteomielitis.....	29
Figura 15.	Diagrama de los dientes del lobo marino de California, en donde se muestran los tres niveles de desgaste dental asignados. A) vista externa, B) vista lingual (Tomado de Labrada, <i>et al.</i> , 2007).....	30
Figura 16.	Imagen que muestra la pérdida dentaria <i>antemortem</i>	31
Figura 17.	Medición de la desalineación mandibular. Descripción de las medidas en el texto. Eje longitudinal (línea roja). Líneas amarillas para medir el ángulo de alineación del cóndilo mandibular a dos niveles.....	32
Figura 18.	Diente canino de lobo marino seccionado longitudinalmente, donde se observa la presencia de capas de crecimiento anual (parte inferior del diente) y las huellas del mini-taladro en las capas de crecimiento anuales (parte superior; Foto D. Aurióles).....	33
Figura 19.	Sistema de obtención de muestras de tejidos duros (dientes, vértebras, otolitos etc). El equipo programa el paso de un mini-taladro sobre la superficie del diente a una profundidad, longitud y anchura pre-determinadas.....	34
Figura 20.	Gráfica que muestra la correlación lineal significativa ($p < 0.05$) entre la edad (número de capas de crecimiento anual) y el índice de desgaste dental.....	37
Figura 21.	Gráfica en donde se muestren las frecuencias las lesiones atribuibles a la osteoartritis (▣▣▣▣), osteomielitis (▣▣▣▣), no atribuibles a alguna de las dos enfermedades (▣▣▣▣) lesiones más severas (▣▣▣▣).....	41
Figura 22.	Gráfica que muestra la correlación lineal significativa ($p < 0.05$) entre la edad y el índice de daño óseo acumulado..	43
Figura 23.	Edad (promedio \pm DS en años) entre hembras con y sin rastro de lesiones, mostrando que no hubo diferencias significativas entre ellas.....	46

Figura 24.	Edad (promedio \pm DS en años) entre machos con y sin rastro de lesiones, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.....	46
Figura 25.	Edad (promedio \pm DS en años) entre hembras y machos con rastro de lesiones, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.....	47
Figura 26 a-f.	Ejemplos de perfiles isotópicos y representante de cada patrón presentado en individuos con rastro de lesiones.....	50
Figura 27.	Porcentaje de los patrones isotópicos(izquierda) y los seis patrones que presentaron los individuos con rastro de lesiones óseas (derecha).....	51
Figura 28.	Porcentaje de los patrones isotópicos(izquierda) y los ocho patrones que presentaron los individuos sin rastro de lesiones óseas (derecha).....	51
Figura 29.	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) en machos con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad.....	52
Figura 30.	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en machos con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad.....	53
Figura 31.	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) en hembras con rastro de lesiones a lo largo de las distintas categorías de edad.....	53
Figura 32.	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en hembras con rastro de lesiones a lo largo de las distintas categorías de edad.....	54
Figura 33.	Valores del $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en cada categoría de edad en individuos machos sin (■) y con (■) rastro de lesiones.....	56
Figura 34.	Valores del $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en cada categoría de edad en individuos machos sin (■) y con (■) rastro de lesiones.....	57
Figura 35.	Valores del $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) en hembras sin (■) y con (■) rastro de lesiones en cada categoría de edad.....	58

Figura 36.	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en hembras sin (■) y con (■) rastro de lesiones en cada categoría de edad.....	58
Figura 37.	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en machos (■) y hembras con rastro de lesiones (■) en cada categoría de edad.....	59
Figura 38.	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en machos (■) y hembras con rastro de lesiones (■) en cada categoría de edad...	59
Figura 39.	Valores del $\delta^{15}\text{N}$ y del $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) de los tres últimos años en individuos sin rastro de lesiones (■) y con el daño más severo (■).....	60
Figura 40.	Variación en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California sin rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.....	61
Figura 41.	Variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California sin rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.....	62
Figura 42.	Variación en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California con rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.....	62
Figura 43.	Variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California con rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.....	63
Figura 44.	Valores del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) de las principales presas del lobo marino de California (lado izquierdo) y de nuestros grupos de estudio (-EN- enmallados, -SL- sin lesiones, -CL- con lesiones, -EX- con daño extremo)..	64

Listado de tablas

Tabla 1.	Presas principales en la dieta de <i>Z. c. californianus</i> que se obtuvieron a partir de los valores más altos de abundancia relativa. Tomado de Espinosa de los Reyes-Ayala, 2007.....	7
Tabla 2.	Técnicas para estudiar hábitos alimentarios en mamíferos marinos.....	8
Tabla 3.	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ promedio \pm desviación estándar de las principales presas del lobo marino de California durante marzo y noviembre en la región costera fuera de Bahía Magdalena, BCS.....	9
Tabla 4.	Caracterización de las lesiones atribuibles a la osteoartritis en lobos marinos de la región de Bahía Magdalena, BCS.....	38
Tabla 5.	Caracterización de las lesiones atribuibles a la osteomielitis en lobos marinos de la región de Bahía Magdalena, BCS.....	39
Tabla 6.	Caracterización de patología oral y anomalías dentarias no atribuibles directamente a la osteoartritis y osteomielitis.....	40
Tabla 7.	Índice Acumulado (sumatoria de los distintos tipos y grado de lesiones) para cada individuo de la muestra de estudio.....	42
Tabla 8.	Edad estimada de individuos de lobo marino de California con rastro de lesiones recolectados en Cabo San Lázaro e Isla Santa Margarita en el periodo 1983-2008.....	44
Tabla 9.	Edad estimada de individuos de lobo marino de California sin rastro de lesiones recolectados en Cabo San Lázaro e Isla Santa Margarita en el periodo 1983-2008.....	45
Tabla 10.	Tamaño de muestras de colágeno dental extraídas de 31 individuos sin rastro de lesiones óseas, 23 individuos con rastro de ellas y dos enmallados. Cada diente corresponde a un individuo.....	48
Tabla 11.	Diferencias en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en machos con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad (prueba de Tukey). Los valores en rojo indican los grupos estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).....	52

Tabla 12.	Diferencias en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en hembras con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad (prueba de Tukey). Los valores en rojo indican los grupos estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).....	54
Tabla 13.	Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C} \pm \text{DS}$ y su respectivo valor de enriquecimiento isotópico entre las distintas categorías de edad en ambos sexos en individuos sin rastro de lesiones.....	55
Tabla 14.	Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C} \pm \text{DS}$ y su respectivo valor de enriquecimiento isotópico entre las distintas categorías de edad en ambos sexos en individuos con rastro de lesiones.....	55
Tabla 15.	Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C} \pm \text{DS}$ y su respectivo valor de enriquecimiento isotópico entre las distintas categorías de edad de individuos macho enmallados.....	56
Tabla 16.	Valores isotópicos (promedio $\pm \text{DS}$) de cada grupo estudiado y de sus posibles presas, obtenido del fraccionamiento isotópico.....	65

GLOSARIO

Abrasión: desgaste por acción mecánica.

Amplitud trófica: variedad de presas que conforma la dieta de un consumidor.

Artrosis: resultado de un proceso de desgaste.

Atrición: desgaste originado por la masticación o fricción de los dientes.

Canal aliesfenoidal: en algunos carnívoros, el canal que atraviesa el hueso aliesfenoides que acarrea una rama de la arteria carótida externa.

Categoría de sexo / edad (lobo marino): agrupaciones definidas con base en características fenotípicas dentro del género *Zalophus* en función de la edad (cría, juvenil, subadulto, adulto) y el sexo (hembra adulta, macho adulto).

Centinela, especie: es la que cuenta con atributos ecológicos que le permiten ser monitores del ecosistema, en términos de sus propiedades y variaciones. En el caso del lobo marino estos atributos se asocian a su elevada posición trófica, alta fidelidad al sitio (regional) y su longevidad.

(δ) 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 la proporción $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de una muestra con respecto a la misma proporción del estándar Pee Dee Belemnite. En estudios de alimentación se usa para definir el tipo de ambiente que utilizan los consumidores (costero/oceánico).

$\delta^{15}\text{N}$: diferencia expresada en partes por mil entre la proporción de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de una muestra con respecto a la misma proporción del estándar nitrógeno atmosférico. En estudios de alimentación se usa para definir la posición trófica de los consumidores.

Deformación ósea: caracterizada por un aumento de grosor, disminución del volumen o desviación de la dirección normal del hueso. Cambio en la morfología normal del hueso.

Desnitrificación: proceso microbiano mediante el cual se da la reducción de nitratos para la producción de nitrógeno molecular (N_2). El déficit de nitratos guarda una relación lineal positiva con los valores de $\delta^{15}\text{N}$.

Dimorfismo sexual: característica dentro de algunas especies que consiste en la presencia de diferencias fenotípicas inter-sexuales, que se manifiestan en la adultez.

Eburnificación/Eburnación: es un cambio que se produce en enfermedades articulares degenerativas, se caracteriza por una apariencia brillante. También se entiende por eburnación cualquier aumento patológico de la densidad de un hueso o cartílago, como ocurre en la osteosclerosis (enfermedad de Albers-Schönberg), dando a esos tejidos un aspecto mármoleo.

Enriquecimiento isotópico: término utilizado para describir la cantidad de ^{15}N y/o ^{13}C con respecto a una cantidad previa. En consecuencia, una sustancia enriquecida en ^{15}N o ^{13}C estará disminuida isotópicamente en ^{14}N y en ^{12}C respectivamente.

Erosión: desgaste por acción química o física, no mecánica.

Especialista plástico: consumidor que se alimenta de pocos recursos en altas frecuencias y en otro número mayor de recursos en bajas proporciones.

Excrecencia: crecimiento anormal o protuberancia que crece fuera de lugar en alguna parte del cuerpo, en este caso en el hueso.

Fístula mandibular: pasaje anormal seguida desde una cavidad supurada hasta la superficie del cuerpo.

Flemón: inflamación aguda del tejido conjuntivo, subcutáneo o aponeurótico, con tendencia a la formación de pus.

Fosa mandibular: cavidad en el hueso temporal en la base de la apófisis cigomática, que forma parte de la articulación temporo-mandibular.

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 hacia el isótopo pesado.

Isótopo: átomo de un mismo elemento con igual número de protones (Z+) y electrones (e-) pero diferente número de neutrones (N).

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

Lactancia: periodo de tiempo en el que una madre alimenta con leche materna a su cría. Este culmina al momento del destete.

Nivel trófico: posición de un organismo dentro de una cadena trófica. El camino a lo largo de la cadena forma un flujo de un sentido por el cual la energía viaja en forma de alimento.

Odontoblasto: es una **célulapulpar** muy diferenciada, cuya función principal es la **dentinogénesis**, es decir, la producción de **dentina**.

Osteoblastos: **células** del **hueso**, sintetizadoras de la **matriz ósea**, por lo que están involucradas en el desarrollo y el crecimiento de los huesos. El desarrollo de los osteoblastos se ve influenciado por distintos factores que estimulan su formación como la **hormona paratiroidea** y la **vitamina D**.

Osteocitos: son células que se forman a partir de la diferenciación de los osteoblastos, que a su vez derivan de las células osteoprogenitoras.

Osteoartritis: artritis en la que una o más articulaciones sufren cambios degenerativos, entre los que incluyen la esclerosis ósea subcondral, pérdida de cartílago articular y la proliferación de hueso y cartílago en la articulación formando osteofitos.

Osteofito: pequeña excrecencia ósea anormal formada a expensas del periostio.

Osteomielitis: infección local o generalizada del hueso o médula ósea, normalmente causada por una bacteria piógena o micobacteria y hongos

Osteoporosis: pérdida de tejido óseo hasta el punto que el lugar específico del esqueleto en donde se produce es incapaz de soportar las tensiones normales. Es considerada como una enfermedad degenerativa que aparece con el decremento de la masa esquelética sin tener una etiología obvia.

Ostítis/Osteítis: inflamación del hueso que puede causar dolor y que deforma o arquea los huesos.

Patología: rama de la medicina que estudia las causas, naturaleza y efectos de las enfermedades.

Poliginia: sistema de apareamiento de ciertas especies donde los machos se aparean con más de una hembra durante la temporada reproductiva.

Procesos tafonomónicos: aquellos procesos de fosilización, es decir son todos aquellos procesos involucrados desde la muerte de un organismo hasta cuando forma parte de una colección paleontológica.

Productividad primaria: proceso medido a través del crecimiento y la reproducción de algas y plantas, como resultado de luz y temperatura.

Tafonomía: subdisciplina de la paleontología que estudia la historia post-mortem de los restos orgánicos y la formación de fósiles en el registro geológico.

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 largos periodos de tiempo.

I. INTRODUCCIÓN

La importancia ecológica del lobo marino de California (*Zalophus californianus*), radica en que es el pinnípedo con la distribución más amplia y de mayor abundancia en México (Szteren, 2006), donde su población para la costa oeste de la Península de Baja California se estima en 75.000 - 87.000 animales y para el Golfo de California de 30,000 individuos (Lowry *et. al.*, 1992; Lowry y Maravilla, 2005; Carreta *et.al.*, 2007). Su alta posición trófica, fidelidad al sitio y gran longevidad, lo colocan como especie centinela, al ser un buen indicador de la salud del ecosistema (Kuhn *et al.*, 2004; García-Rodríguez y Auriolés, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008).

La supervivencia de esta especie se encuentra amenazada por epizootias producidas por agentes virales y bacterianos, contaminación por pesticidas y metales pesados, interacción con pesquerías, cambio climático y la pérdida de su hábitat insular, entre otros (Auriolés *et al.*, 1998).

Pese a la ardua investigación sobre la especie existe relativamente poca información sobre enfermedades y en general de carácter biológico y ecológico para las poblaciones de la costa occidental de la Península de Baja California. Estudios realizados en esta zona están enfocados a Isla Santa Margarita, BCS, principalmente (Auriolés y Le Boeuf, 1991; Bautista, 2002; Zavaleta, 2003) e islas San Benito (Camacho-Ríos, 2004; García-Aguilar, 2004; Auriolés y Camacho, 2007). A pesar de un menor esfuerzo de investigación, aquí se ha mantenido una colecta regular y sistemática de cráneos de lobo marino que alcanza un número cercano a 700 cráneos en la Colección Osteológica del CICIMAR (Auriolés com. pers.¹).

En el caso particular de patologías óseas, se hace importante su estudio ya que éstas pueden impedir el óptimo desarrollo del individuo. Esto es particularmente cierto si las patologías se encuentran en el aparato masticatorio, ya que pueden afectar su éxito alimenticio, nutrición y por tanto su supervivencia. Un ejemplo de ello se encuentra en el cráneo de lobo marino de California donde se han observado evidencias de patologías como la osteomielitis y la osteoartritis (artritis temporo-mandibular), así como de otras lesiones óseas producidas por enmalle en redes de pesca, armas de fuego y varios tipos de fracturas (Díaz, 2003).

La osteoartritis es el deterioro del cartílago (tejido que cubre los extremos de los huesos en la articulación) provocando que los huesos se friccionen entre sí, provocando dolor, hinchazón y pérdida del movimiento articular. El desgaste puede variar desde cambios degenerativos iniciales hasta avanzados que

¹ Laboratorio de Ecología de Pinnípedos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), Apdo. Postal 592, C.P. 23096, La Paz, B.C.S., México.

incluyen posteriormente la destrucción completa del fibrocartílago (Kuettner *et al.*, 1998; Bendele, 2002; Scott-Simonet, 2002; Westacott, 2002; Goldring, 2006;). La osteomielitis, por su parte, es un proceso inflamatorio infeccioso que desemboca en infección y deterioro del tejido óseo (Fernández, 2000), se caracteriza por presentar en el hueso un aspecto poroso, así como la formación de cavidades, formación de hueso nuevo y por presentar ruptura total del mismo, cuyo origen se encuentra relacionado con características ambientales como contaminación antropogénica (Díaz, 2003).

Estas dos enfermedades han sido poco estudiadas en pinnípedos, caracterizándose por alteraciones como fracturas y desgaste dental (Díaz, 2003), con efectos perjudiciales en la salud de los individuos (Bonner, 1994; Rice, 1998). La frecuencia de estas alteraciones, en particular de la osteoartritis, parece disminuir de norte a sur del Golfo de California (Auriolles *et al.*, en preparación).

Debido a que tanto la osteoartritis como la osteomielitis pueden causar deterioro en el aparato masticatorio del lobo marino, es posible esperar que los animales con mayor grado de enfermedad, tengan dificultades para capturar y retener su alimento y por tanto mostrar diferencias en su dieta con respecto a la de animales sin rastro de lesiones óseas. Es posible que las presas usuales como peces y calamares, que son difíciles de capturar, sean remplazadas por presas de más fácil captura como crustáceos o pulpos.

Si el cambio de dieta se produce por deficiencias en el éxito de captura, entonces éste se reflejaría en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del colágeno dental, especialmente cuando la enfermedad ha alcanzado un grado de avance significativo. Estos cambios isotópicos debidos a cambios de dieta pueden ser registrados en las capas anuales de crecimiento de dentina (Klevezal, 1996), por lo que es posible analizarlo y reconstruir la historia alimentaria de un individuo (Newsome *et al.*, 2006; Pablo, 2009; Riofrio, 2009).

Las capas de crecimiento de dentina son conspicuas y es posible obtener muestras de ellas con equipo especializado (Micromill System-Merchantek) por lo que es posible reconstruir la historia alimentaria del animal y entender los cambios de nivel trófico que se producen durante su vida (Hobson y Sease, 1996; Newsome *et al.*, 2006).

Esto se debe a los isótopos estables de carbono y nitrógeno proporcionan información del alimento consumido, pudiéndose obtener información asociada al hábitat en que se alimentan: marino/ dulceacuícola, costero/ oceánico, pelágico/ bentónico en el caso del $\delta^{13}\text{C}$ (Walker & Macko 1999, Clementz & Koch 2001) y al nivel y amplitud tróficos en el caso del $\delta^{15}\text{N}$ (Post 2002, Bearhop *et al.* 2004).

El cambio isotópico en las capas anuales de dentina se haría especialmente evidente en los últimos años de vida de los animales ya que el efecto de la patología ósea sería más evidente.

Por tanto, el presente estudio pretende determinar el posible efecto de la presencia de osteoartritis y osteomielitis en los hábitos alimentarios del lobo marino, mediante el contraste de los valores y patrones isotópicos de carbono y nitrógeno medido en el colágeno dental de animales con y sin rastro de lesiones óseas en el aparato masticatorio.

II. ANTECEDENTES

II.1. GENERALIDADES DE LA ESPECIE

Zalophus californianus, cuyo nombre común es lobo marino de California, pertenece a una de las cuatro especies de pinnípedos distribuidas en aguas costeras del noroeste de México.

II.1.1. DESCRIPCIÓN

El lobo marino de California se caracteriza por tener un cuerpo robusto, un cuello alargado y un rostro estrecho. Presenta dimorfismo sexual donde los machos alcanzan un peso promedio de 300 kg y longitud de 2.5 m, mientras las hembras alcanzan un peso de 100 kg y 2 m de longitud. Al nacer las crías pesan aproximadamente 6kg y miden alrededor de 70 cm (Le Boeuf *et al.*, 1983). Los machos adultos tienen una cresta sagital pronunciada, como carácter de madurez sexual; lo que le da su nombre genérico (loph, "frente" y "za" enfático, de esta manera *Zalophus californianus* significa "cabeza grande de California"). Su pelaje es de color café oscuro, ligeramente más claro en las hembras y juveniles, las crías al nacer son de un color oscuro, mientras que los adultos varían de un café chocolate claro cuando están secos, hasta uno negro cuando están mojados (King, 1983). Su cuerpo es aerodinámico, con una capa de grasa debajo de la piel, la cual les proporciona calor y flotabilidad. Sus ojos grandes les ayudan a compensar los niveles bajos de la luz en el ambiente subacuático, mientras que sus vibrisas incrementan su sentido del tacto. Sus aletas delanteras largas rotan hacia fuera para un mejor movimiento en tierra, y las propulsan hacia adelante en el agua, donde permanecen el mayor tiempo posible (Bonner, 1994).

II.1.2. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Su distribución abarca desde el Pacífico nororiental, a lo largo de toda la costa occidental de la Península de Baja California y en todo el Golfo de California (Figura 1). En México se han observado individuos en Punta Mita, Nayarit y en Acapulco, Guerrero (Zavala, 1993). Sus principales áreas de concentración en el Pacífico son las islas Cedros, Natividad, Asunción y Santa Margarita; en el Golfo de California abunda en la Región de las Grandes Islas; Isla Ángel de la Guarda, Isla Granito, Islote El Partido, Isla San Esteban, Isla San Pedro Mártir, etc (Le Boeuf *et al.*, 1983; Auriolles, 1988; Zavala, 1990; Zavala, 1993; Auriolles y Zavala, 1994; Szteren *et al.*, 2006).

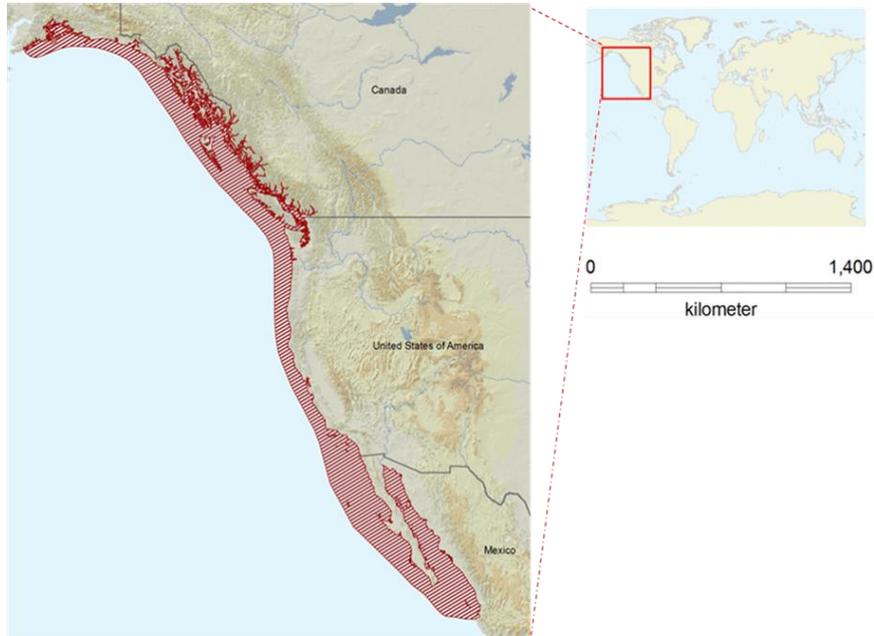


Figura 1. Distribución de *Zalophus californianus*. Tomado de <http://www.iucnredlist.org>

II.1.3. REPRODUCCIÓN

Su estrategia de reproducción es la poliginia (un macho se aparea con varias hembras) con el establecimiento de territorios. Los machos son territoriales y tienen harenes con un número variable de hembras. Usualmente se aparean entre mayo y junio y las hembras tienen una cría que nace en tierra a los 11 meses de gestación (García y Auriolés, 2003). La alimentación y supervivencia de la cría depende totalmente de la madre. El periodo de lactancia dura en promedio un año, pero puede extenderse hasta dos ó tres (Newsome *et al.*, 2006).

Durante ese tiempo las hembras hacen viajes al mar para alimentarse y regresan a tierra para amamantar a sus crías. Los viajes de alimentación de las hembras duran en promedio 2 días; en este período, las crías permanecen solas en tierra. Al año de que la cría nace se empieza a alimentar independientemente (King, 1983; Riedman, 1990). Algunas crías comienzan a ingerir alimento marino a los 8-9 meses de edad aunque pueden seguir alimentándose de leche (Auriolés, 1988).

II.2. HÁBITOS ALIMENTARIOS

Zalophus californianus es un depredador y consumidor de diferentes especies de peces y calamares principalmente, por lo que se encuentran en el tope de la red trófica. Esta posición trófica lo coloca como elemento clave en la dinámica de los ecosistemas marinos costeros donde habita, al utilizar y concentrar el flujo de nutrientes y energía a de los eslabones inferiores de la cadena. Estos pinnípedos costeros, regulan el tamaño poblacional de las especies depredadas y por tanto se convierten en indicadores visibles de la productividad de los ecosistemas, ya que por su hábito de descansar en tierra es relativamente fácil contarlos. Se le ha catalogado como depredador oportunista debido a la gran variedad de especies de las que se alimenta (Antonelis y Fiscus, 1980), pero cuando se analiza la composición de su dieta se ha encontrado que pocas de ellas alcanzan un índice de importancia mayor al 5%, y que esta importancia se reparte entre 4 o 5 especies regularmente que cambian estacionalmente, por lo que varios autores lo definen como especialista plástico (Lowry *et al.*, 1991; Reynolds y Rommel, 1999; García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Porras *et al.*, 2008).

Su dieta está basada principalmente en peces y en menor medida de cefalópodos y crustáceos (Fiscus y Baines, 1966; Antonelis y Fiscus, 1980; Antonelis *et al.*, 1984; García-Rodríguez y Aurióles, 2004; Porras-Peters *et al.*, 2008). El hábitat de estas presas es pelágico o demersal como la sardina Monterrey, (*Sardinops sagax caeruleus*), la anchoveta (*Engraulis mordax*), la macarela (*Scomber japonicus*) y la merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) aunque también hay especies bentónicas (Fiscus y Baines, 1966; Antonelis y Fiscus, 1980; Antonelis *et al.*, 1984; Aurióles, 1988; Lowry *et al.*, 1991; García-Rodríguez y Aurióles, 2004).

Bautista en 2002 reportó para Isla Santa Margarita las siguientes presas para el lobo marino: Merluza enana (*Merluccius angustimanus*), el pez lengua (de la familia Ophidiidae), el miracielos (*Kathetostoma avertuncus*), la sardina Monterrey, el calamar (*Loligo opalescens*) y la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) (Bautista, 2002).

Espinosa de los Reyes-Ayala (2007) quien hizo una recopilación de estudios alimentarios realizados en *Zalophus californianus*, encontró que estos están definidos por la distribución de sus presas principales y las características oceanográficas y ambientales de las distintas zonas geográficas del Pacífico Nor-oriental y Golfo de California. A lo largo de este ámbito se han reportado 23 especies principales que componen el espectro alimentario de este otarido (Tabla 1).

Tabla 1. Presas principales en la dieta de *Z. c. californianus* a lo largo de su distribución obtenidos de los valores más altos de abundancia relativa de diversos estudios. Tomado de Espinosa de los Reyes-Ayala, 2007.

FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMÚN
PECES		
Argentinidae	<i>Argentina sialis</i>	Argentina del Pacífico
Aulopidae	<i>Aulopus bajacali</i>	Pez largarto del Pacífico oriental
Batrachoididae	<i>Porichthys sp.</i>	Pez sapo
Carangidae	<i>Trachurus symmetricus</i>	Charrita chícharo
Clupeidae	<i>Sardinops sagax caeruleus</i>	Sardina Monterrey
Cynoglossidae	<i>Symphurus sp.</i>	Lengua
Engraulidae	<i>Cetengraulis mysticetus</i>	Anchoveta bocona
Engraulidae	<i>Engraulis mordax</i>	Anchoveta del Norte
Haemuloidae	<i>Haemulopsis leuciscus</i>	Ronco ruco
Merluccidae	<i>Merluccius angustimanus</i>	Merluza panameña
Merluccidae	<i>Merluccius productus</i>	Merluza del Pacífico
Paralichthyidae	<i>Citharichthys sp.</i>	Lenguado
Sciaenidae	<i>Cynoscion parvipinnis</i>	Corvina aleta corta
Scombridae	<i>Scomber japonicus</i>	Macarela
Scorpaenidae	<i>Sebastes sp.</i>	Rocote
Serranidae	<i>Pronotogrammus multifasciatus</i>	Serrano boga
Serranidae	<i>Serranus aequidens</i>	Serrano de agua profunda
Stromateidae	<i>Peprilus snyderi</i>	Palometa salema
Trichiuridae	<i>Trichiurus lepturus</i>	Sable del Atlántico
Uranoscopidae	<i>Kathetostoma averruncus</i>	Miracielo bulldog
CEFALÓPODOS		
Enoploteuthidae	<i>Abraliopsis affinis</i>	Calamar
Loliginidae	<i>Loligo opalescens</i>	Calamar
Octopodidae	<i>Octopus sp.</i>	Pulpo

II.2.1. TÉCNICAS PARA DETERMINAR HABITOS ALIMENTARIOS

Existen varias técnicas con las cuales se pueden determinar hábitos alimentarios en mamíferos marinos y en particular de pinnípedos; el análisis de excretas con base en la recuperación e identificación de estructuras duras como otolitos y picos de cefalópodos (García-Rodríguez y Auriolles-Gamboa *et al.*, 2004; Porrás-Peters, *et al.*, 2008), los estudios con base en telemetría (Kuhn *et al.*, 2004; Kuhn, *et al.*, 2006;), los perfiles de ácidos grasos (Salazar-Valenzuela, 2006; Cupa-Cedillo, 2007) y el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno (Auriolles, *et al.*, 2006; Newsome *et al.*, 2006; Porrás-Peters, *et al.*, 2008). En la Tabla 2 se enlistan las diferentes técnicas mostrando sus ventajas y desventajas aunque en realidad, deberían ser complementarias (Auriolles-

Gamboa *et al.*, 1984; Lowry *et al.*, 1991; García-Rodríguez 1995; Smith *et al.*, 1996; Adams *et al.*, 1997; Iverson *et al.*, 1997; Orr, 1998; Le Boeuf *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2001; Campagna *et al.*, 2001; Robson *et al.*, 2003; Staniland y Boyd, 2003; García-Rodríguez y Aurióles-Gamboa, 2004; Kuhn *et al.*, 2004; Tollit *et al.*, 2006 y Cupa, 2007).

Tabla 2. Técnicas para estudiar hábitos alimentarios en mamíferos marinos.

	BASES	VENTAJAS	DESVENTAJA
Análisis de contenido estomacal y excretas	Identificación de otolitos en el caso de peces y de picos en el caso de cefalópodos	Permiten identificar a distintos niveles taxonómicos a especies presa. Reflejará lo que el individuo consumió poco antes de morir.	No considerará el valor acumulado de alimentación. Costo elevado a una escala de tiempo grande.
Telemetría	Microprocesadores electrónicos, radio-transmisores, transmisores acústicos y satelitales	Aporta información acerca de los patrones de buceo (conducta alimentaria), migración y segregación de los individuos.	No se conoce a las especies presa, ni el propósito de los buceos.
Perfiles de ácidos grasos	Patrones de ácidos grasos se usan para determinar cambios en hábitos alimentarios.	Brindan información acerca de los hábitos alimentarios entre individuos, a lo largo del tiempo y en individuos de diferentes ambientes	Radica en la necesidad de conocer la información lipídica de las presas
Isótopos estables	Uso de isótopos pesados de carbono y nitrógeno	$\delta^{13}\text{C}$ -variación relacionado a diferentes ambientes $\delta^{15}\text{N}$ - información acerca de posición y amplitud trófica	No determina la identidad específica de las presas

II.2.2. VALORES ISOTÓPICOS DE LAS PRINCIPALES PRESAS

Como parte del proyecto “Relaciones tróficas del ecosistema de la zona de transición templado-tropical: Calibración entre análisis estomacal e isótopos estables de Carbono y Nitrógeno”, en el cual se inscribe esta tesis, se han generado valores isotópicos de distintas especies entre las que se encuentran varios peces que son alimento del lobo marino en la región costera fuera de Bahía Magdalena (SEP-CONACYT - 46860). En la Tabla 3, se muestran los valores isotópicos promedio y su desviación estándar de varias especies de peces muestreadas en marzo y noviembre del 2007.

Tabla 3. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ promedio \pm desviación estándar y tipo de ambiente de las principales presas del lobo marino de California durante marzo y noviembre en la región costera fuera de Bahía Magdalena, BCS.

ESPECIES	AMBIENTE	MARZO		NOVIEMBRE	
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Diplectrum labarum</i>	Demersal	-18.25 \pm 0.25	16.74 \pm 0.28	-16.93 \pm 0.23	16.44 \pm 0.39
<i>Hippoglossina stomata</i>	Béntico	-17.88 \pm 0.21	16.82 \pm 0.43	-17.13 \pm 1.11	16.77 \pm 0.52
<i>Kathetostoma averruncus</i>	Béntico	-18.11 \pm 0.48	15.74 \pm 0.28	-17.31 \pm 0.39	16.27 \pm 0.28
<i>Lepophidium stigmatistium</i>	Béntico	-17.95 \pm 0.31	16.95 \pm 0.26	-19.05 \pm 1.39	17.47 \pm 0.08
<i>Merluccius productus</i>	Demersal	-18.31 \pm 0.23	15.22 \pm 0.51	-17.99 \pm 0.26	15.78 \pm 0.39
<i>Merluccius angustimanus</i>	Demersal	-18.31 \pm 0.32	16.08 \pm 0.39	-17.69 \pm 0.39	16.34 \pm 0.43
<i>Prionotus albirostris</i>	Demersal	-18.18 \pm 0.46	15.74 \pm 0.46	-18.18 \pm 0.64	15.8 \pm 0.26
<i>Synodus lucioceps</i>	Béntico-demersal	-18.42 \pm 0.60	15.59 \pm 0.50	x	x
<i>Citharichthys xanthostigma</i>	Béntico	-17.78 \pm 0.38	16.03 \pm 0.24	-17.46 \pm 0.47	15.97 \pm 0.40
<i>Peprilus simillimus</i>	Pelágico	-19.27 \pm 0.26	14.77 \pm 0.57	-20.99 \pm 1.22	14.65 \pm 0.21
<i>Pleuroncodes planipes</i>	Pelágico-béntico	-19.37 \pm 1.34	14.18 \pm 0.19	-19.28 \pm 0.73	15.07 \pm 0.74

II.3. DIENTE

Las características de los dientes de mamíferos y su dinámica en general, son sumamente importantes para el entendimiento del presente estudio. Por dicha razón a continuación se detallan la morfología y el proceso de formación y depositación de la dentina, parte fundamental en la que se basa nuestro trabajo.

II.3.1. MORFOLOGÍA

Un diente está formado por tres partes: 1) una externa, compuesta por la corona, que es la parte que aflora fuera de la encía y que está recubierta por el esmalte, 2) la interna, constituida por la raíz incluida en los alvéolos dentales de las maxilas y de la mandíbula recubierta por una lámina de cemento y 3) el cuello, que es una pequeña estrangulación, en la que se fija la mucosa de la encía (Klevezal, 1996; Figura 2).

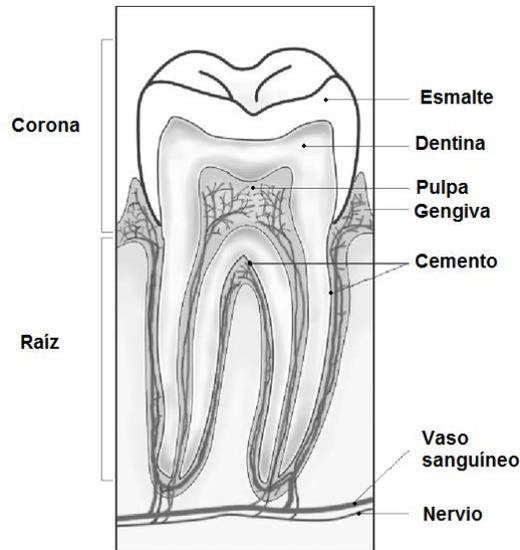


Figura 2. Morfología del diente de un mamífero.

II.3.2. LA DENTINA

La dentina es el tejido mayoritario en el diente, está constituida de materia inorgánica en un 65% y de materia orgánica en un 35%. La primera está formada por hidroxapatita ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{OH})_2$) y bajas concentraciones de Zinc, Estroncio, Magnesio, Manganeso, Plomo, Hierro y Estaño, mientras que la parte orgánica está constituida por fibras colágenas y muco-polisacáridos (Klevezal, 1996).

Al emerger el diente sus paredes de dentina son finas y presenta en su parte interna la pulpa, tejido formador de odontoblastos, los cuales a su vez formarán la nueva dentina. Los odontoblastos, son las células que forman la dentina y proceden de la diferenciación de células de la papila dentaria, que empiezan a segregar una matriz orgánica a su alrededor y están en contacto con el epitelio interno del esmalte, cercano al área de la futura cúspide del diente. Los odontoblastos comienzan a migrar hacia el centro del diente. Por ello, la dentina se forma centrípetamente, es decir que la formación de estas nuevas capas se genera de la parte externa hacia el interior, donde se encuentra la cavidad pulpar (el ángulo en el que se van depositando con respecto al eje longitudinal del diente, es más agudo en las bandas tempranas que en las tardías -individuo más viejo-). El crecimiento producido por la mineralización, donde las sales se precipitan y posteriormente a la formación de glóbulos minerales (calcosferitas), éstos se fusionan y dan lugar a las zonas hipermineralizadas, pero en caso de que no se fusionasen de manera completa se crean regiones hipomineralizadas o dentina interglobular (Schour, 1960; Kraus *et al.*, 1965). Las capas anuales de crecimiento, en casi todos los

mamíferos, están constituidas por una banda opaca o hipomineralizada y una transparente o hipermineralizada (Klevezal, 1996; Figura 3).

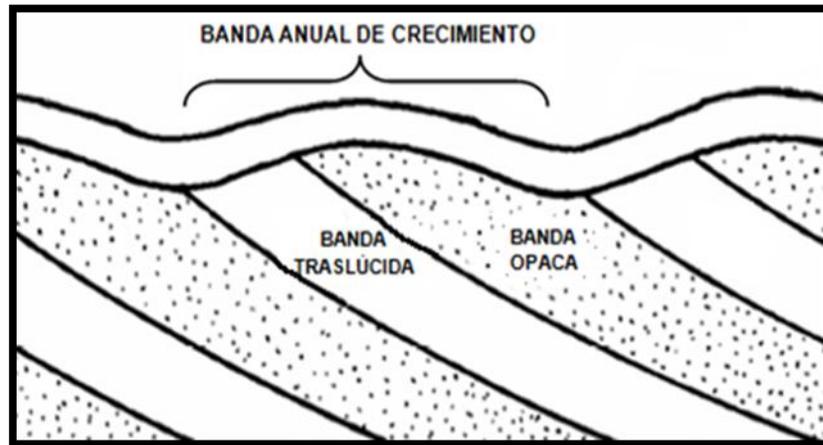


Figura 3. Esquema de banda anual de crecimiento donde se observan sus componentes, la banda opaca y translúcida.

La formación de capas de crecimiento que tienen un ritmo de deposición anual, se ha validado con base en los siguientes experimentos y/o técnicas: 1) Tinción con tetraciclina (hidroclorato florico de tetraciclina) y alizarin roja, en donde deja un tipo de marca en los tejidos de crecimiento en el momento de la administración. La tetraciclina actúa como quelador del calcio y magnesio presente en los tejidos calcificados. Por ejemplo, bajo el microscopio de fluorescencia y luz ultravioleta la banda de tetraciclina aparecerá como un anillo amarillo contra el fondo verdoso del diente. La tetraciclina se degrada con la luz, por tanto éstos deberán guardarse en obscuridad (Chilton y Beamish, 1982; Klevezal, 1996), 2) Estudios que involucraron capturas a lo largo del año (McLaren, 1958), 3) Concordancia entre el número de bandas de crecimiento y la edad conocida de varias especies ya sea por marcado o por seguimiento en cautiverio (Laws, 1962; Klevezal, 1996).

II.3.3. COLÁGENO DENTAL

Los dientes, al almacenar colágeno depositado en capas anuales, proporcionan información alimentaria a lo largo de la historia de vida de los organismos y su relación con el ambiente. La principal ventaja en el uso del colágeno dental es el acceso a las bandas de crecimiento, que sin embargo requieren de equipo especializado para obtenerse con peso suficiente para el análisis isotópico y de modo que no se contamine el material de unas capas con otras. Esto es posible de realizar con un micro-taladro computarizado (Micromill System Merchantek) que permite la colecta de las capas a una anchura y

profundidad determinadas, evitando el contacto con los límites de cada capa de crecimiento anual.

II.3.4. ESTIMACIÓN DE EDAD EN PINNIPEDOS

Tanto en pinnípedos como en cetáceos se sabe que la banda hipermineralizada se forma durante el invierno o invierno-primavera, lo cual se asocia a un periodo de intensa alimentación en comparación de la hipomineralizada correspondiente a un periodo menos intenso, aunque dichos cambios también se han asociado a variaciones hormonales (Laws, 1953; McLaren, 1958; Sergeant y Pimlott, 1959; Fiscus, 1961).

Existen varios trabajos en diferentes especies como el lobo fino del Norte, la foca gris, la foca arpa, entre otras, en los que se ha validado la estimación de la edad con base en el conteo del número de capas de crecimiento en los dientes (Mansfield, 1991; Schiavini, 1992; Lawson *et al.*, 1992; Arnbohm *et al.*, 1992).

En el caso del lobo marino de California, se ha comprobado que un animal marcado a los dos meses de edad en 1984 en el Golfo de California y luego encontrado muerto en 2001, tenía 17 capas de crecimiento igual al número de años transcurridos (Aurioles-Gamboa, com. pers.²).

² Laboratorio de Ecología de Pinnípedos. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), Apdo. Postal 592, C.P. 23096, La Paz, B.C.S., México.

II. 4. ESTUDIOS CON BASE EN ISÓTOPOS DE $\delta^{15}\text{N}$ Y $\delta^{13}\text{C}$

El análisis de isótopos estables de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) y nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) es una herramienta eficiente para la determinación de hábitos alimentarios de diversas especies (Owens, 1987; Wada *et al.*, 1987, 1991; Rau *et al.*, 1992; Hobson y Welch, 1992; Hobson *et al.*, 1997; Elorriaga, 2009). Las composiciones isotópicas de estos elementos pueden variar su enriquecimiento en el isótopo pesado en función de la dieta, el nivel trófico y el ecosistema explotado (Owens, 1987; Hobson y Welch, 1992). Éstos son retenidos a lo largo de la red trófica, lo que va confiriendo a los depredadores valores de isótopos estables de N y C más enriquecidos que los de sus presas (Owens, 1987).

Esta técnica utilizada ampliamente en ecología se basa principalmente en la razón de isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$), aunque hay otros sistemas isotópicos disponibles. Los isótopos estables de C y N, no proporcionan información sobre la identidad de las presas de manera directa, pero si permiten una evaluación más precisa del nivel trófico y su amplitud ($\delta^{15}\text{N}$), así como del origen de la materia orgánica o el hábitat de las presas: marino/dulceacuícola, costero/oceánico, pelágico/bentónico ($\delta^{13}\text{C}$). Esto se debe por un lado a que en el caso del carbono, la fraccionación isotópica está influenciada por la pérdida preferencial de CO_2 en la respiración, ya que este se encuentra enriquecido en ^{12}C , lo que provoca un decremento en los valores de ^{13}C en el tejido del animal (Hobson, 1990; Hobson *et al.*, 1994 y France, 1995), mientras que en el caso específico del $\delta^{15}\text{N}$, existe una bioacumulación en el contenido de ^{15}N entre el consumidor y su dieta (DeNiro & Epstein, 1978; Vander-Zanden, 1997; Post, 2002; Bearhop, *et al.*, 2004). Estas relaciones establecen un enriquecimiento isotópico promedio entre depredador y su presas de 0.5 -1.0 ‰ y 3 -5 ‰ para ^{13}C y ^{15}N respectivamente (DeNiro & Epstein, 1978; Fry, *et al.*, 1984; Hobson & Welch, 1992; Minagawa & Wada, 1984). Quizás la mayor ventaja de esta técnica radica en que la información que provee está asociada al alimento asimilado y no solo al ingerido. Los valores isotópicos en los tejidos de plantas y animales varían su tiempo de registro de acuerdo a la tasa de renovación de los mismos y su tasa metabólica, permitiéndonos obtener información desde días hasta años (Tieszen *et al.*, 1983; Hobson & Clark, 1992 y Hobson *et al.*, 1996).

La variación del $\delta^{13}\text{C}$ se debe a varios fenómenos como la concentración de CO_2 disuelto en el agua de mar, que a su vez está asociada a la temperatura (Goericke y Fry, 1994), la composición de las presas y la tasa de crecimiento del fitoplancton, la entrada de carbono vía macrofitas bénticas (Hinga *et al.*, 1994; Michener y Schell, 1994; France, 1995).

Una de las ventajas más importantes del análisis de isótopos estables (AIE) es que proporciona información del alimento asimilado en distintos periodos de integración isotópica (días a años), dependiendo del tejido

analizado, ya que un tejido con una alta tasa de recambio (sangre) reflejará información correspondiente a días, mientras que un tejido de baja tasa de recambio (hueso) dará información asociada a años (Tieszen *et al.*, 1983 y Hobson *et al.*, 1996).

II. 4.1. ANÁLISIS ONTOGÉNICOS

Hobson y Sease (1998) realizaron AIE de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en los dientes del lobo marino de Steller (*Eumetopias jubatus*), de la foca peletera del norte (*Callorhinus ursinus*) y de elefantes marinos del norte (*Mirounga angustirostris*), donde obtuvieron variaciones debidas al período de amamantamiento y a movimiento regionales dentro de los ecosistemas costeros del Pacífico Nor-Oriental.

Newsome *et al.*, (2006), estimaron los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ del lobo fino de Alaska (*Callorhinus ursinus*) a lo largo de su vida (ontogenia) así como de algunos lobos marinos de California de Isla Santa Margarita y del Golfo de California. Para ello obtuvieron dentina de las bandas de crecimiento que colectaron con un taladro de alta precisión (Micromill System). En dicho estudio se observaron tres patrones de valores de $\delta^{15}\text{N}$; 1) se presentaron valores altos en el primer año de vida en todos los individuos, lo cual está relacionado con la lactancia, 2) valores más bajos de $\delta^{15}\text{N}$ en algunos grupos de juveniles, asociado al consumo de presas de bajo nivel trófico y el 3) en donde hubo una caída en general de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ a lo largo de la ontogenia individual. En el caso del $\delta^{13}\text{C}$, solo se tuvieron dos patrones, 1) bajos valores durante el primer año de vida debidos a la elevada concentración de lípidos por efecto de la lactancia y 2) valores altos en individuos juveniles (3-4 año de vida) asociados a una alimentación costera o bentónica o a un forrajeo en zonas de productividad mayor.

II.4.2. COMPARACIÓN ENTRE POBLACIONES

En el mismo trabajo, arriba citado, se compararon individuos de *Zalophus californianus* pertenecientes al Golfo de California e Isla Margarita, donde los primeros obtuvieron valores más elevados de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ con base en las bandas de dentina exploradas (Newsome *et al.*, 2006). El enriquecimiento en el $\delta^{15}\text{N}$ del colágeno dental de los lobos marinos del Golfo de California se debe a los altos niveles ($\delta^{15}\text{N}$) basales (materia orgánica particulada, MOP) con los que inicia la cadena trófica en estas zonas, ya que mientras en el Pacífico nor-tropical la MOP varía entre 7 y 8 ‰, en el Golfo de California llega hasta 10-11‰ (Altabet *et al.*, 1999 y 2001). Estos valores enriquecidos de la MOP se extienden hasta los depredadores tope, como es el caso del lobo marino de California (Porrás-Peters, *et al.*, 2008; Aurióles-Gamboa *et al.*, 2009; Elorriaga-Verplancken, 2010).

El enriquecimiento que se ha estimado para el Golfo de California, en trabajos previos, se debe a la gran influencia de las zonas de desnitrificación que se ubican en el sur del golfo y en la región norte del mismo (Voss *et al.* 2001), existiendo una relación lineal positiva entre el déficit de nitratos y la concentración de $\delta^{15}\text{N}$ (Altabet, 2001).

II.4.3. DIVERSIFICACIÓN INTRAESPECÍFICA DE DIETAS

Existen trabajos que muestran evidencia de una diversidad de dietas y uso diferencial de hábitat reportado en especies como el elefante marino del norte y el lobo marino de California (Aurioles *et al.*, 2006; Porras-Peters *et al.*, 2008).

En 2006 Lewis y colaboradores observaron una ligera variación intrasexual en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en hembras de elefante marino del Sur (*Mirounga leonina*) en contraparte de los machos que presentaron una gran variación intrasexual.

González en 2002, realizó un estudio de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en el colágeno dental del lobo marino de California en el alto Golfo de California, en el cual no encontró diferencias de alimentación entre sexos. En ese caso no fue posible separar las capas de dentina anuales, y las muestras incluyeron etapas de varios años de la vida del animal. Sin embargo en el trabajo desarrollado por Elorriaga-Verplancken (2010), se encontró evidencia de separación de hábitos alimentarios entre hembras y machos, particularmente para las regiones del sur del Golfo de California y Bahía Magdalena.

II.5. PATOLOGÍAS ÓSEAS Y DENTARIAS

Las patologías óseas y lesiones dentarias en pinnípedos han sido poco registradas. Stroud y Roffe (1979) registraron la muerte de un macho adulto de *Phoca vitulina* debido a serias fracturas y lesiones dentarias, entre ellas intenso desgaste, lesión periodontal y otras múltiples lesiones óseas. Morejohn (1969) describió un caso de deformidad en la columna vertebral y osteonecrosis de la cintura pélvica y fémur en un macho adulto de *Z. californianus*, además de un gran desgaste de los caninos e incisivos.

II.5.1. OSTEOARTRITIS

La artrosis degenerativa, hipertrófica u osteoartritis es una alteración que ataca a las articulaciones diartrosicas (con sinovial), es el proceso por el cual el cartílago que cubre el extremo de los huesos en las articulaciones se desgasta. Causa dolor, inflamación y disminución de los movimientos en las articulaciones, y como éste es el encargado de absorber los impactos de los movimientos, cuando está desgastado provoca que los huesos se friccionen entre sí. Con el transcurso del tiempo, esta fricción puede dañar la articulación permanentemente (Moskowitz, 2007). El desgaste puede variar desde cambios degenerativos iniciales hasta avanzados que incluyen posteriormente la destrucción completa del fibrocartílago (Steinbock, 1976; Grmek, 1983; Kuettner *et al.*, 1998; Bendele, 2002; Scott-Simonet, 2002; Westacott, 2002; Goldring, 2006;).

La osteoartritis se produce normalmente cuando las articulaciones están sometidas a un traumatismo o a fuerzas de carga anormales. También puede ocurrir como consecuencia del desarrollo anormal del hueso y cartílago, una vez que el cartílago ha sido destruido comienza un complejo proceso autodestructivo dentro de la articulación; el daño provoca la inflamación y la liberación de enzimas, las cuales atacan el cartílago, disminuyen su espesor y fuerza, también degradan el líquido de la articulación (sinovial) responsable de la lubricación, por lo que después de poco tiempo, se afecta tejido fibroso, cartílago y hueso subyacente en las articulaciones sinoviales (Martín, 2001). A medida que el cartílago se debilita, el hueso subyacente reacciona produciendo osteofitos (espolones óseos), creando mayor fricción dentro de la articulación afectada. El resultado final es más dolor, rigidez y mala funcionalidad, finalizando con un cartílago dañado incapaz de curarse. Así que los cambios destructivos que conduce la osteoartritis son irreversibles. La naturaleza cíclica de la destrucción también significa que esta enfermedad es progresiva. Sin embargo, la tasa de progresión es muy variable (Poole, 1999; Roush *et al.*, 2002; McLaughlin *et al.*, 2002; Vladimir-Sinkov *et al.*, 2003).

La presencia de osteoartritis puede ser caracterizada por superficies porosas y en ocasiones con aspecto agrietado, así como deformación y reducción del hueso. Los cambios que pueden sufrir las articulaciones son

relativamente uniformes: las superficies pierden su apariencia lisa para convertirse en rugosas, con la consiguiente desaparición de su estructura normal. En ocasiones el tejido se compacta, se erosiona o aparecen excrescencias óseas en los bordes; estas alteraciones tienen causas muy variadas, complejas e insuficientemente claras todavía en humanos (Grmek, 1983; Zivanovic, 1982).

Su origen no está del todo claro, pero se ha podido asociar a traumas, mal funcionamiento de la articulación (mala alineación), desgaste por edad y factores genéticos, traumatismos, infecciones, problemas metabólicos, reacciones autoinmunes y defectos genéticos (Mansilla *et.al*, 1997; Aurióles-Gamboa *et al.*, en preparación: Figura 4). Aunque los procesos de desgaste aparecen estrechamente ligados al funcionamiento biomecánico, así como al estrés funcional, y son inherentes al proceso de envejecimiento (Zimmerman y Kelley, 1982; Goodman y Col., 1984). Los traumatismos que desencadenan daño permanente pueden ser fracturas, torceduras, dislocaciones o heridas infectadas (Zimmerman y Kelley, 1982).

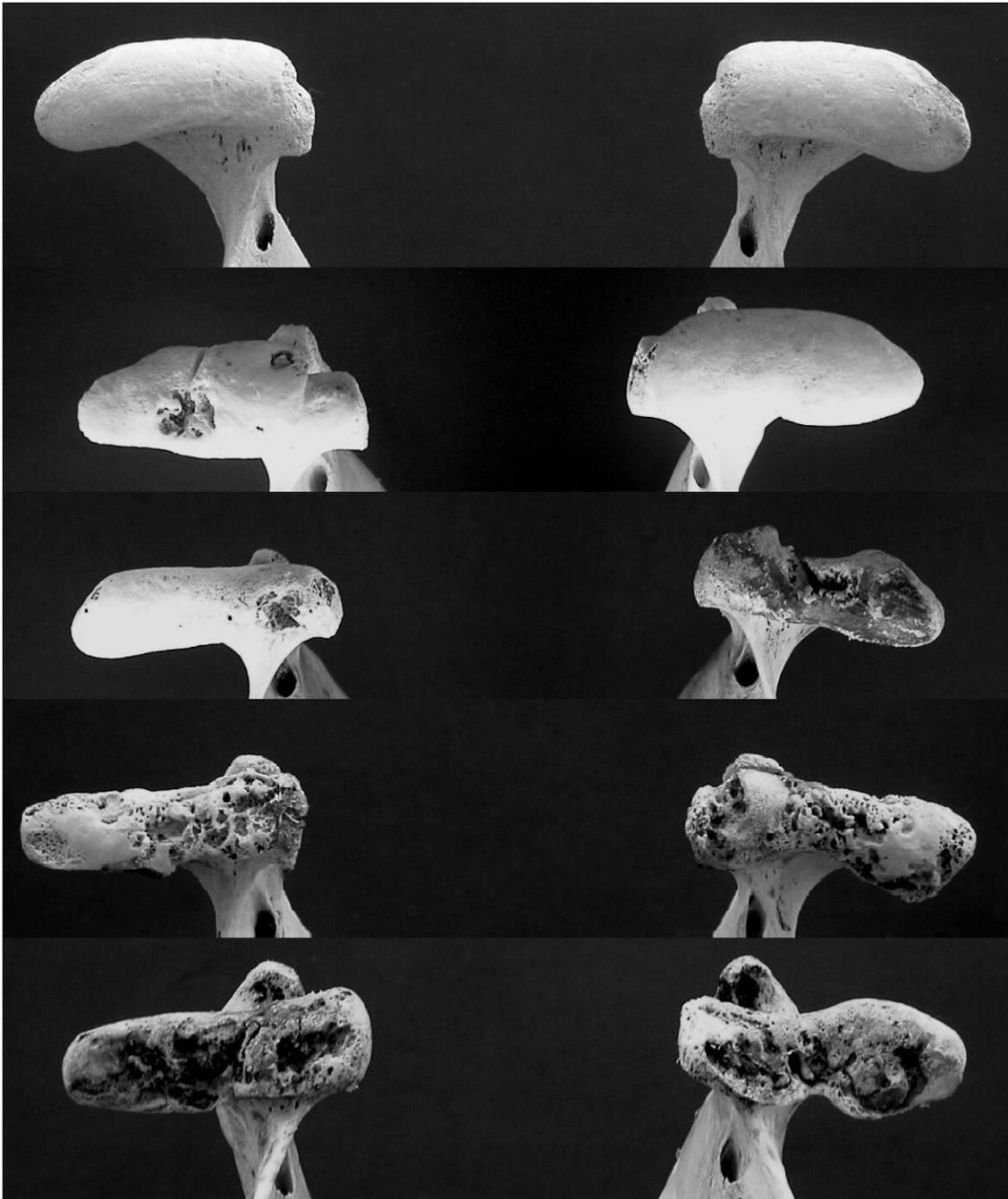


Figura 4. Serie de cóndilos mandibulares de lobo marino de California desde condición normal (arriba) hasta un grado avanzado de osteoartritis temporo-mandibular (OTM) (tomado de Aurióles *et al.*, en preparación).

II.5.2. OSTEOMIELITIS

Una de las patologías que afectan el tejido óseo, es la osteomielitis, que se describe como un proceso inflamatorio infeccioso que desemboca en infección y deterioro del tejido óseo (Figura 5). La osteomielitis puede causarse como resultado de una infección bacteriana en la corriente sanguínea, denominada bacteremia o sepsis, que se propaga al hueso. Esta infección puede limitarse a una zona concreta del hueso o afectar a diferentes partes incluyendo la médula ósea, corteza, periostio y/o partes blandas circundantes (Fernández, 2000). La osteomielitis puede manifestarse de forma repentina, lenta y leve o bien puede tratarse de un problema crónico, según el origen de la infección (Baltensperger, 2009).

Cuando la osteomielitis afecta el esqueleto axial, se observa con mayor frecuencia en los huesos largos de extremidades inferiores como el fémur, tibia, humero y pelvis, aunque también se puede encontrar en los huesos de la cabeza y en particular en la mandíbula. La osteomielitis presenta 2 formas de infección la primera es por vía directa (diente y tejidos periodontales) e indirecta (hemática y linfática) (Fernández, 2000). Esta patología se caracteriza por presentar en el hueso un aspecto poroso, así como la formación de cavidades (fístulas), formación de hueso nuevo y por presentar ruptura total del mismo, cuyo origen se encuentra relacionado con características ambientales como contaminación antropogénica (Aurioles *et al.*, aceptado).

Junin y Castello (1995) observaron osteomielitis en el cráneo de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*). Erb *et al.* (1996) describieron lesiones dentarias y mandibulares en el cráneo de un *Arctocephalus gazella*, entre ellas osteomielitis en ambos dientes y periostitis en el maxilar izquierdo. Katzenberg y colaboradores en 1999 analizaron la variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en muestras de hueso tomadas de autopsias en humanos que presentaban ciertas patologías en los huesos del oeste de Canadá, donde encontraron que la más grande variación (2‰) en el $\delta^{15}\text{N}$ se tuvo para el espécimen con osteomielitis.

Rodríguez-Braunn y colaboradores (2004) determinaron que la principal infección en el león marino Sudamericano (*Otaria flavescens*) del Río Grande de la costa sur de Brasil fue la osteomielitis asociada a alteraciones dentales, como fracturas, exposición de la cavidad pulpal, desgaste dental, este último incrementó con la edad. Se cree que estos procesos son causados durante la interacción con pesquerías, competencia territorial y a accidentes durante la captura de presas.



Figura 5. Serie de mandíbulas mostrando diversos grados de deterioro por osteomielitis, desde condición normal (arriba) hasta el caso extremo con fractura (abajo) (tomado de Aurióles *et al.*, en preparación).

II.6. ENMALLADOS

En este trabajo los individuos enmallados fueron los que presentaron una red o malla que les perforó el cráneo, se piensa que el enmalle pudo ocurrir mucho tiempo atrás (meses a años) debido a que el cráneo se volvió a fusionar quedando la red dentro de él, lo que indica que este animal se siguió alimentando y creciendo, aunque en la última etapa de su vida dicha lesión pudo haber imposibilitado la captura de presas y probablemente la desnutrición haya sido la causa de su muerte (Figura 6).



Figura 6. Fotografía de un cráneo con lesión de enmalle. Tomado de www.calacademy.org

III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Lesiones óseas o cambios patológicos asociadas a la osteoartritis y osteomielitis de la articulación mandibular pueden generar cuadros severos que limitan la alimentación del lobo marino. Estas enfermedades óseas tienen un desarrollo que puede durar años, incapacitando a los animales en su alimentación, por lo que se espera que animales con distintos grados de osteoartritis y osteomielitis muestren evidencia de cambios drásticos en la dieta con respecto a animales sanos o carentes de estos marcadores. Es decir se esperaría señales isotópicas más bajas para animales enfermos, típicas de especies de menor nivel trófico y más fáciles de capturar (crustáceos y moluscos) Dichos cambios en la dieta se reflejarían en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, especialmente en los últimos años de vida de los animales enfermos.

IV. OBJETIVOS

IV.1. GENERAL

Comparar los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de animales con y sin rastro de lesiones óseas localizadas en el aparato masticatorio asociadas a la osteoartritis y osteomielitis, como una aproximación para detectar potenciales cambios de dieta.

IV.2. PARTICULARES

- 1) Caracterizar el grado de deterioro mandibular y dental de lobos marinos con indicadores asociados a osteoartritis y osteomielitis.
- 2) Estimar los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en capas de crecimiento de dentina de animales con y sin rastro de lesiones óseas de la región de Bahía Magdalena.
- 3) Construir y caracterizar los perfiles ontogénicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de animales con y sin rastro de lesiones óseas y determinar si existen cambios significativos en los casos determinados como osteoartritis y osteomielitis.

V. ZONA DE ESTUDIO

En Isla Magdalena (24°48'N; 112°19'O) se encuentra Cabo San Lázaro que es el límite sur de la extensa playa occidental de Magdalena donde se ha recuperado una gran cantidad de cráneos de lobo marino. La Isla Magdalena es angosta y mayormente arenosa con su playa occidental de aproximadamente 56 km de extensión. Está situada en el litoral Oeste del municipio de Comondú en el Estado de Baja California Sur. La Isla Magdalena se encuentra a 86 km al norte de Isla Santa Margarita.

V.1. ISLA SANTA MARGARITA

La Isla Santa Margarita se encuentra ubicada frente al litoral oeste de Baja California Sur. Se localiza en 24° 31' latitud norte y 112° 01' longitud oeste. Se ubica entre las islas Magdalena, de la que está separada por el canal de Bocana de Entrada, y Creciente, de la que la separa el canal de Rohusa. Está limitada al sur por la Bahía Magdalena y al suroeste por la Bahía Almejas. Tiene 39 km de largo y 9 km de ancho en su punto máximo, con una altura de 566 metros s.n.m. Presenta un clima desértico semi-cálido con una temperatura anual de 18° a 22°C (Carta de climas 12R-VII de la secretaría de la Prensa, CETENAL, 1970). Es una isla de origen volcánico, árida y estéril. Presenta elevaciones que alcanzan una altura máxima en el "Cerro Santa Margarita" (1858m), también conocido como el "Cerro de las Tijeras". Al extremo noroeste de la isla se le conoce con el nombre de cabo Redondo y al extremo sureste como cabo Tosco, en cuyos alrededores existen importantes yacimientos de magnesita. Al oriente cuenta con una base naval llamada Puerto Cortés, donde se concentran los pescadores de langosta. Localidades rurales importantes de la isla son Puerto Alcatraz y Puerto Cortés. La población censada en 1990 fue de 549 habitantes. Cuenta con una superficie aproximada de 220 km² y es característicamente escarpada, con una sola porción arenosa en su sección central occidental de aproximadamente 11 km. de largo, expuesta al Océano Pacífico. En Isla Santa Margarita se encuentra la única colonia reproductora de lobos marinos a 450 km a la redonda con una población aproximada de 5,000 individuos (Figura 7; Bautista, 2002). Ésta zona presenta dos tipos de sustratos: uno de tipo rocoso y otro de tipo arenoso, siendo este último el más amplio, con una superficie de 3 km (Fleischer y König, 1984).

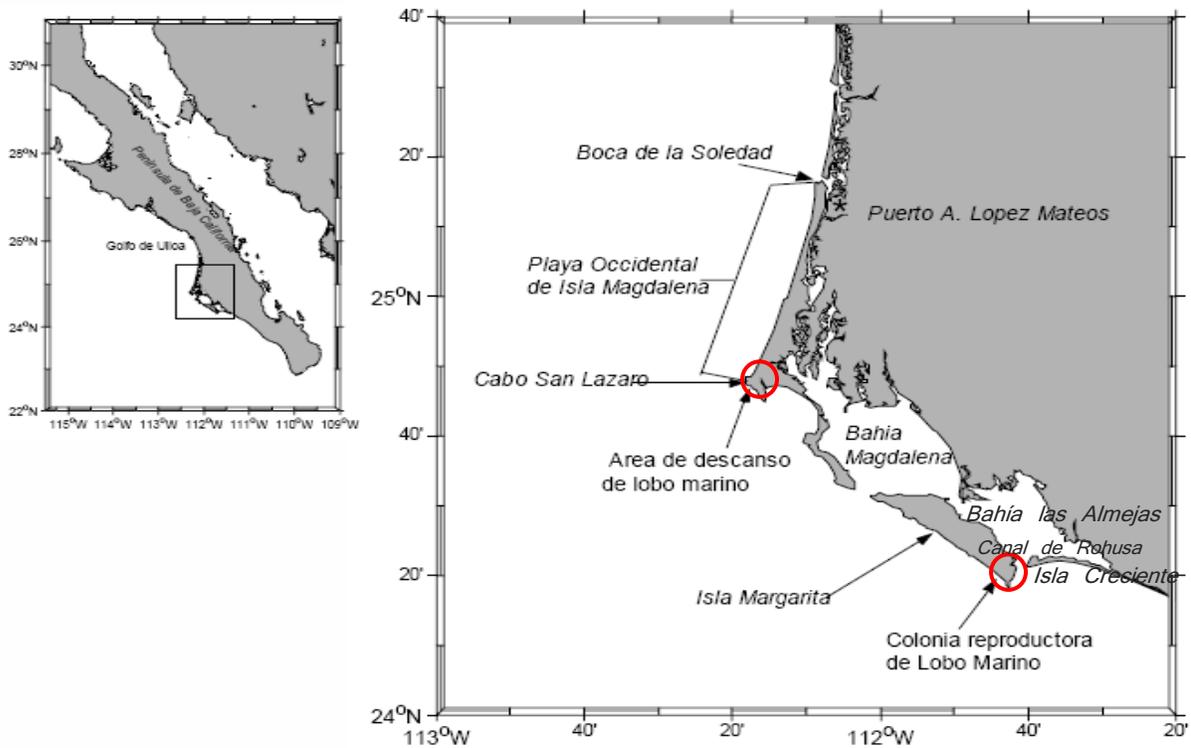


Figura 7. Área de estudio. Ubicación de la playa occidental en Isla Magdalena BCS, con su límite sur en Cabo San Lázaro y de la colonia reproductora del lobo marino en Isla Santa Margarita (círculos en rojo).

VI. MÉTODOS

Se realizó una revisión general de alrededor de 700 cráneos de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) pertenecientes a la colección del Laboratorio de Ecología de Pinnípedos Burney J. Le Boeuf del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. De esta colección se seleccionaron 23 de ellos recolectados en Bahía Magdalena, en su mayor parte en la Isla Santa Margarita y Cabo San Lázaro, que fueron los que tuvieron mayores rasgos de lesiones evidentes a simple vista, además de dos individuos con enmalle craneal.

VI.1. DETERMINACIÓN DE LA OSTEOARTRITIS Y OSTEOMIELITIS

Para determinar a la osteoartritis se caracterizaron: el área afectada en cóndilos y fosas mandibulares, número de excrecencias, y deformación de piezas. Para determinar a la osteomielitis se caracterizaron el área afectada en mandíbulas, número y diámetro de perforaciones o fístulas mandibulares. Además de las anteriores se encontraron otras lesiones: fracturas, desgaste dental, pérdida dentaria *antemortem* y desalineación mandibular, que pese a que no fueron atribuibles a ninguna de las dos enfermedades evaluadas en el presente trabajo sí son patológicas y anómalas bucalmente.

VI.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS LESIONES

A continuación se describe el proceso de caracterización de cada una de las lesiones:

a) Porcentaje de área afectada

Para obtener el porcentaje del área afectada, se les tomaron ocho fotografías a cada uno de los 23 cráneos; una para cada lado de los cóndilos mandibulares (izquierdo y derecho), dos de las fosas mandibulares (izquierda y derecha), dos de las mandíbulas en vista exterior y dos en vista lingual (de ambos lados, derecho e izquierdo) . En total se obtuvieron 184 fotografías, las cuales se transfirieron al programa CPC (Coral Point Count del National Coral Reef Institute), para obtener las áreas totales y afectadas de cada una de las partes consideradas vulnerables para dichas enfermedades (línea en rojo en periferia, muestra área total, línea roja dentro de la periferia, muestra el área afectada, Figs; 8, 9 y 10).

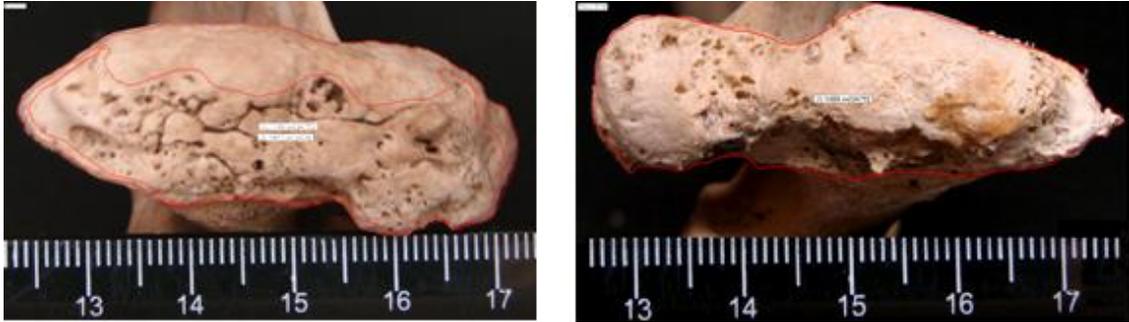


Figura 8. Fotografías de los cóndilos mandibulares (izquierdo y derecho) pertenecientes al individuo con clave CSL-560-270604, se muestra el área total y afectada.

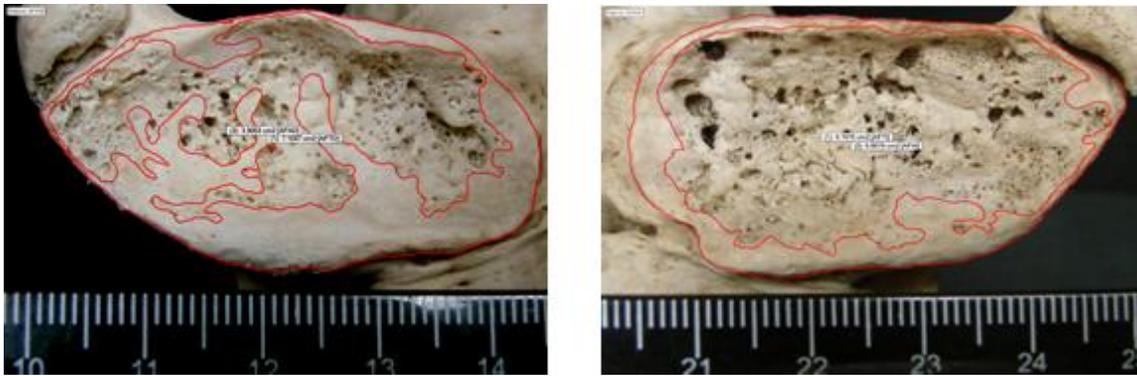


Figura 9. Fotografías de las fosas condilares (derecha e izquierda) de un macho subadulto con clave CSL-560-270604, mostrando el área total y afectada.

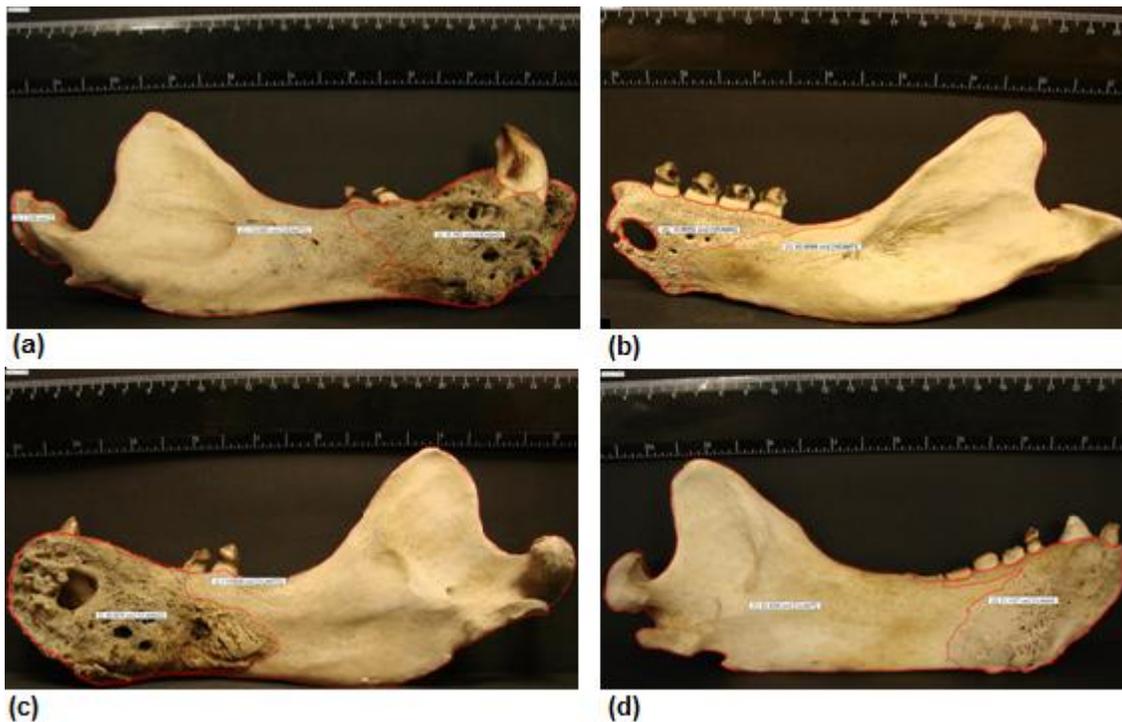


Figura 10 a-d. Fotografías de mandíbulas de machos adultos por ambos lados izquierdo y derecho en vista externa y lingual, mostrando el área total y afectada: a) mandíbula derecha en vista externa (clave CSL-S/N-2008), b) mandíbula izquierda en vista externa (clave CSL-567-040405), c) mandíbula derecha en vista lingual (clave CSL-S/N-2008), d) mandíbula izquierda en vista lingual (clave CSL-560-061204).

b) Número de excrecencias

Se contabilizaron el número de osteofitos (formaciones de hueso nuevo) en todas las partes: cóndilos, fosas y mandíbulas, pese a que la literatura nos dice que son propias de la artritis también se encontraron en mandíbulas (Figura 11).



Figura 11. Imagen que muestra el conteo del número de excrecencias.

c) Deformación de piezas

Al no poder cuantificar la deformación de los cóndilos, se procedió a contar el número de piezas deformadas (Figura 12).



Figura 12. Imagen que muestra un ejemplo de deformación de cóndilo.

d) Número de perforaciones (fístulas) mandibulares

Se contabilizaron el número de perforaciones en ambos lados mandibulares (Figura 13).



Figura 13. Imagen que muestra la contabilización del número de perforaciones en un ejemplar con osteomielitis.

e) Diámetro de las perforaciones

De las perforaciones contabilizadas anteriormente también se les midió el diámetro con la ayuda del programa Coral Point Count (Figura 14).



Figura 14. Imagen que muestra la medición del diámetro de las perforaciones en un ejemplar con osteomielitis.

f) Desgaste dental

Este grado de afección se calculó utilizando el algoritmo desarrollado por Labrada *et al* (2007); donde el índice del grado de desgaste dental para estimar la proporción del promedio de desgaste del diente a su correspondiente edad, es:

$$Id = \frac{\sum qk_q}{n \cdot z}$$

donde q es el grado de desgaste del diente (0=inexistente; 1= desgaste por arriba de un cuarto de la corona del diente; 2= desgaste por arriba de la mitad de la corona; 3= desgaste de más de la mitad de la corona), k_q es el número de dientes con nivel de desgaste q , n es el número de dientes en la mandíbula y z es la edad del animal (Figura 15). Con este índice se clasificó en cuatro grados de desgaste (inexistente, bajo, medio y alto) considerando el Id obtenido, acorde con Labrada *et al.*, (2007).

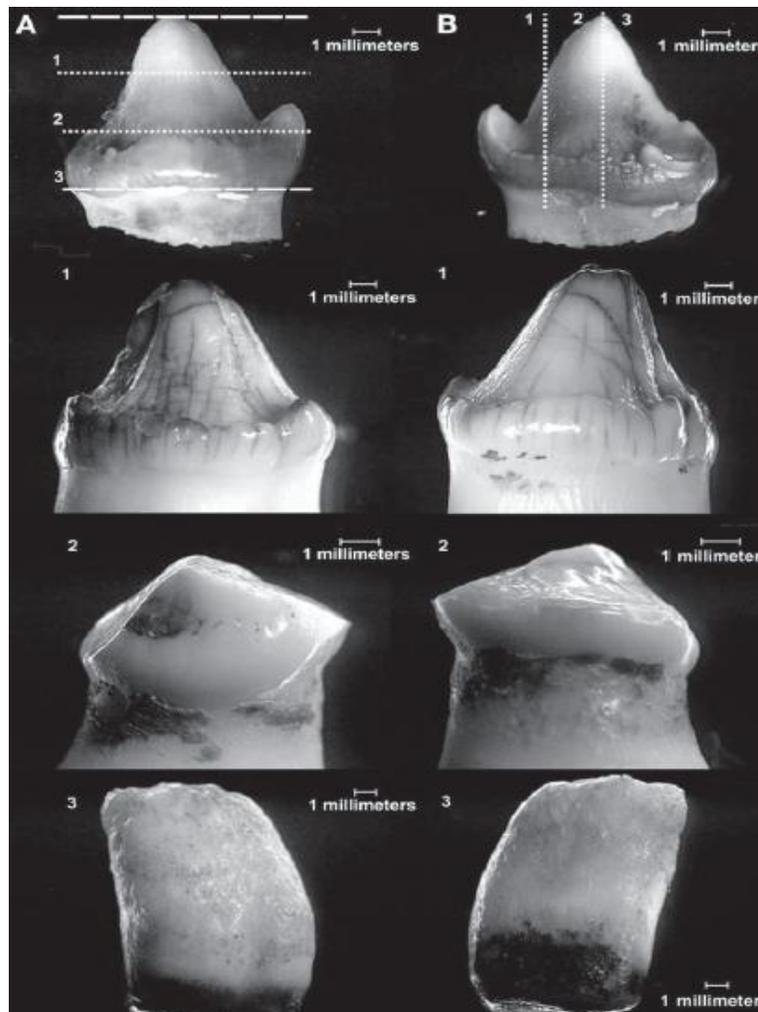


Figura 15. Diagrama de los dientes del lobo marino de California, en donde se muestran los tres niveles de desgaste dental asignados. A) vista externa, B) vista lingual (Tomado de Labrada, *et al.*, 2007).

g) Pérdida dentaria.

Se contaron el número de piezas dentales perdidas ante de la muerte de los organismos, es decir cuando existe una reacción ósea después de la pérdida y no solo cuando no existe la pieza (el alveolo se encuentra abierto), lo que podría atribuirse a la falta de un manejo correcto (Figura 16).

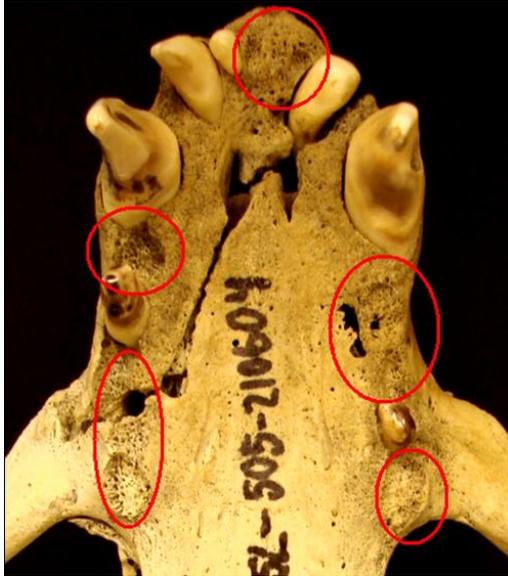


Figura 16. Imagen que muestra la pérdida dentaria *antemortem*.

h) Desalineación mandibular.

Se hizo uso de fotografías en plano vertical en vista palatina, como se muestra en la Figura 17, la regla se utilizó como nuestra base, para trazar una perpendicular (línea roja) que pasara exactamente por la mitad de la maxila, posteriormente se trazó una línea que pasó por un punto en el extremo superior de las dos fosas condilares (1er línea amarilla), se verificó que dicha línea estuviera a 90° con respecto a la perpendicular. Por último se trazó otra línea que pasó por dos puntos en el extremo inferior de las fosas condilares (2da línea amarilla) y se midió el ángulo entre ésta línea y la perpendicular. La variación encontrada con respecto al ángulo de 90° fue lo que llamamos desalineación mandibular.

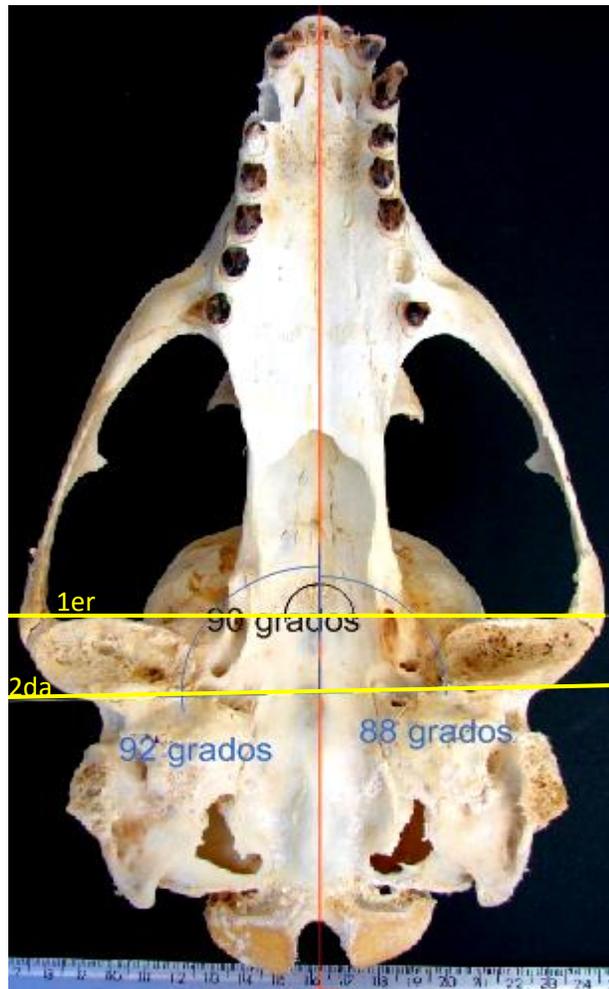


Figura 17. Medición de la desalineación mandibular. Descripción de las medidas en el texto. Eje longitudinal (línea roja). Líneas amarillas para medir el ángulo de alineación del cóndilo mandibular a dos niveles.

VI.2. ESTIMACIÓN DE LA EDAD

Para estimar la edad de los individuos a través de los dientes, éstos se seccionaron longitudinalmente con una cortadora con sierra de navaja de punta de diamante de baja velocidad marca Isomet. Con esto se tuvieron dos partes lo más simétricas posibles del diente, una de las mitades se pulió progresivamente mediante una serie de lijas de agua para metal que van desde un grano muy grueso hasta uno fino (180, 200, 400, 600, 800) con lo que se obtuvo una superficie lisa. Esta pieza se sumergió en una solución al 10% de ácido fórmico de 1 a 2 horas para eliminar las partículas adheridas a la superficie pulida; ya que el ácido digiere las partículas de polvo que se encuentran entre las bandas de crecimiento, lo que permite se puedan observar diferencias en el relieve y el color de las estrías. Posteriormente se lavó con agua corriente y se secó al aire durante 2 horas, con el fin de que se revelaran las capas de crecimiento, las cuales son contaron con la ayuda de un estereoscopio (10x) todas las bandas opacas menos una (la capa de crecimiento fetal), para de esta manera estimar la edad de cada individuo (Klevezal, 1996; Figura.18).

Esta técnica se siguió con base en un estudio hecho por Lok y colaboradores (2004), donde evaluaron los efectos de tiempo de tratamiento y concentración en ácido acético de muestras de hueso para los análisis de isótopos estables, donde encontraron que 4 hrs son suficientes para remover contaminantes altamente solubles, ya que si se deja más tiempo la muestra podría recristalizarse. La concentración de ácido apropiada fue de 0.1 M, ya que si este se diluye más causa cambios en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, independiente del tiempo.

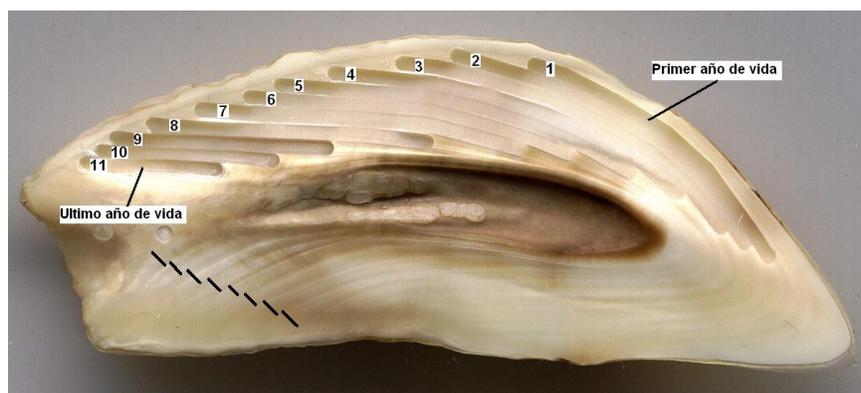


Figura 18. Diente canino de lobo marino seccionado longitudinalmente, donde se observa la presencia de capas de crecimiento anual (parte inferior del diente) y las huellas del mini-taladro en las capas de crecimiento anuales (parte superior; Foto D. Auriolos).

VI.3. EXTRACCIÓN DEL COLÁGENO.

Para los análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo dentina mediante una recolecta con un equipo automatizado (Micro-Mill System). El Mini-drill System

permitió obtener muestras precisas de dentina mediante la programación de un taladro pequeño con ancho de punta de 0.08 mm que pasa a lo largo de una ruta de muestreo de 1cm y que varió desde los 100 hasta los 500 μm de profundidad (Figura 19).



Figura 19. Sistema de obtención de muestras de tejidos duros (dientes, vértebras, otolitos etc). El equipo programa el paso de un mini-taladro sobre la superficie del diente a una profundidad, longitud y anchura pre-determinadas.

VI.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Cada muestra se desmineralizó en ácido clorhídrico (HCl) al 10% por 12 a 15 horas a 5°C, el material resultante fue tratado repetidamente con una mezcla de cloroformo, metanol, agua (2:1:0:8) para remover lípidos. Posteriormente el material es liofolizado y se homogeniza con ayuda de un mortero de ágata hasta obtener un polvo muy fino. En una micro-cápsula de estaño de 8 x 5 mm se pesan ~ 1 mg de muestra con ayuda de una micro-balanza analítica con precisión de 0.001 mg. Las micro-cápsulas fueron selladas, para su envío al Laboratorio de Isótopos Estables en la Universidad de California en Davis.

Las razones de isótopos estables de nitrógeno y carbono fueron medidas por flujo continuo en el espectrómetro de masas de razones isotópicas (20-20 PDZ Europa). La proporción de isótopos estables de un elemento se representa a través de la notación delta (δ), con relación a un estándar, según la ecuación propuesta por DeNiro & Epstein (1978):

$$\delta^{15}\text{N} \text{ o } \delta^{13}\text{C} = 1000((R \text{ muestra} / R \text{ estándar}) - 1)$$

Donde R muestra y el R estándar son los cocientes molares de los isótopos pesados sobre los livianos presentes en la muestra y el estándar respectivamente. Las unidades de medida se expresan en partes por mil (‰) y

los estándares internacionalmente reconocidos para estos elementos son la Pee Dee Belemnita PDB para carbono cuyo valor es de 0.011 ‰ y el nitrógeno atmosférico N₂ para nitrógeno con valor de 0.004 ‰

Por medio de los isótopos estables es posible comparar la amplitud trófica de un individuo con respecto a otro, para lo cual se utiliza la varianza presente en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los distintos valores ontogénicos. En el caso del colágeno dental se tomaron todas las lecturas anuales para medir el promedio y su varianza (Bearhop, *et al.*, 2004).

VII. RESULTADOS

VII.1. DETERMINACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS

VII.1.1. OSTEOMIELITIS Y OSTEOARTRITIS

Para cumplir con el objetivo uno de determinar el nivel de daño, se propuso en este trabajo una escala de niveles de afectación de la osteoartritis y osteomielitis (Tablas 4 y 5) basada en la caracterización de las lesiones y cambios morfológicos con fundamento en la literatura y en rasgos visibles.

La asignación de niveles inicia con el valor 1, para los organismos con el menor daño, hasta el nivel cuatro para los organismos con el daño más severo, teniendo como referencia a los individuos sin lesiones óseas. El valor de los porcentajes y los intervalos numéricos en cada nivel se asignaron partiendo del valor numérico posterior al presentado por los individuos sin rastro de lesiones y abarcó hasta el valor más grande, es decir el presentado por el individuo con mayor daño. Una vez obtenido este rango se dividió aritméticamente entre cuatro (que son los cuatro niveles de las Tablas 4, 5 y 6). Además se tomó en cuenta la frecuencia de cada lesión presentes en cada uno de los individuos, con base en el análisis de histogramas de frecuencias, en los que en su mayoría se observó normalidad.

VII.1.2. OTROS CAMBIOS QUE AFECTAN EL ESTADO DE SALUD

a) Desgaste dental

Para evidenciar la relación que existe entre edad y desgaste dental se realizó una correlación lineal, la cual resultó ser significativa ($p < 0.05$) y moderadamente positiva ($r = 0.46$; Figura 20).

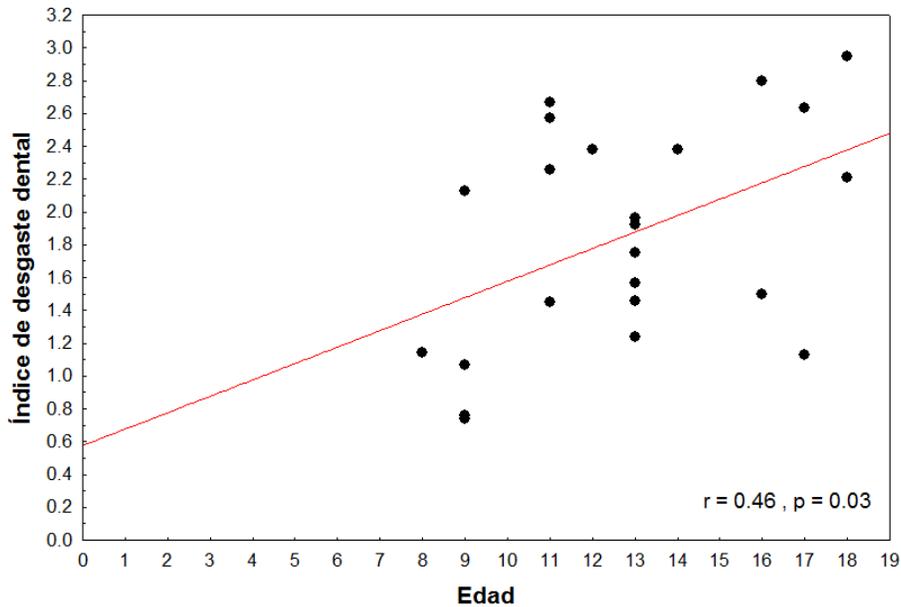


Figura 20. Gráfica que muestra la correlación lineal significativa ($p < 0.05$) entre la edad (número de capas de crecimiento anual) y el índice de desgaste dental.

b) Pérdida dentaria

El promedio de pérdidas dentarias por individuo fue de cuatro y el máximo de 13, por lo que también se hizo una escala de niveles, en la que en el nivel 1 se tienen de 1 a 5 piezas perdidas, en el nivel 2 se tienen de 6 a 11, en el nivel tres de 12 a 17 y en el nivel cuatro de 18 a 23 piezas dentales ausentes.

c) Fracturas y fisuras

Las fisuras y fracturas fueron lesiones que se catalogaron como las más graves, es decir las que radicalmente imposibilitarían a los individuos a capturar y triturar a su presa. Dichas lesiones no se catalogaron dentro de las lesiones atribuibles ni a osteoartritis ni a osteomielitis debido a que pueden ser provocadas por traumatismos o golpes inherentes a alguna enfermedad, aunque este tipo de lesión sería más susceptible si existe un debilitamiento del hueso. La escala de nivelación se hizo para el nivel 1, en donde los individuos presentaron una fisura en cualquiera de los dos cuerpos mandibulares, nivel 2 si presentaban dos fisuras, nivel 3 en el que los individuos presentaban una fractura y en los más graves (nivel 4) donde presentaron fractura en los dos cuerpos mandibulares (izquierdo y derecho).

Tabla 4. Caracterización de las lesiones atribuibles a la **OSTEOARTRITIS** en lobos marinos de la región de Bahía Magdalena, BCS.

		SIN LESIONES	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
% Área afectada	Cóndilos mandibulares	0%	(0-25%]	(25-50%]	(50-75%]	>75%
	Fosas mandibulares	0%	0-18.30cm	18.40-36.70cm	36.80-55.10cm	55.20-73.40cm
Excrecencias		0	1-5	7-11	12-16	17-22
Deformación		0	1	2	3	4

Tabla 5. Caracterización de las lesiones atribuibles a la **OSTEMIELITIS** en lobos marinos de la región de Bahía Magdalena, BCS.

	SIN LESIONES	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
% Área afectada en mandíbulas	0	0.10-8.64	8.65-17.29	17.3-25.94	25.95-34.60
Número de fístulas	10-18	19-30	31-42	43-54	55-65
Díámetro de las fístulas	0-0.76cm	0.77-1.14 cm	1.15-1.51 cm	1.52-1.88 cm	1.89-2.25 cm

Tabla 6. Caracterización de **PATOLOGÍA ORAL Y ANOMALÍAS DENTARIAS** no atribuibles directamente a la osteoartritis y osteomielitis en lobos marinos de la región de Bahía Magdalena, BCS.

	SIN LESIONES	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
Desgaste dental	0-0.06	0.07-0.1124	0.1125-0.1549	0.155-0.1974	0.1975-0.24
Pérdida dentaria	0 dientes	1-5 dientes	6-11 dientes	12-17 dientes	18-23 dientes
Desalineación	0°	1°	2°	3°	4°
Fisura / fractura	No presente	Fisura 1 lado	Fisura 2 lados	Fractura 1 lado	Fractura 2 lados

VII.3. FRECUENCIA DE LAS LESIONES

Se graficó la frecuencia de las lesiones en cada uno de los individuos, resultando en que las lesiones más comunes fueron el área afectada en cóndilos, la deformidad, las excrescencias, un mayor número de fístulas y el desgaste dental. La lesión menos común fue la presencia de fracturas o fisuras, encontrándose sólo en tres casos (Figura 21).

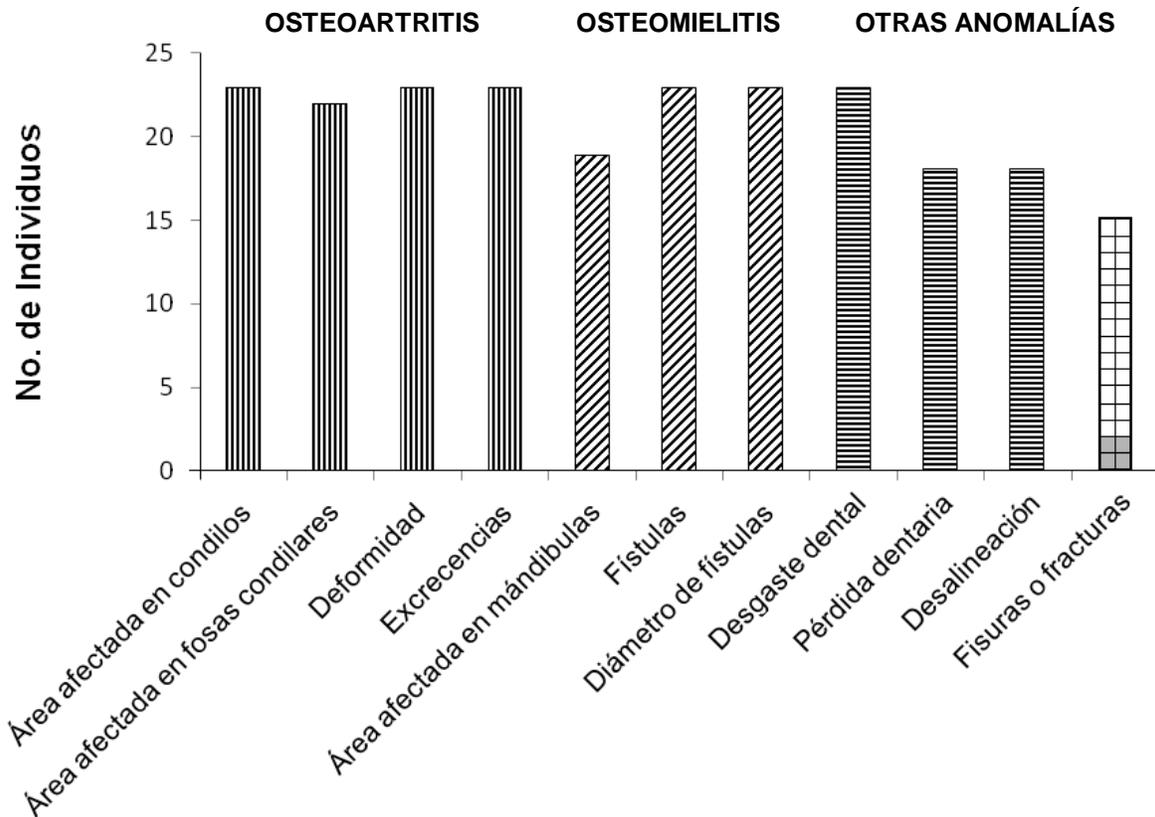


Figura 21. Frecuencia de las lesiones atribuibles a la osteoartritis (▨), osteomielitis (▧), y no atribuibles a alguna de las dos enfermedades (▩), lesiones más severas (▦).

VII.4. ÍNDICE ACUMULADO

Se obtuvo un índice acumulado de daño óseo sumando los niveles de asignación de cada lesión para cada individuo. El índice varió desde los 18 a 33; donde los valores más bajos corresponden a los individuos menos dañados y los valores mayores corresponden a los individuos con un daño mayor.

Tabla 7. Índice Acumulado de daño óseo (sumatoria de los distintos tipos y niveles de lesiones) para cada individuo de la muestra de estudio.

INDIVIDUOS \ LESIONES	% Cón d	% Fos	Excr.	Def	% Mand	Perf	Diám.P.	IDD	P.dent	Des.	Ff.	IA
Z-CSL-443-020803	4	4	1	1	2	1	1	1	0	3	0	18
Z-CSL-485-260404	2	4	1	1	1	4	2	1	0	3	0	19
Z-CSL-513-270604	2	3	2	1	1	1	1	1	1	3	0	16
Z-CSL-560-110305	4	4	4	1	1	2	2	4	2	2	0	26
Z-CSL-609-140805	3	3	2	2	1	1	1	2	0	2	0	17
Z-CSL-624-141105	2	3	4	2	1	2	3	3	1	2	0	23
Z-CSL-658-220904	4	4	4	3	2	1	1	3	1	4	1	28
Z-CSL-682-300104	2	2	3	4	2	3	4	3	1	1	1	26
Z-CSL-755-140307	4	4	2	2	1	1	1	3	1	2	0	21
Z-CSL-705-140207	2	4	3	3	1	1	2	1	1	2	1	21
Z-ISM- 099-130382	1	2	2	3	1	1	3	3	1	1	0	18
Z-CSL-447-041203	1	1	2	4	4	2	4	1	1	2	3	25
Z-CSL-505-210604	2	1	1	4	3	1	3	4	3	1	1	24
Z-CSL-701-130207	1	2	1	4	2	3	1	4	1	2	1	22
Z-CSL-614-170905	3	1	3	4	3	1	1	3	4	2	1	26
Z-CSL-605-280705	1	1	2	4	4	1	1	2	2	2	4	24
Z-CSL-567-040405	1	2	1	4	2	2	3	2	1	3	1	22
Z-CSL-692-130207	1	1	1	4	2	3	1	1	1	2	1	18
Z-CSL-634-080206	2	1	2	4	3	2	1	4	4	1	1	25
Z-CSL-636-240206	3	1	1	3	4	2	3	4	1	1	2	25
Z-CSL-546-061204	1	1	1	4	2	1	1	2	0	2	1	16
Z-CSL-607- 040805	1	1	2	4	2	2	1	2	0	3	1	19
Z-CLS- S/N- 2008	4	2	4	4	4	4	3	3	1	3	1	33

% Cón d: porcentaje de área afectada en cóndilos mandibulares.

% Fosas: porcentaje de área afectada en fosas mandibulares

Excr: número de excrecencias.

Def: número de piezas deformadas.

% Mand: porcentaje de área afectada en mandíbulas

Perf: número de perforaciones.

Diám.P: diámetro de perforaciones.

IDD: Índice de desgaste dental.

P.dent: pérdida dentaria.

Des: desalineación mandibular.

Ff: presencia de fracturas o fisuras.

Se realizó una correlación lineal simple entre la edad y el índice acumulado de daño óseo que resultó significativa ($p < 0.05$), aunque débilmente positiva ($r = 0.44$; Figura 22). Lo que sugiere que los animales de mayor edad acumulan más daño óseo.

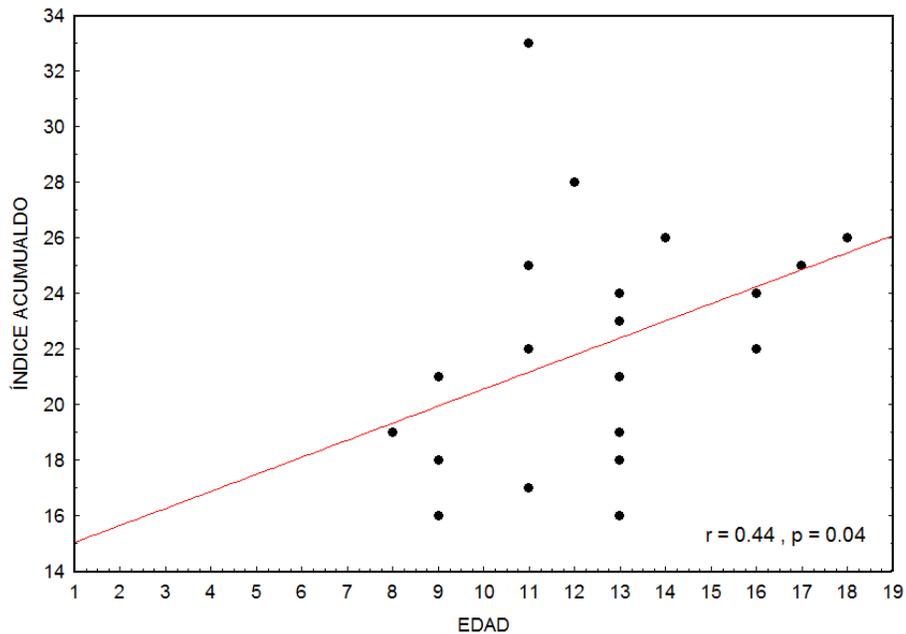


Figura 22. Gráfica que muestra la correlación lineal significativa ($p < 0.05$) entre la edad y el índice de daño óseo acumulado.

VII.2. DETERMINACIÓN DE EDAD

Se determinó la edad de cada individuo mediante el conteo de bandas de crecimiento anual (Klevezal, 1969) por tres observadores con experiencia. El promedio de estos conteos se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Edad estimada de 23 individuos de lobo marino de California con rastro de lesiones recolectados en Cabo San Lázaro e Isla Santa Margarita en el periodo 1983-2008.

CLAVE INDIVIDUOS CON LESIONES	EDAD	FECHA DE COLECTA	FORMACIÓN 1era CAPA	LOCALIDAD
Z- CSL- 443- 020803	9	02/08/2003	1994	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 485- 260404	8	26/04/2004	1996	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 513- 270604	9	27/06/2004	1996	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 560- 110305	18	11/03/2005	1987	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 609- 140805	11	14/08/2005	1994	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 624- 141105	13	14/11/2005	1992	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 658- 220904	12	22/09/2004	1992	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 682- 300104	14	30/01/2004	1990	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 755- 140307	9	14/03/2007	1998	Cabo San Lázaro
Z-CSL- 705- 140207	13	14/02/2007	1994	Cabo San Lázaro
Z- ISM- 099- 130382	13	13/03/1983	1970	I. Santa Margarita
Z- CSL- 447- 041203	17	04/12/2003	1986	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 505- 210604	16	21/06/2004	1988	Cabo San Lázaro
Z-CSL- 701- 130207	11	13/02/2007	1996	Cabo San Lázaro
Z-CSL- 614- 170905	18	17/09/2005	1987	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 605- 280705	13	28/07/2005	1992	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 567- 040405	16	04/04/2005	1989	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 692- 130207	9	13/02/2007	1998	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 634- 080206	17	08/02/2006	1989	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 636- 240206	11	24/02/2006	1995	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 546- 061204	13	06/12/2004	1991	Cabo San Lázaro
Z- CSL- 607- 040805	13	04/08/2005	1992	Cabo San Lázaro
Z-CLS- S/N- 2008	11	26/07/2008	1997	Cabo San Lázaro

Tabla 9. Edad estimada de 30 individuos de lobo marino de California sin rastro de lesiones recolectados en Cabo San Lázaro e Isla Santa Margarita en el periodo 1983-2008.

CLAVE INDIVIDUOS SIN LESIONES	EDAD	FECHA DE COLECTA	FORMACIÓN 1era CAPA	LOCALIDAD
Z-ISM-097-130382	8	13/03/1982	1975	Isla Santa Margarita
Z-ISM-123-220582	5	22/05/1982	1976	Isla Santa Margarita
Z-ISM-135-170483	7	17/04/1983	1976	Isla Santa Margarita
Z-ISM-114-130382	7	13/03/1982	1976	Isla Santa Margarita
Z-ISM-169-101084	7	10/10/1984	1978	Isla Santa Margarita
Z-ISM-166-101084	5	10/10/1984	1980	Isla Santa Margarita
Z-ISM-120-220582	5	22/05/1982	1978	Isla Santa Margarita
Z-ISM-129-130383	3	13/03/1983	1981	Isla Santa Margarita
Z-ISM-159-040683	7	04/06/1983	1977	Isla Santa Margarita
Z-ISM-109-130382	4	13/03/82	1979	Isla Santa Margarita
Z-ISM-095-130382	6	13/03/82	1977	Isla Santa Margarita
Z-ISM-230-050385	7	05/03/1985	1979	Isla Santa Margarita
Z-CSL-426-060103	8	06/01/2003	1996	Cabo San Lázaro
Z-CSL-620-111005	10	11/10/2005	1996	Cabo San Lázaro
Z-CSL-511-250604	13	25/06/2004	1992	Cabo San Lázaro
Z-CSL-574-180405	8	18/04/2005	1997	Cabo San Lázaro
Z-CSL-498-280504	9	28/05/2004	1996	Cabo San Lázaro
Z-CSL-495-170504	13	17/05/2004	1991	Cabo San Lázaro
Z-CSL-537-091104	12	09/11/2004	1993	Cabo San Lázaro
Z-CSL-437-140703 A	9	14/07/2003	1994	Cabo San Lázaro
Z-CSL-437-140703 B	7	14/07/2003	1996	Cabo San Lázaro
Z-CSL-442-020803	7	02/08/2003	1996	Cabo San Lázaro
Z-CSL-420-0703	11	07/2003	1992	Cabo San Lázaro
Z-ISM-121-220582	6	22/05/1982	1977	Isla Santa Margarita
Z-ISM-104-130382	5	13/03/1982	1978	Isla Santa Margarita
Z-ISM-136-170483	9	17/04/1983	1979	Isla Santa Margarita
Z-ISM-167-101084	7	10/10/1984	1978	Isla Santa Margarita
Z-ISM-106-130382	12	13/03/1982	1971	Isla Santa Margarita
Z-ISM-145-170483	7	17/04/1983	1977	Isla Santa Margarita
Z-ISM-112-130382	10	13/03/1982	1973	Isla Santa Margarita

VII.2.1. COMPARACIÓN DE EDAD ENTRE INDIVIDUOS CON Y SIN RASTRO DE LESIONES

Se analizó la edad entre hembras con y sin rastro de lesiones a través de la prueba de U de Mann-Withney, la cual no detectó diferencias significativas ($U=10.5$, $p>0.05$; Figura 23), pero aplicada en los machos, indicó que los individuos con lesiones óseas tuvieron edades significativamente diferentes con respecto a los machos sin rastro de ellas ($U=32.5$, $p<0.05$; Figura 24).

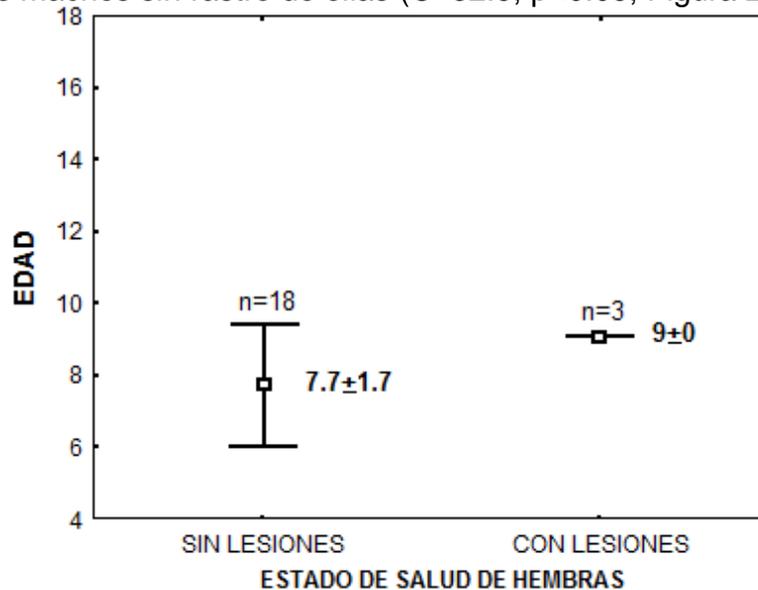


Figura 23. Edad (promedio ± DS en años) entre hembras con y sin rastro de lesiones, mostrando que no hubo diferencias significativas entre ellas.

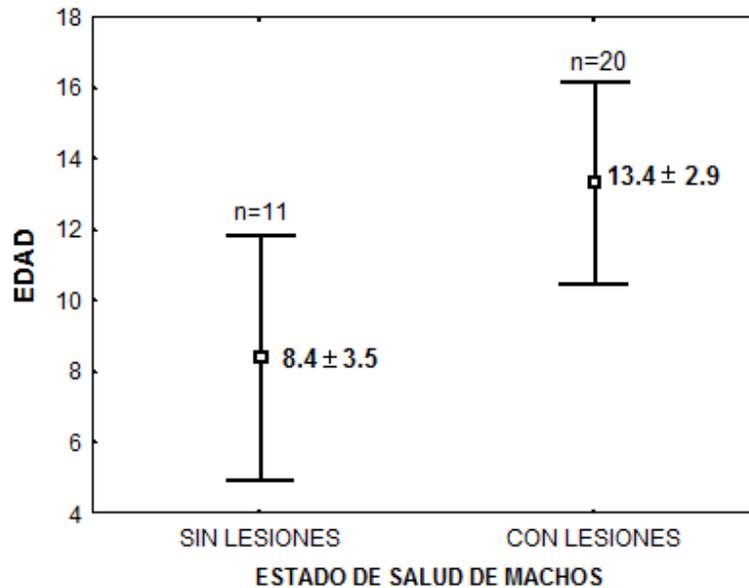


Figura 24. Edad (promedio ± DS en años) entre machos con y sin rastro de lesiones, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

VII.2.1 COMPARACIÓN INTRA-SEXUAL EN INDIVIDUOS CON RASTRO DE LESIONES

La prueba de U de Mann-Whitney detectó diferencias significativas entre la edad de hembras y machos con lesiones, resultando significativamente diferentes los machos de las hembras ambos con rastro de lesiones ($U= 3$, $p<0.05$; Figura 25).

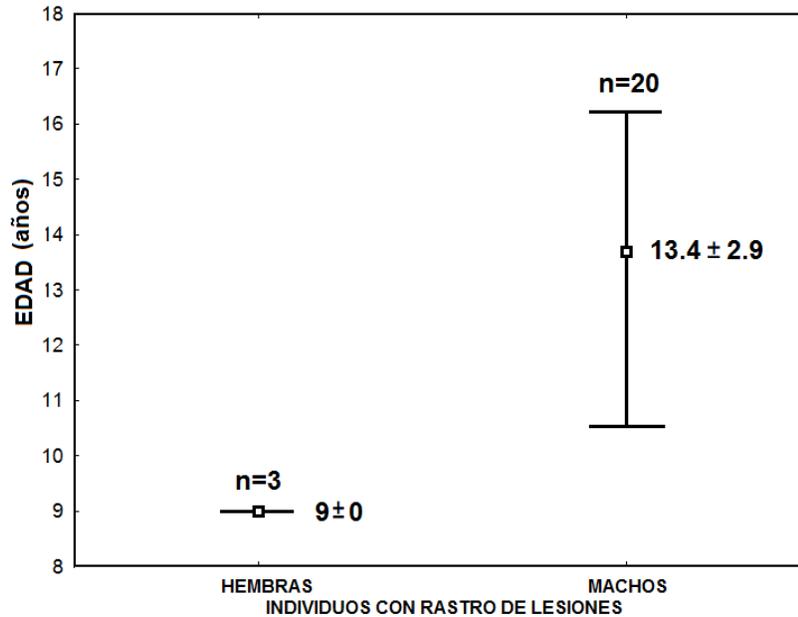


Figura 25. Edad (promedio \pm DS en años) entre hembras y machos con rastro de lesiones, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

VII.3. ANÁLISIS ISOTÓPICO

VII.3.1. TAMAÑO DE MUESTRA ESPECÍFICO

A cada uno de los 23 dientes de individuos con rastro de lesiones óseas (20 ♂ y 3 ♀) , 30 de individuos sin rastro de ellas (10 ♂, 18 ♀, 2 no identificados) y dos individuos enmallados (2 ♂), se les extrajo cada línea de crecimiento anual correspondientes a las distintas fases ontogénicas con base en la clasificación de Hernández (2008): cría menor a un año, juvenil de los dos a los cuatro años, subadulto o adulto joven (sólo para machos) de los cinco a los nueve años y adulto de los cinco en adelante (sólo en hembras) y después de los nueve años en machos.

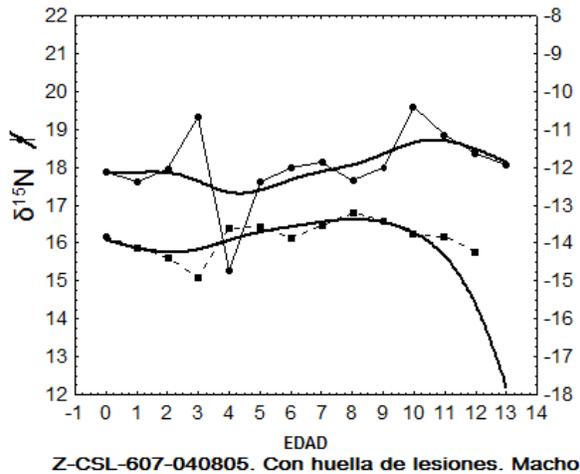
Por lo que en este estudio se analizaron un total de 589 fases ontogénicas, 237 correspondientes a 30 individuos sin rastro de lesiones óseas (90 ♂, 143 ♀, 7 no identificado), 316 de 23 individuos con rastro de ellas (287 ♂, 29 ♀), y 20 de individuos enmallados (2 ♂; Tabla 10).

Tabla 10. Tamaño de muestras por cada grupo y fases extraídas de colágeno dental de individuos sin y con rastro de lesiones óseas y enmallados. Cada diente corresponde a un individuo.

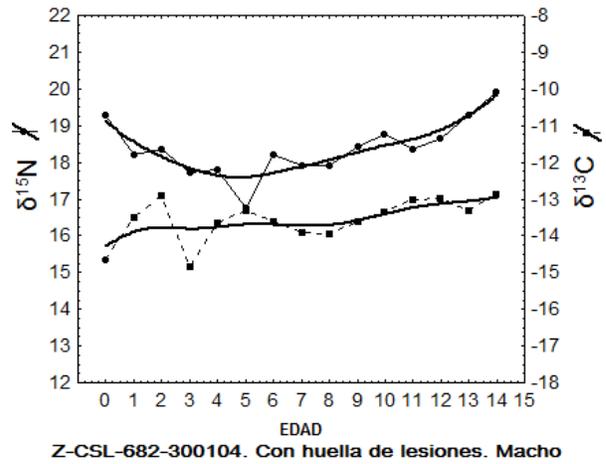
	SIN LESIONES ÓSEAS	CON LESIONES ÓSEAS	ENMALLADOS
Muestra (dientes)	30	23	2
Bandas anuales extraídas	237	316	20

VII.3.2. PERFILES Y PATRONES ISOTÓPICOS

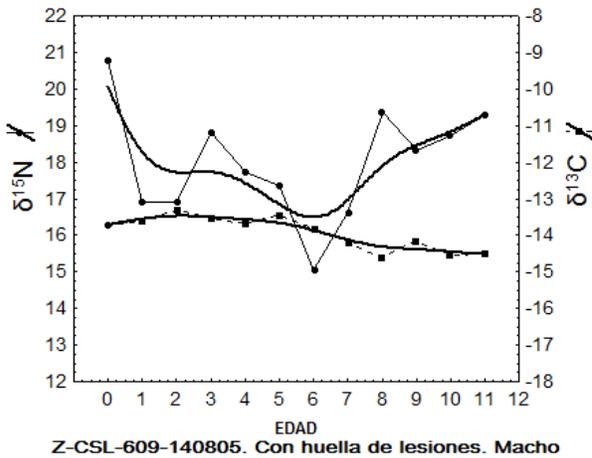
Con los valores isotópicos obtenidos se construyeron los perfiles de los 23 individuos con lesiones óseas. Para obtener las tendencias generales se graficó la distancia ponderada por mínimos cuadrados (Distance weighted least squares) para obtener tendencias generales con el fin de disminuir la influencia de puntos extremos (línea continua; Figura 26a-f). En estos perfiles isotópicos se puede observar la variación en el enriquecimiento de carbono y nitrógeno que permiten determinar la estabilidad de los hábitos alimentarios, la duración de posibles cambios en la dieta y el de dieta cuando la osteomielitis y osteoartritis se hacen evidentes (particularmente en los últimos años de vida del animal).



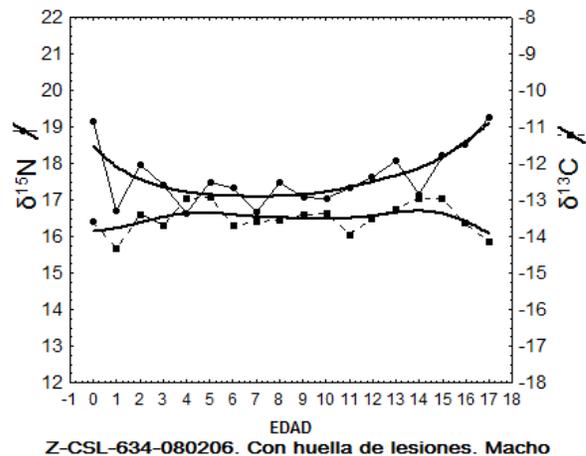
(a) Patrón $\sim\delta^{15}\text{N} \downarrow \delta^{13}\text{C}$



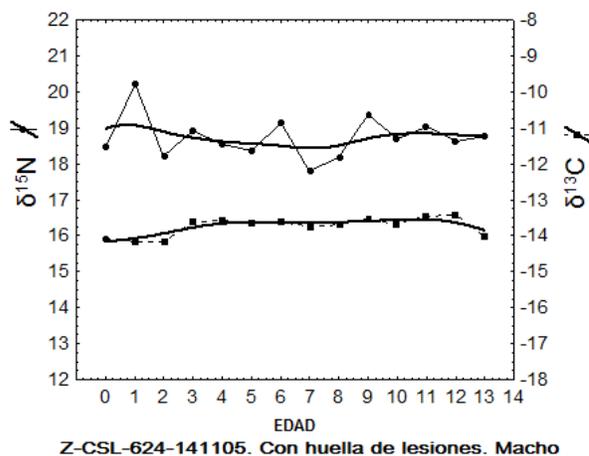
(b) Patrón $\uparrow\delta^{15}\text{N} \uparrow\delta^{13}\text{C}$



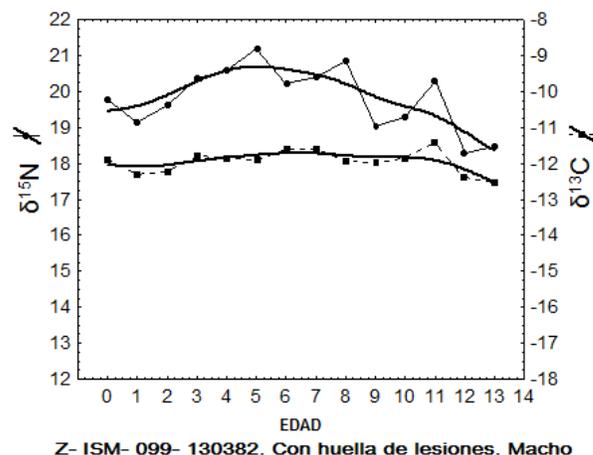
(c) Patrón $\uparrow\delta^{15}\text{N} \sim\delta^{13}\text{C}$



(d) Patrón $\uparrow\delta^{15}\text{N} \downarrow\delta^{13}\text{C}$



(e) Patrón $\sim\delta^{15}\text{N} \sim\delta^{13}\text{C}$



(f) Patrón $\downarrow\delta^{15}\text{N} \sim\delta^{13}\text{C}$

Figura 26 a-f. Ejemplos de perfiles isotópicos y representante de cada patrón presentado en individuos con rastro de lesiones.

Entre los individuos con rastro de lesiones se encontraron seis patrones isotópicos, basados en los últimos cuatro años; 1) en donde el $\delta^{15}\text{N}$ se mantiene constante (\sim) y el $\delta^{13}\text{C}$ disminuye (\downarrow), 2) en el cual ambos isótopos aumentan (\uparrow), 3) en donde el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta mientras que el $\delta^{13}\text{C}$ se mantiene, 4) en el que mientras el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta, el $\delta^{13}\text{C}$ disminuye, 5) en donde ambos isótopos se mantienen y 6) en el cual el $\delta^{15}\text{N}$ disminuye y el $\delta^{13}\text{C}$ se mantiene (Figura 26 a-f).

En el caso de los individuos sin rastro de lesiones, éstos presentaron ocho patrones: 1) en donde el $\delta^{15}\text{N}$ se mantiene constante (\sim) y el $\delta^{13}\text{C}$ disminuye (\downarrow), 2) en el cual ambos isótopos aumentan (\uparrow), 3) en donde el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta mientras que el $\delta^{13}\text{C}$ se mantiene constante, 4) en el que mientras el $\delta^{15}\text{N}$ aumenta, el $\delta^{13}\text{C}$ disminuye, 5) en donde ambos isótopos se mantienen constantes, 6) donde los valores del $\delta^{15}\text{N}$ bajan mientras que los del $\delta^{13}\text{C}$ aumentan, 7) en el que ambos isótopos se ven disminuidos y 8) en el que los valores del $\delta^{15}\text{N}$ se mantienen mientras que los del $\delta^{13}\text{C}$ aumentan. Cabe resaltar que estos últimos tres patrones no fueron encontrados en individuos con rastro de lesiones, pero el patrón seis del grupo de individuos con rastro de lesiones no se presentó en individuos sin rastro de ellas.

De los seis patrones presentados por los individuos con rastro de lesiones óseas se presentan sus respectivos porcentajes (Figura 27). Así mismo para los ocho patrones presentados para los individuos sin rastro de lesiones óseas (Figura 28). Individuos sin y con rastro de lesiones comparten los primeros cuatro patrones, y el patrón que más se repite en ambos grupos estudiados es en donde ambos isótopos se mantienen de manera casi constante.

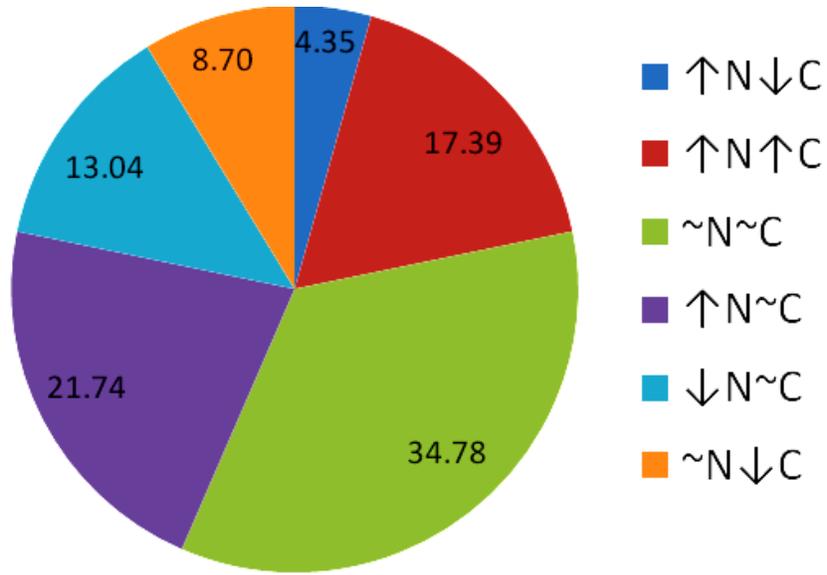


Figura 27. Porcentaje de los patrones isotópicos (izquierda) y los seis patrones que presentaron los individuos con rastro de lesiones óseas (derecha).

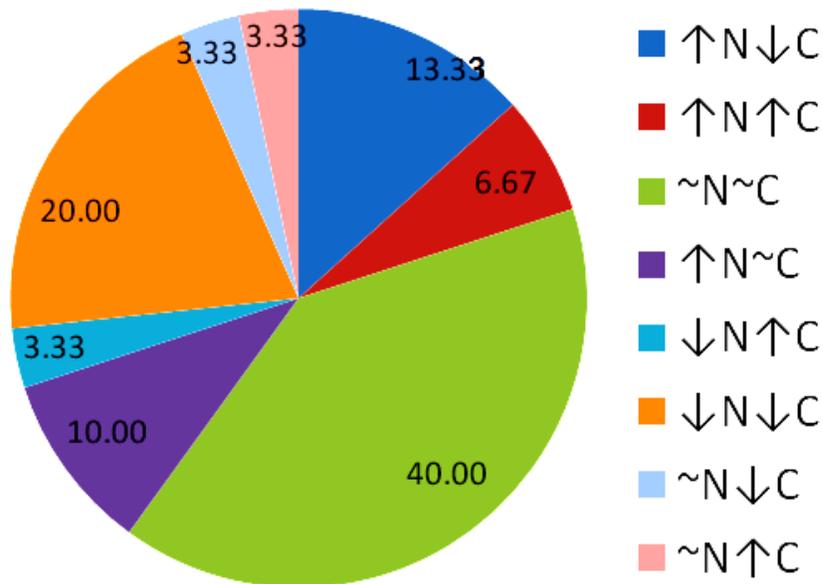


Figura 28. Porcentaje de los patrones isotópicos (izquierda) y los ocho patrones que presentaron los individuos sin rastro de lesiones óseas (derecha).

VII.3.3. DIFERENCIAS DEL $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ ENTRE CATEGORÍAS DE SEXO Y EDAD EN INDIVIDUOS CON RASTRO DE LESIONES ÓSEAS.

Las señales isotópicas obtenidas del colágeno dental de los 23 individuos con rastro de lesiones fueron comparadas mediante ANOVAs en las categorías de sexo y edad. Para el $\delta^{15}\text{N}$ en machos con rastro de lesiones si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F_{3,283}=5.82$, $p<0.05$; Figura 29). La prueba de Tukey corroboró que existieron diferencias significativas en las fases de cría-juvenil, cría-subadulto, juvenil-adulto y subadulto-adulto (Tabla 11).

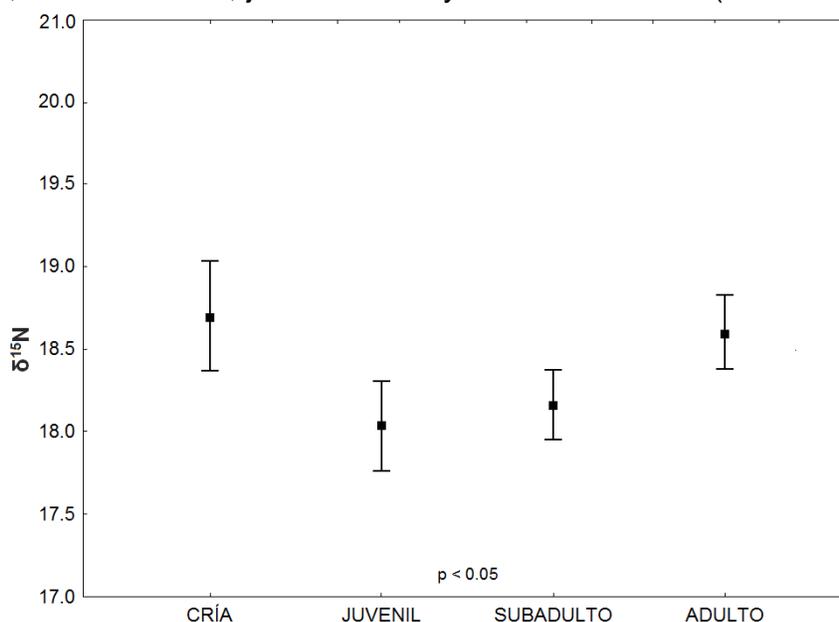


Figura 29. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) en machos con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad.

Tabla 11. Diferencias en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de individuos machos con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad (prueba de Tukey). Los valores en rojo indican los grupos estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

CATEGORÍA DE EDAD	CRÍAS	JUVENILES	SUBADULTO	ADULTO
CRÍAS		0.012680	0.038258	0.968224
JUVENILES			0.882129	0.007903
SUBADULTO				0.025067
ADULTO				

En el caso del $\delta^{13}\text{C}$ no se observaron diferencias estadísticamente significativas en machos con rastro de lesiones ($F_{3,283}=1.93$; $p>0.05$; Figura 30).

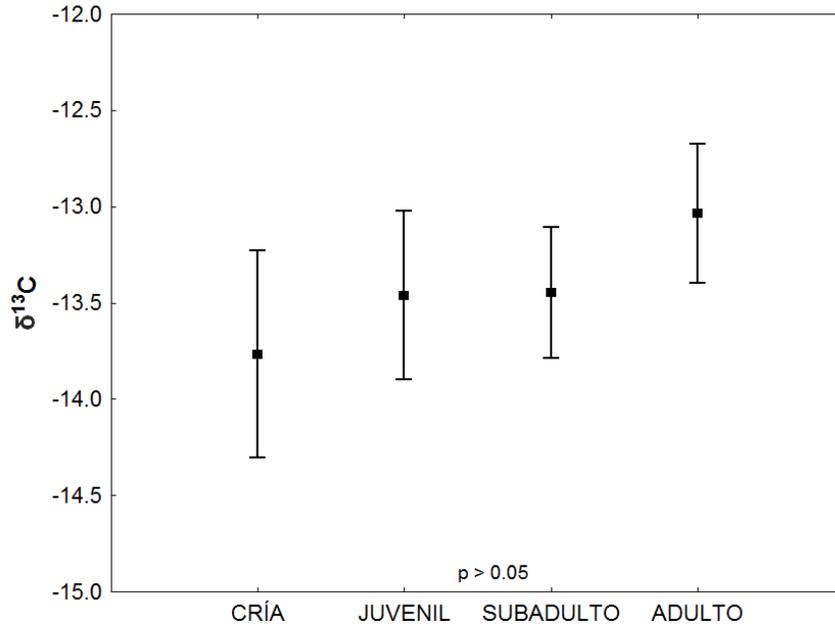


Figura 30. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en machos con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad.

En hembras con rastro de lesiones para el $\delta^{15}\text{N}$ si se observaron diferencias estadísticamente significativas ($F_{2,26}=11.37$, $p < 0.05$; Figura 31). La prueba de Tukey corroboró que las crías son diferentes a las adultas (Tabla 12).

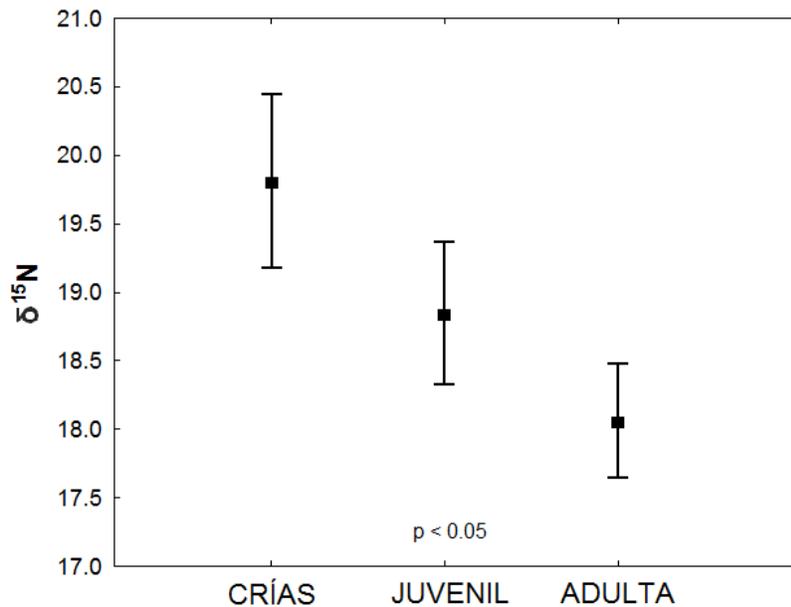


Figura 31. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) en hembras con rastro de lesiones a lo largo de las distintas categorías de edad.

Tabla 12. Diferencias en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de hembras con rastro de lesiones en las distintas categorías de edad (prueba de Tukey). Los valores en rojo indican los grupos estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

CATEGORÍA DE EDAD	CRÍAS	JUVENILES	ADULTA
CRÍAS		0.061066	0.000327
JUVENILES			0.058852
ADULTO			

En el caso del $\delta^{13}\text{C}$ en hembras con rastro de lesiones no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($F_{2,26}=0.81$, $p > 0.05$; Figura 32).

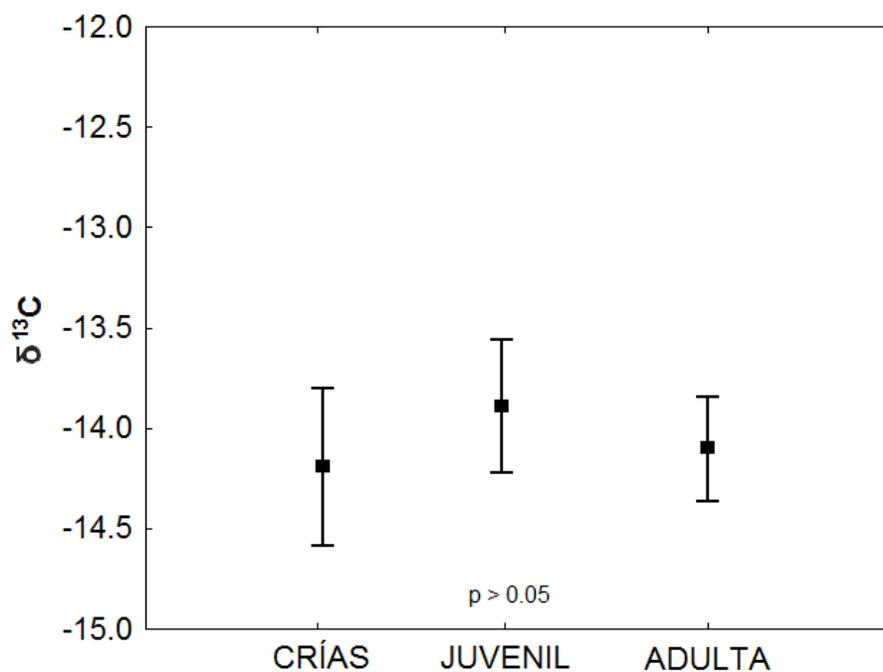


Figura 32. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en hembras con rastro de lesiones a lo largo de las distintas categorías de edad.

VII.3.4. FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO

Partiendo del valor promedio y de la desviación estándar entre las distintas categorías de edad, se calculó el enriquecimiento isotópico en los individuos sin rastro de lesión (Tabla 13), con rastro de lesión (Tabla 14) y enmallados (Tabla 15) entre las fases: cría a juvenil (machos y hembras), juvenil a subadulto (solo en machos), de subadulto a adulto (solo en machos) y para el caso de hembras de juvenil a adultas.

Tabla 13. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C} \pm\text{DS}$ y su respectivo valor de enriquecimiento isotópico entre las distintas categorías de edad en ambos sexos en individuos sin rastro de lesiones.

CATEGORÍA DE EDAD	Machos			
	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Media \pm DS	Enriquecimiento(‰)	Media \pm DS	Enriquecimiento(‰)
Crías (n=12)	20.28 \pm 1.03	1.62	-13.88 \pm 0.54	-0.67
Juvenil (n=30)	18.66 \pm 0.72	0.06	-13.21 \pm 0.64	-0.03
Subadulto (n=29)	18.72 \pm 0.67	0.37	-13.24 \pm 0.35	-0.47
Adulto(n=19)	19.09 \pm 1.14		-13.71 \pm 0.43	

CATEGORÍA DE EDAD	Hembras			
	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Media \pm D	Enriquecimiento(‰)	Media \pm DS	Enriquecimiento(‰)
Crías (n=26)	20.05 \pm 1.0	1.74	-13.45 \pm 0.73	-0.49
Juvenil (n=53)	18.31 \pm 1.0		-12.96 \pm 0.72	
Adulto(n=64)	18.00 \pm 1.1	0.31	-13.42 \pm 0.74-	-0.31

Tabla 14. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C} \pm\text{DS}$ y su respectivo valor de enriquecimiento isotópico entre las distintas categorías de edad en ambos sexos en individuos con rastro de lesiones.

CATEGORÍA DE EDAD	Machos			
	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Media \pm DS	Enriquecimiento(‰)	Media \pm DS	Enriquecimiento(‰)
Cría (n=40)	18.69 \pm 1.12	0.66	-13.77 \pm 0.63	-0.31
Juvenil (n=60)	18.03 \pm 1.27		-13.46 \pm 0.70	
Subadulto (n=99)	18.16 \pm 1.03	0.13	-13.45 \pm 0.72	-0.01
Adulto (n=88)	18.60 \pm 0.93	0.44	-13.04 \pm 2.93	-0.41

CATEGORÍA DE EDAD	Hembras			
	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Media \pm DS	Enriquecimiento (‰)	Media \pm DS	Enriquecimiento(‰)
Cría (n=6)	19.80 \pm 1.0	0.96	-14.18 \pm 0.63	-0.29
Juvenil (n=9)	18.84 \pm 0.6		-13.89 \pm 0.26	
Adulta (n=14)	18.06 \pm 0.7	0.78	-14.10 \pm 0.51	-0.21

Tabla 15. Valores promedio de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C} \pm \text{DS}$ y su respectivo valor de enriquecimiento isotópico entre las distintas categorías de edad de individuos macho enmallados.

	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Media \pm DS	Enriquecimiento (‰)	Media \pm DS	Enriquecimiento (‰)
Cría (n=4)	19.12 \pm 0.44	1.1	-14.37 \pm 0.30	-0.05
Juvenil (n=6)	18.02 \pm 0.62	.84	-14.42 \pm 0.56	-0.48
Subadulto (n=8)	18.86 \pm 0.84		-14.90 \pm 1.21	
Adulto (n=2)	20.21 \pm 0.07	1.35	-14.20 \pm 0.41	-0.70

VII.3.5 DIFERENCIAS ISOTÓPICAS ENTRE INDIVIDUOS CON Y SIN RASTRO DE LESIONES ÓSEAS EN LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DE EDAD

Machos

En la Figura 33 se muestran los valores promedio \pm error estándar de $\delta^{15}\text{N}$ entre las distintas categorías de edad de individuos machos sin y con rastro de lesiones óseas. Se realizaron pruebas de t, entre individuos machos con y sin rastro de lesión, en cada categoría de edad, encontrando que para el caso del $\delta^{15}\text{N}$ si hubo diferencias estadísticamente significativas para todas las categorías; en crías (t = 4.38, p < 0.05), juveniles (t = 2.51, p < 0.0140), subadulto (t = 2.78, p < .05) y adulto (t = 2.02, p = 0.046).

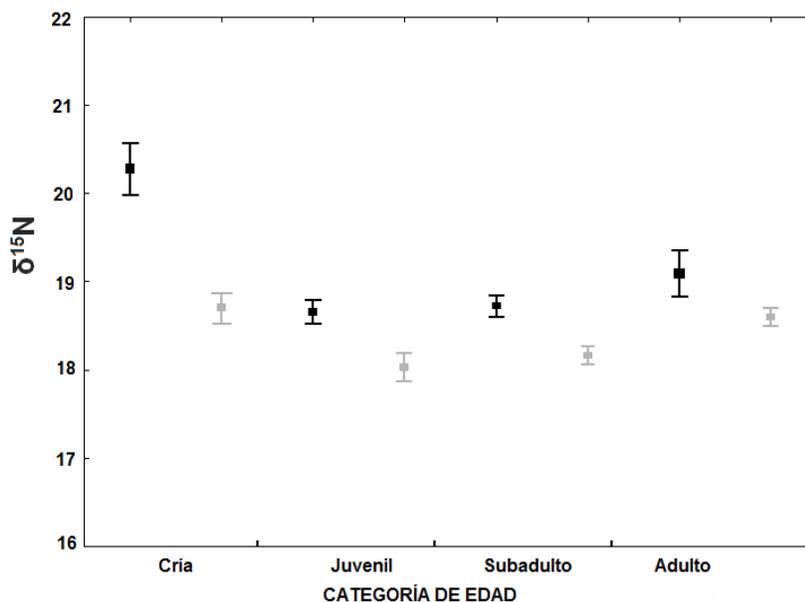


Figura 33. Valores del $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en cada categoría de edad en individuos machos sin (■) y con (■) rastro de lesiones.

En la Figura 34 se muestran los valores promedio \pm desviación estándar de $\delta^{13}\text{C}$ de individuos machos sin (SL) y con rastro de lesiones óseas (CL) entre las distintas categorías de edad. En este isótopo no se observaron diferencias estadísticas significativas entre individuos con y sin lesiones óseas entre cada categoría de edad; cría ($t= -0.55$, $p>0.05$), juvenil ($t=1.67$, $p>0.05$), subadulto ($t=1.46$, $p>0.05$) y adulto ($t=-0.99$, $p>0.05$). Pese a que no existió diferencia estadísticamente significativa en la fase adulta entre machos con y sin rastro de lesiones si se observa una gran variación en las señales de este isótopo.

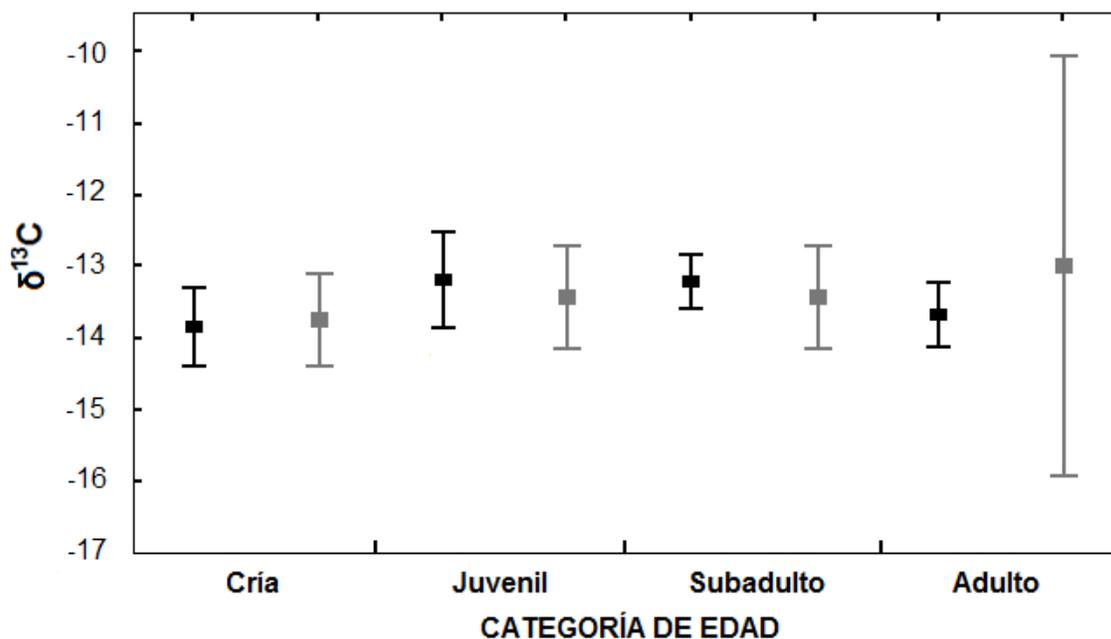


Figura 34. Valores del $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en cada categoría de edad en individuos machos sin (■) y con (■) rastro de lesiones.

Hembras

Se realizaron pruebas de t entre hembras con y sin lesiones en cada categoría de edad, crías ($t=0.52$, $p>0.05$), juveniles ($t=-1.48$, $p>0.05$) y adultas ($t=-0.22$, $p>0.05$), no mostraron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 35).

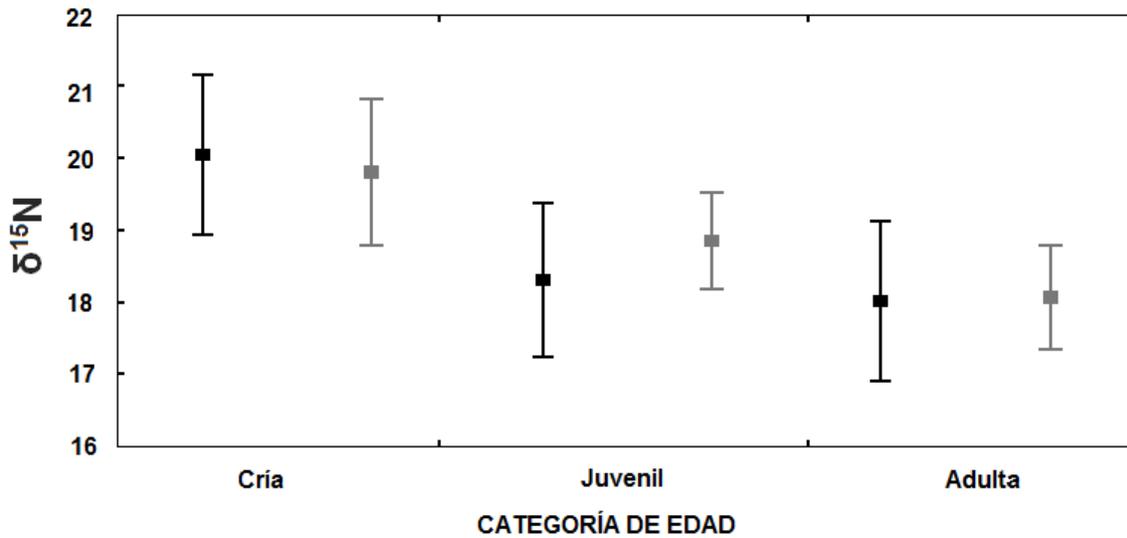


Figura 35. Valores del $\delta^{15}\text{N}$ (promedio de \pm DS en ‰) en hembras sin (■) y con (■) rastro de lesiones en cada categoría de edad.

Para el caso del $\delta^{13}\text{C}$ las hembras sin y con lesiones óseas si presentaron diferencias significativas en todas las categorías de edad: cría ($t=2.27$, $p=0.03$), juvenil ($t=3.81$, $p<0.05$) y adulta ($t=3.21$, $p<0.05$; Figura 36).

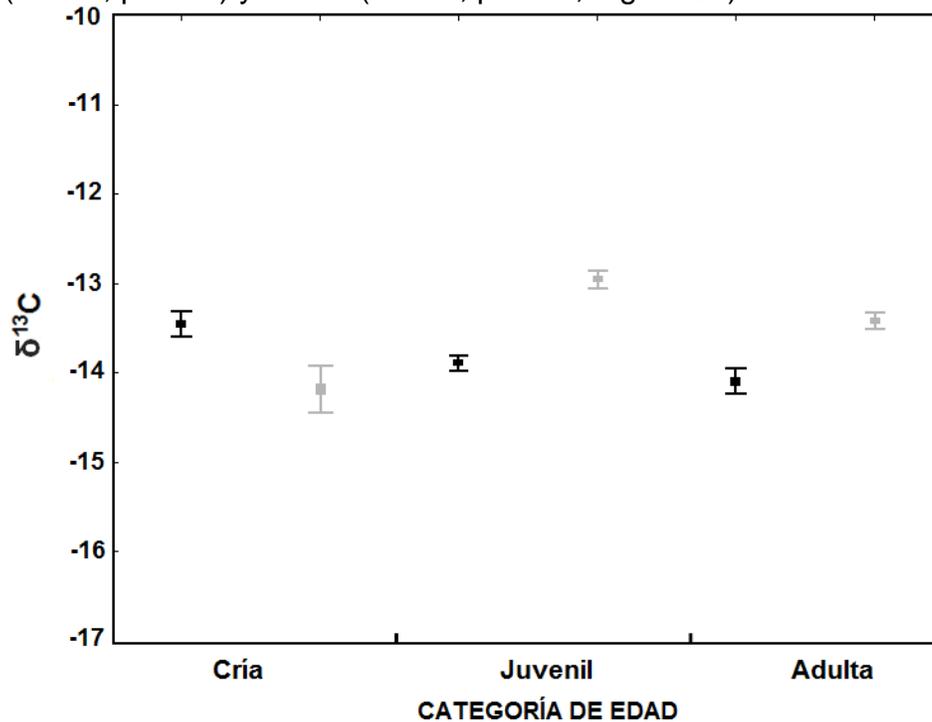


Figura 36. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en hembras sin (■) y con (■) rastro de lesiones en cada categoría de edad.

Comparación machos y hembras con rastro de lesiones

Se analizaron posibles diferencias entre machos y hembras con lesiones en cada una de las categorías de edad. Se encontró que para las crías y la etapa adulta hubo diferencias significativas en los valores del $\delta^{15}\text{N}$ (crías, $t=-2.23$, $p<0.05$; adultas, $t=2.06$, $p=0.04$), mientras que para los juveniles no se encontraron diferencias estadísticas ($t = -1.88$, $p>0.05$; Figura 37).

Para los valores de $\delta^{13}\text{C}$ no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las categorías; cría ($t=1.81$, $p>0.05$), Juvenil ($t=1.51$, $p>0.05$), Adulto ($t= 1.35$, $p>0.05$; Figura 38).

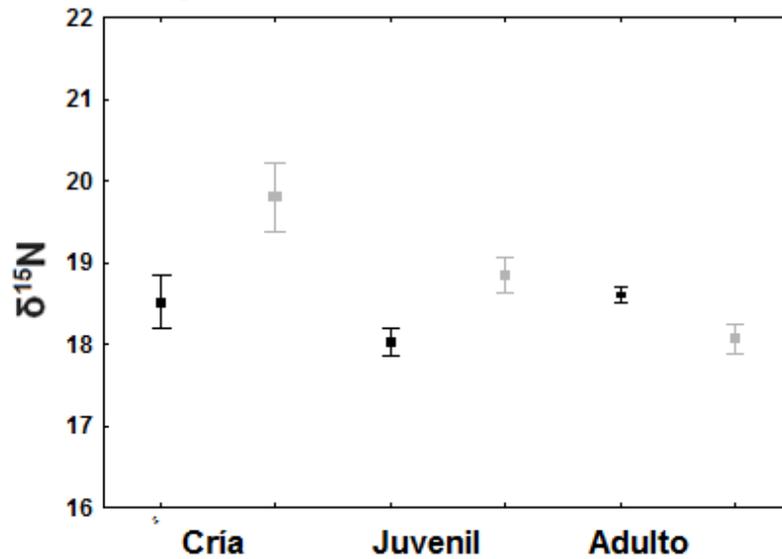


Figura 37. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio de \pm error estándar en ‰) en machos (■) y hembras con rastro de lesiones (▣) en cada categoría de edad.

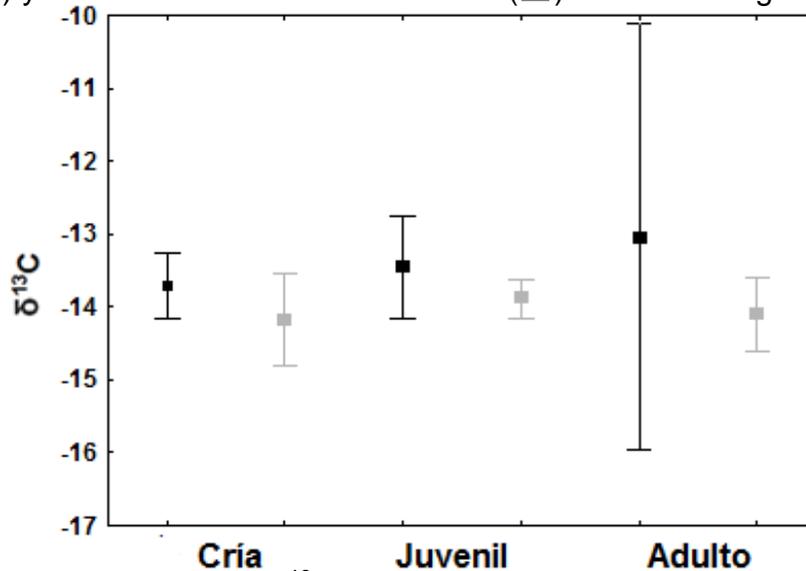


Figura 38. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm DS en ‰) en machos (■) y hembras con rastro de lesiones (▣) en cada categoría de edad.

VII.3.6. COMPARACIÓN DE LOS ÚLTIMOS AÑOS DE VIDA EN CASOS DE OSTEOMIELITIS Y OSTEOARTRITIS MÁS AVANZADOS

Al no encontrar tan claras las diferencias entre los individuos con y sin rastro de lesiones, se tomaron en cuenta sólo los casos extremos (todos machos), es decir aquellos que presentaron los índices acumulados más grandes o los que presentaron fracturas, que se podría pensar podrían incapacitar a cualquier organismo para alimentarse normalmente (ver imagen inferior de Figura 5), y se tomaron sólo los últimos tres años de vida, ya que al tratarse de enfermedades degenerativas, se espera que el impacto de las lesiones sean más evidentes en el comportamiento alimentario.

Para evitar cualquier error en la variación de los valores isotópicos en tiempos generacionales se tomaron en cuenta sólo los individuos sin rastro de lesiones de 1993-2004 (Elorriaga, 2009) y adicionalmente de individuos muestreados posteriormente a este periodo y producidos en este trabajo. Esta verificación se realizó mediante la comparación de valores isotópicos históricos de ambas bases de datos.

Para analizar las posibles diferencias entre individuos sin rastro de lesiones y con el daño más severo se realizaron pruebas de t, donde se encontraron que para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los últimos tres años entre individuos sin rastro de lesiones y con el daño más severo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($t=-0.44$, $p>0.05$). En el caso de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($t=-4.95$, $p<0.05$; Figura 39).

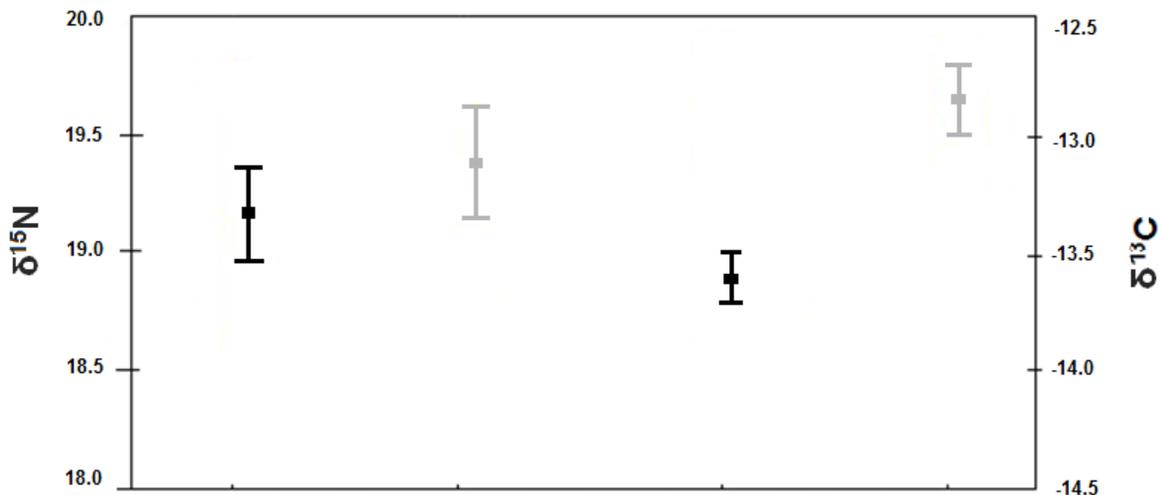


Figura 39. Valores del $\delta^{15}\text{N}$ y del $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) de los tres últimos años en individuos sin rastro de lesiones (■) y con el daño más severo (■).

VII.3.7. CORRECCIÓN TIEMPOS GENERACIONALES COMPARABLES

Para evitar cualquier error en la variación de los valores isotópicos en tiempos generacionales se realizaron ANOVAs para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ en cada año, exceptuando los valores en cría, es decir sólo se tomaron los valores de cada capa anual a partir de la fase juvenil hasta la adulta.

Para el caso del $\delta^{15}\text{N}$ en individuos sin rastro de lesión no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), aunque se observa que el valor del año 2005 es muy superior al de los años anteriores (Figura 40). Caso contrario ocurre para los valores de $\delta^{13}\text{C}$, en el que si se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), además se observa como el valor del año 2005 disminuye drásticamente; Figura 41).

Para los individuos con rastro de lesiones, los valores anuales pertenecen a dos series de tiempo, la de 1971-1982 y la de 1988 a 2008. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los valores de ambos isótopos. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y de $\delta^{13}\text{C}$ en la primera serie de tiempo son claramente más altos en comparación con los valores de la segunda serie de tiempo (Figs 42 y 43).

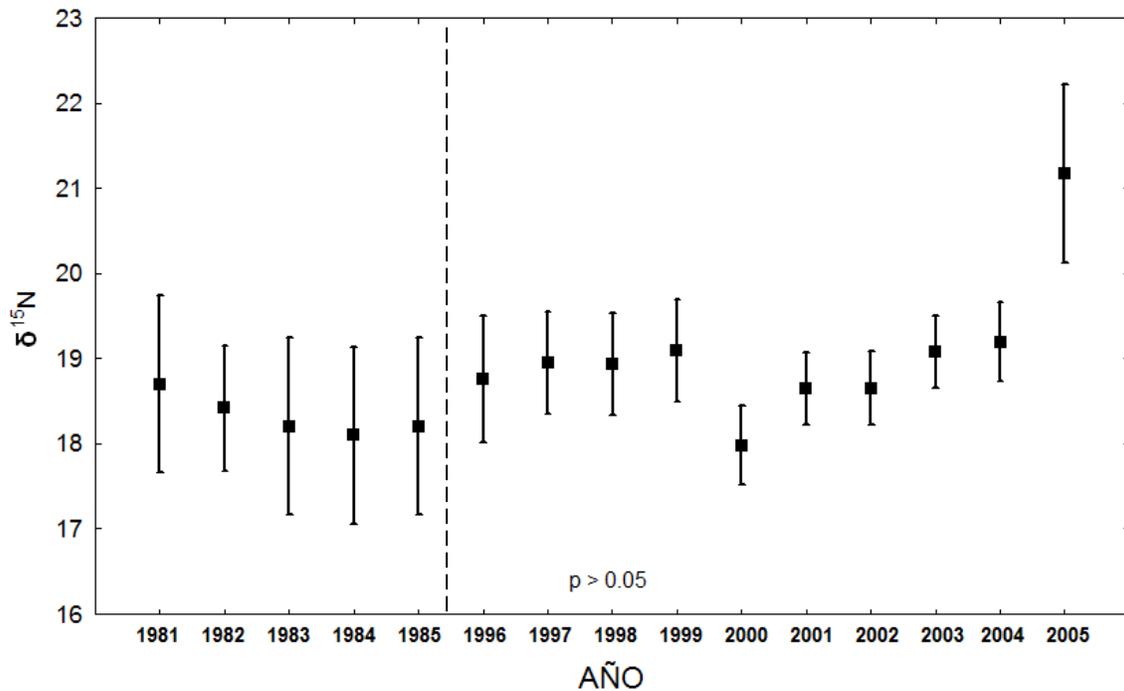


Figura 40. Variación en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California sin rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.

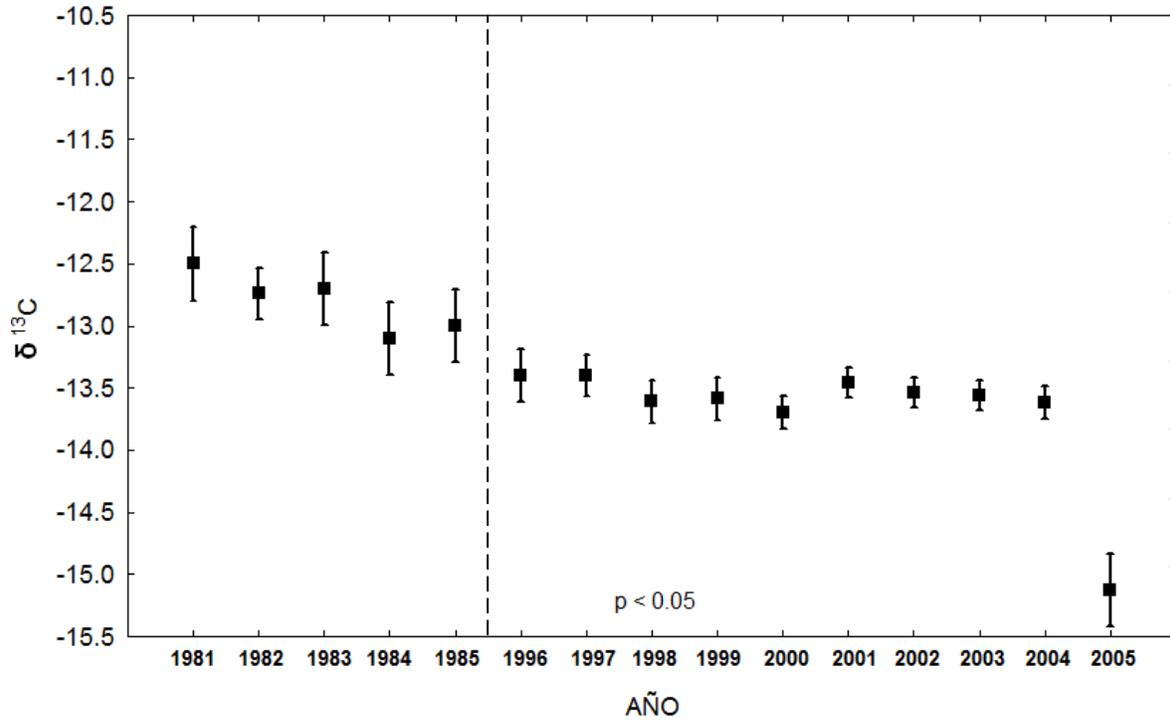


Figura 41. Variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California sin rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.

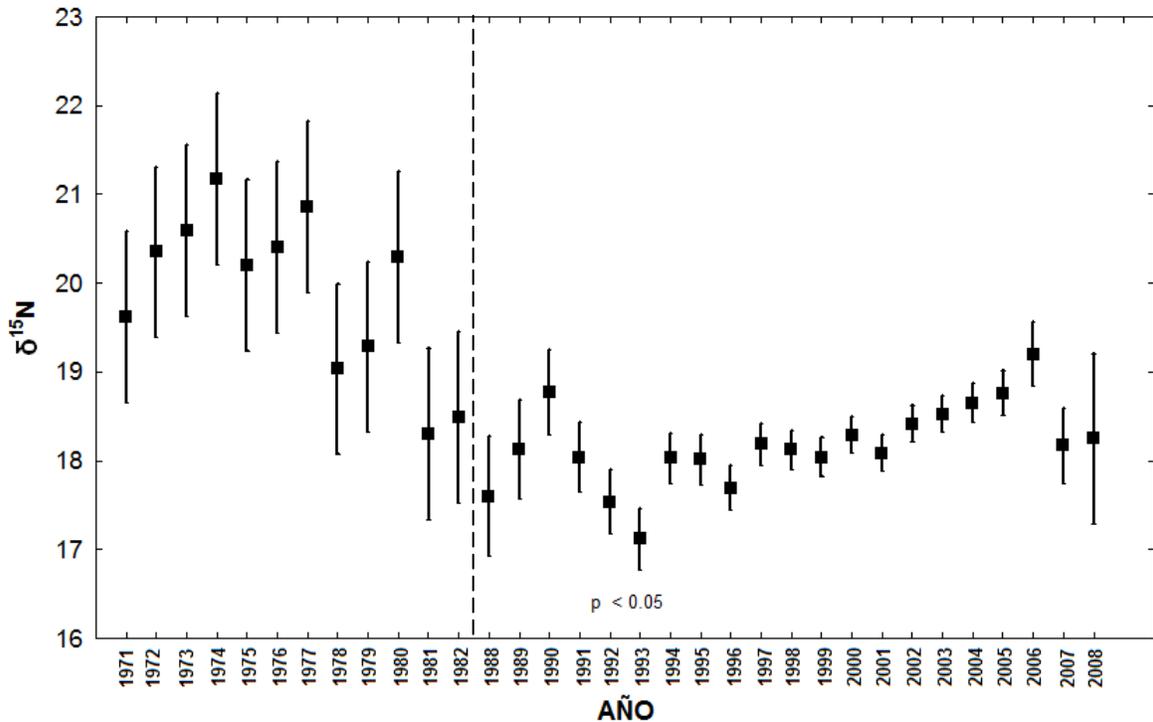


Figura 42. Variación en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California con rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.

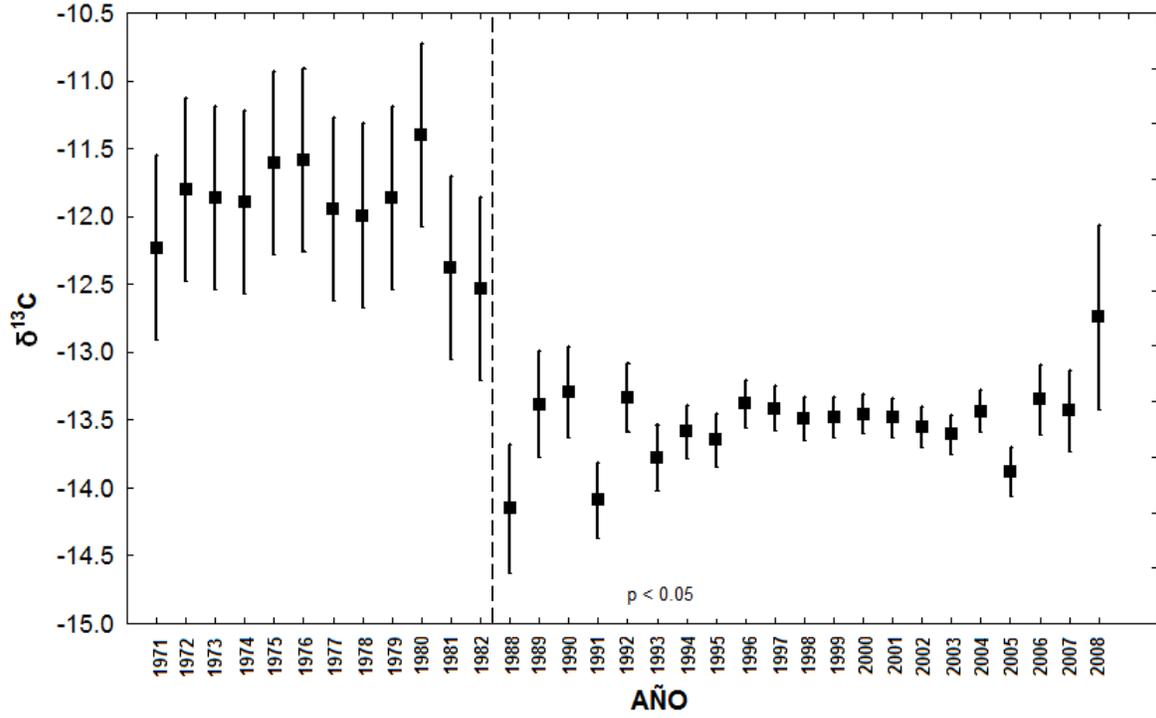


Figura 43. Variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (promedio \pm error estándar en ‰) en capas anuales en dientes de lobo marino de California con rastro de lesión. Línea punteada indica discontinuidad de años.

VII.4. RELACIÓN CON LA ALIMENTACIÓN

En la Figura 44, en el lado derecho se muestran en cuadros de diferentes colores el rango de los valores isotópicos del nitrógeno y carbono de cada uno de nuestros grupos de estudio (-EN-enmallados “color amarillo”, -SL- sin lesiones “color azul”, -CL-con lesiones “color verde”, -EX- con daño extremo “color rojo”), también en marcos de igual color se muestra el rango de valores isotópicos de las presas potenciales de cada grupo correspondiente (línea continua: presas potenciales para machos, línea punteada: presas potenciales para hembras). Del lado izquierdo se observan los valores isotópicos de las principales presas del lobo marino (-DL- *Diplectrum labarum*, -HS- *Hippoglossina stomata*, -KA-*Kathetostoma averruncus*, -LS- *Lepophidium stigmatistium*, -MP- *Merluccius productus*, -MA-*Merluccius angustimanus*, -PA- *Prionotus albirostris*, -SL- *Synodus lucioceps*, -CX-*Citharichthys xanthostigma*, -PS- *Peprilus simillimus*, -LPP-*Langostilla Pleuroncodes planipes* (grande), -LPPs- *Langostilla Pleuroncodes planipes* (chica); ver Tabla 3).

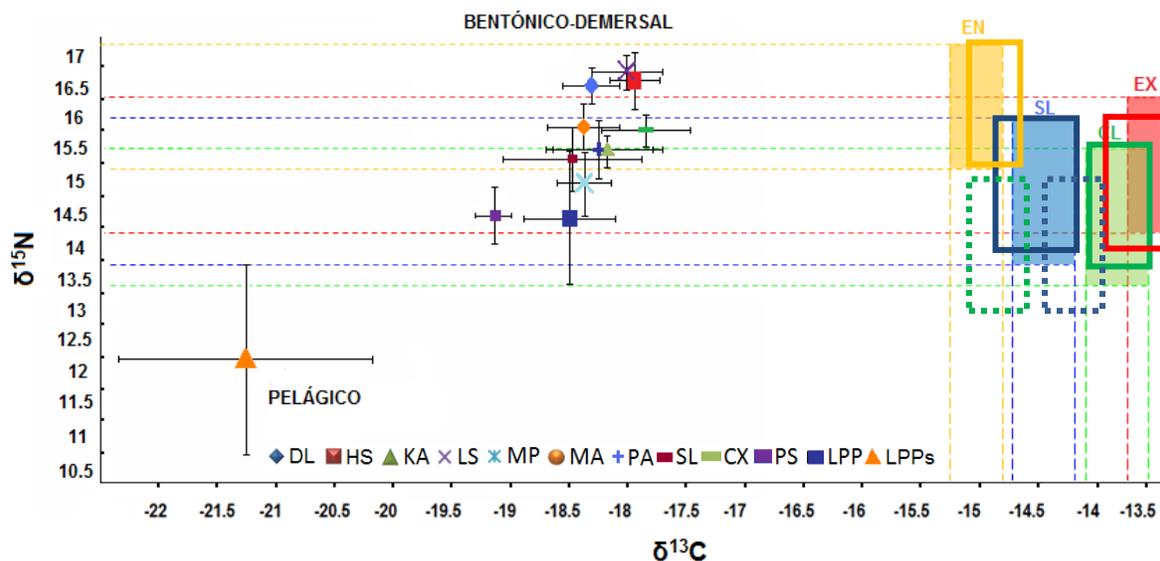


Figura 44. Valores del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (promedio \pm DS en ‰) de las principales presas del lobo marino de California (lado izquierdo) y de nuestros grupos de estudio (-EN-enmallados, -SL- sin lesiones, -CL-con lesiones, -EX- con daño extremo).

Los individuos EN muestran los valores más altos en el $\delta^{15}\text{N}$, en orden decreciente le siguen los individuos EX, posteriormente los SL y con los valores más bajos los CL. Los valores de SL y CL se encuentran en un rango similar, debido posiblemente a que los valores de los individuos CL menos afectados (nivel 1) se promedian con los más dañados, razón por la cual no se observan diferencias evidentes, pero cuando separamos a los individuos con daño extremo (EX) de los del resto de CL observamos que dichos valores se incrementan.

Los valores más altos en el $\delta^{13}\text{C}$ los presentaron los individuos EX, seguido de los animales CL y posteriormente de los SL. Los valores más bajos fueron presentado por los EN. Lo que nos podría indicar un cambio de estrategia de alimentación debida a presas pertenecientes a distintos hábitats, es decir

Las hembras con y sin lesiones no presentan diferencias entre presas consumidas, con base en los valores del $\delta^{15}\text{N}$, sin embargo éstas son de menor nivel trófico en comparación a las que consumen los machos. Las presas que consumen las hembras CL se encuentran más cercanas a la zona de costa, mientras que las presas que consumen las hembras SL se encuentran más alejadas de ésta.

En la Tabla 16 se muestran los valores isotópicos del carbono y nitrógeno de los diferentes grupos de estudio y el de sus posibles presas obtenido de la resta de 5‰ en el valor del $\delta^{15}\text{N}$ y 0.5 ‰ del $\delta^{13}\text{C}$ de los valores del depredador, en nuestro caso, de lobo marino en cada grupo (SL, CL, EN y EX).

Tabla 16. Valores isotópicos (promedio \pm DS) de cada grupo estudiado y de sus posibles presas, obtenido del fraccionamiento isotópico.

	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	
	Machos	Presas	Machos	Presas
Sin lesiones	19.09 \pm 1.14	14.09-16.09	-13.71 \pm 0.43	-14.21- -14.71
Con lesiones	18.60 \pm 0.93	13.6-15.6	-13.04 \pm 2.93	-13.54--14.04
Enmallados	20.21 \pm 0.07	15.21-17.21	-14.20 \pm 0.41	-14.7--15.2
Extremos	19.28 \pm .89	14.28-16.28	-12.84 \pm .43	-13.34-13.84
	Hembras	Presas	Hembras	Presas
Sin lesiones	18.00 \pm 1.10	13.00-15.00	-13.42 \pm 0.74	-13.92--14.42
Con lesiones	18.06 \pm 0.71	13.06-15.06	-14.10 \pm 0.51	-14.6--15.1

IX. DISCUSIÓN

VIII.1. LESIONES

Las lesiones propias de la osteoartritis sólo se tomaron en cuenta en cóndilos y fosas mandibulares (donde se encuentra la articulación) y las referentes a la osteomielitis sólo en el cuerpo de las mandíbulas.

Porcentaje de área afectada

Se decidió caracterizar el porcentaje de área afectada, como una medida visual de la porosidad del hueso, debida a cuando el organismo no es capaz de formar suficiente hueso nuevo o cuando gran cantidad del hueso viejo es reabsorbido por el cuerpo, lo que puede deberse a la incapacidad de absorber el calcio y fósforo de la dieta. Dicha porosidad también está ligada a una disminución en la cantidad de minerales que promueve la pérdida, reducción y debilitamiento de la densidad ósea por mala absorción del calcio o destrucción ósea. Este proceso vuelve quebradizos los huesos y los hace susceptibles a micro y macro fracturas. En humanos, la osteoartritis, localizada en la articulación temporo-mandibular trae consigo cambios degenerativos y el deterioro de superficies articulares debidos a un proceso de remodelación subcondral (Kopp, 1977; Schiffmank, et.al., 1989 y Al-Sadhan, 2008). En este sentido el grado de superficie afectada se utilizó como una medida indirecta de la debilidad del hueso. En consecuencia, el tejido se vuelve más fino y estructuralmente más frágil.

El área afectada en cóndilos se presentó en todos los individuos, en fosas afectadas 22 individuos (95.6% del total de individuos) presentaron cierto porcentaje de área afectada, mientras que sólo un caso presentó sus dos fosas mandibulares sin rastro de afección, para el área afectada en los cuerpos mandibulares se presentó en 19 individuos (82.6%). Con base en lo anterior se puede decir que pese a que las lesiones propias de la osteoartritis se localizan sólo en los cóndilos y fosas mandibulares y las lesiones propias de la osteomielitis en los cuerpos de las mandíbulas, nuestros individuos de estudio presentaron, en su mayoría, además de las lesiones atribuibles a estas dos enfermedades otras anomalías dentarias, esto puede deberse a una malnutrición o desnutrición, avitaminosis, traumatismos, trastornos endocrinos como la deficiencia de hormonas sexuales, necrosis exantemáticas (erupción de la piel de color rojo), genética, edad, estados, en ocasiones interrelacionados, que podrían conducir a una depresión del sistema inmune y por lo tanto a contraer una infección por agente viral, bacteriano o micótico. Para la osteoartritis los factores también son múltiples incluyendo entre otros el estrés biomecánico, edad, factores genéticos (Caldwey, 1962; Yamasaki, 1983; Katzenberg y Lovell, 1999; Martin y Buckwalter, 2002; Baltensperger et.al., 2009).

Excrecencias óseas.

Se midió el número de excrecencias, también llamadas osteofitos o callos óseos, que son neo-formaciones de cartílago osificado y pueden ser una medida del incremento en el daño de la superficie de una articulación y grado de limitación al movimiento articular, además de ser causa de dolor. La razón su formación se debe en gran medida a que el organismo está tratando de aumentar la superficie de la articulación para distribuir mejor el peso a través de la superficie que ha sido dañada. Por ello en este trabajo se utilizó el número de excrecencias para evaluar el grado de severidad de la osteoartritis, en nuestro caso el 100% de los individuos presentaron un elevado número de excrecencias, signo que nos evidencia la presencia de osteoartritis (Nathan *et al.*, 1994).

Deformación ósea

Se tomó el grado de deformación ósea presente en los cóndilos o fosas mandibulares mediante comparación con la forma típica de individuos sanos, siguiendo el mismo propósito reportado en varios trabajos sobre osteoartritis en mamíferos (Yamasaki *et al.*, 1983; Kompanje, 1995; Schultz *et al.*, 1998) y peces (Venegas *et al.*, 2003). En nuestro estudio todos los individuos presentaron al menos una pieza deformada, tanto la osteoartritis como la osteomielitis pueden contribuir a la deformación ósea debido a la formación de tejido nuevo.

Número y diámetro de fístulas

Se observó un mayor número de fístulas (perforaciones), sobre todo en individuos que presentaban otras lesiones atribuibles a osteomielitis (Figura 21). Este incremento pudo estar asociado a la severidad de la patología. Cuando la infección por osteomielitis se localiza en la mandíbula, existe peligro de secuestro de grandes fragmentos, debido a la vascularización de tipo terminal en este tejido que no logra compensar la vascularización periférica de la encía y del periodonto. Esto causa trombosis vasculares o endoarteritis, o de los reflejos vegetativos simpáticos y para-simpáticos en forma de vasoconstricción de los vasos mandibulares terminales, dando origen y facilitando la necrosis y secuestros mandibulares. En este estudio se hizo relevante el conteo y medición del diámetro de perforaciones como medida de avance de enfermedad, debido a que las fístulas de salida de pus a mayor gradación la infección será más severa y crónica. (Lew *et.al.*, 2004)

Desgaste dental

Se encontró una correlación lineal positiva entre desgaste y edad, aunque si existieron casos donde individuos no tan viejos presentaron un mayor desgaste dental que los más viejos. El desgaste dental irregular en los dientes es debido probablemente a la dinámica masticatoria, múltiples fístulas, signos de reabsorción ósea, revascularización anómala, formación de hueso nuevo, exostosis, fracturas

en algunas dientes cambios en la densidad ósea, tal como lo mencionan Junin *et. al.* (1995).

A diferencia de Labrada (2007) nosotros no tuvimos individuos con desgaste dental menores a cinco años, debido a que nuestra muestra fue en adultos, pero la edades fueron avanzando conforme se incrementaba el nivel de daño; la edad promedio de nuestro nivel más bajo de daño fue de 10.83 años y para nuestro nivel más avanzado fue de 14.6 años.

Pérdida de dientes.

La pérdida dentaria podría ser una buena medida de la baja calidad del hueso o bien de traumatismos. Entre las causas de la pérdida dentaria se encuentran una dieta deficiente, una mala alineación, una fuerza excesiva al morder (en nuestro caso de estudio podría relacionarse a los enfrentamientos con otros machos).

Las hembras fueron las que mostraron menos pérdidas dentarias en comparación de los machos, esto pudiera ser debido a que eran hembras no muy viejas o también debido a que los machos tienen machos número de enfrentamientos, además de que éstos deben alimentarse más frecuentemente lo expondría a sus piezas dentales a un mayor desgaste (Tabla 7).

La pérdida dentaria *antemórtem* podría sugerir una diferencia en la alimentación, ya que los casos con mayor número de pérdidas fueron los que tuvieron una dieta menos rica proteicamente (entre más rica la dieta menor número de pérdida de piezas dentales).

Esta lesión podría ocasionar desalineación mandibular, ya que como apunta Al-Sadhan (2008), en humanos, las alteraciones oclusales modifican la postura mandibular o la desvían por lo que cambia el patrón funcional masticatorio, y si además se excede la capacidad funcional se tienen como consecuencia cambios fisiológicos degenerativos.

Desalineación mandibular

Al existir deformación en las fosas y cóndilos mandibulares, sería posible esperar que la mandíbula de los individuos afectados presentara cierto grado de desalineación mandibular. En este estudio se consideró importante medirla ya que una fuerte desalineación mandibular dificultaría el proceso de captura y masticación de presas. Ésta lesión se presentó en la mayoría de nuestros individuos (19 casos), lo que nos indica que es una lesión común en los casos de osteoartritis. En humanos, cuando existe una artritis severa la parte superior del maxilar se aplana y no se puede abrir la boca con amplitud, aparte de que el individuo experimenta mucho dolor. La mandíbula puede también desplazarse hacia el lado afectado y, en ocasiones, es posible que el afectado sea incapaz de volver a colocarla en posición correcta. Cuando se presenta el tipo de artritis

reumatoide, ésta puede afectar la articulación temporomandibular en aproximadamente un 17 por ciento de humanos que tienen este tipo de artritis. Cuando la artritis reumatoide es grave, especialmente en los jóvenes, la parte superior del maxilar puede degenerar y acortarse. Este daño puede conducir a una repentina y defectuosa alineación de los dientes superiores sobre los inferiores (maloclusión) o bien causar crepitación o disfunción mandibular. Si el daño es grave, a la larga el maxilar puede llegar a fusionarse con el cráneo (anquilosis), limitando enormemente la capacidad de abrir la boca (Lambert, 1985). También es posible que una herida un trauma o infección provoque la artritis en una articulación temporomandibular, particularmente si la herida causa hemorragia dentro de la articulación, caso en el que el lobo marino está altamente afectado.

La causa de que haya una deformación en la articulación temporomandibular cuando existe la osteoartritis es que las fibrillas de colágeno se desordenan (Lambert, 1985), la progresión y severidad de éstos cambios óseos se han reportado que incrementan con el edad, lo que observamos también en el presente estudio (Cevitanes, et.al., 2010).

VIII.1.1 FRECUENCIA DE LESIONES

Se encontró en el grupo muestreado de individuos con rastro de lesiones óseas (23) una mayor incidencia de lesiones en machos (87%) en comparación con las hembras (13%); lo que probablemente se deba a los altos índices de enfrentamientos debidos a varios factores como lo son: territorialidad, copula con hembras, competencia por recursos o jerarquía. Esto conlleva a microtraumatismos y la exposición de heridas (fracturas) que terminan en infecciones (Jacobs *et al.*, 2008). Estas conductas agonísticas se han reportado en varias especies de cetáceos (Scott *et al.*, 2005) como en pinnípedos (Bartholomew, 1970; Gentry 1974; McCann, T.S. 1980a y b; Campagna y Le Boeuf, 1988; Riedmann, 1990). También en concordancia con David y colaboradores (2004) la actividad física fuerte en individuos viejos podría estar causando una alta proporción de osteoartritis (Figura 20).

VIII.1.2. ÍNDICE ACUMULADO DE LESIONES Y LA EDAD

Como primer análisis se obtuvo un índice acumulado de todas las lesiones y problemas observados en la estructura maxilo-mandibular, para cada individuo. Este índice se correlaciono con los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$, donde se esperaba encontrar una tendencia a disminuir los valores isotópicos como resultado de un cambio de dieta hacia niveles tróficos inferiores (presas más fáciles de captura como crustáceos y otros invertebrados). No existió diferencia estadísticamente significativa entre el índice acumulado y los valores isotópicos, ni entre el índice y la edad. Esto se debe a que no todos los individuos con un índice acumulado tenían una mayor edad; aunque en general el índice acumulado fue alto para animales muy viejos. Esto contrasta con resultados de Martin *et al.*, (2001), que

sugieren que la osteoartritis está directamente correlacionada con la edad. Nuestro resultado podría verse influenciado en que no todas las lesiones tienen la misma tasa de degeneración o a que no en todos los individuos les ocurre a la misma velocidad por factores fisiológicos o genéticos individuales. Otro problema de usar el índice acumulado que integra todo tipo de lesiones es que en unos casos es alto y en otros no, además de que algunos de los problemas óseos son evidentemente más graves que otros (una fractura completa *versus* pérdida de algunos dientes (Tabla 7).

VIII.2. EDAD

Se encontró que los machos que presentaron mayor porcentaje de lesiones óseas fueron más viejos en comparación de los que no tenían rastro de lesiones, esta relación entre edad y una mayor incidencia de osteoartritis ha sido reportada en varios trabajos, es decir los cambios en el envejecimiento del cartílago articular que pueden conducir a su degeneración están el desgaste de la superficie articular, disminución del tamaño y agregación de proteoglicanos y la pérdida de la fuerza de tracción y rigidez de la matriz. Todos estos cambios son probablemente el resultado de la edad relacionada con el decremento en la capacidad de los condrocitos para mantener y reparar el tejido manifestado por el decremento de la actividad sintética y mitótica, por el decremento en la respuesta anabólica de factores de crecimiento y síntesis de más pequeños y menos uniformes proteoglicanos y menos proteínas de enlace funcionales (Martin *et.al.*, 2002).

Aigner y colaboradores (2007) mencionan que el envejecimiento es el factor de riesgo más importante para la iniciación y progresión de la osteoartritis, y que podría estar relacionado con el desgaste mecánico continuo y/o con la edad en los componentes de la matriz del cartílago o a una simple pérdida de células viables en el tiempo debido a la apoptosis, aunque existen datos más recientes acerca de que las condiciones estresantes para las células podrían promover la senescencia de condrocitos y esto podría ser particularmente importante para la progresión de dicha enfermedad.

VIII.3 VARIACIÓN ISOTÓPICA

En concordancia con el trabajo de Elorriaga (2010) las crías de individuos machos que a su muerte se diagnosticaron con lesiones óseas, mostraron tener la señal del $\delta^{15}\text{N}$ más alta, debido seguramente al consumo de leche materna, lo que nos daría una señal reflejo del catabolismo de los tejidos de la propia madre, es decir que al amamantar la cría adiciona la señal isotópica de la madre a la propia, por lo que el resultado es una firma isotópica más grande (3 a 5 ‰) que la de la propia madre o hembra adulta. En cuanto a la señal del $\delta^{13}\text{C}$ de las crías, ésta fue la más baja dentro de todas las categorías de edad, debido a que la misma leche rica en grasas y lípidos es pobre en ^{13}C (DeNiro y Epstein, 1978). A partir de la etapa juvenil hasta la fase adulta la señal del $\delta^{15}\text{N}$ empieza a incrementarse. En la etapa juvenil se puede ver la caída de este isótopo debido al destete, aparte de

que es en esta etapa donde los individuos empiezan a desarrollar sus capacidades de caza, por lo que también en el $\delta^{13}\text{C}$ se empieza a observar un incremento debido a como lo menciona King (1983), el tamaño de la presa empieza a incrementarse con el tamaño del depredador, así como también el nivel trófico de la presa. Este patrón continúa hasta la fase adulta, aunque para el $\delta^{13}\text{C}$ en la etapa subadulta se observó un decremento, aunque no significativo, este podría deberse a cambios de alimento (tipo de presa o cambio de hábitat) derivados de la presencia de las lesiones óseas, obligando a los lobos marinos a cambiar su estrategia o hábitat explotado, es decir, cambiarían de un hábitat pelágico a uno bentónico, aunado también a una estrategia para evitar la competencia con otros depredadores, ya que la presencia de lesiones les ocasiona desventaja en confrontación con un animal sano.

Las hembras con rastro de lesiones se comportaron de manera distinta a los machos, ya que en la señal del $\delta^{15}\text{N}$ se observó un decremento de la fase cría a juvenil y de juvenil a adulta, puede ser que debido a que en cuento las lesiones se hicieron evidentes y al ser filopátricas solo se alimentaron de invertebrados, ya que también la señal del $\delta^{13}\text{C}$ también decayó, aunque no significativamente de la etapa juvenil a la adulta.

VIII.3.1. PATRONES DE VARIACIÓN DE $\delta^{15}\text{N}$ Y $\delta^{13}\text{C}$

Los distintos patrones de variaciones en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ observados en los grupos de animales con y sin lesiones, no parece marcar diferencias notables. En individuos con lesiones se presentaron seis patrones de variaciones isotópicas diferentes, mientras que en individuos sin rastro de lesiones se presentaron ocho variantes. Tampoco se presentaron diferencias claras en cuanto a número y tipo de patrón isotópico.

Cuando se compararon los valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre individuos machos de distintas edades (categorías) con y sin rastro de lesiones (Tabla 15 y 16), se encontraron diferencias significativas entre ellas, mostrando un menor enriquecimiento en el $\delta^{15}\text{N}$ de individuos con lesiones. Este resultado permite considerar que animales dañados podrían tener dificultades de alimentarse normalmente y deberán depredar sobre presas de más fácil captura pero de menor nivel trófico.

Para el caso del $\delta^{13}\text{C}$ no existieron diferencias significativas entre machos de distinta categoría con y sin rastro de lesiones, pero fue notable la amplitud de variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ para la fase adulta en individuos con lesiones óseas, esto nos sugiere que los individuos macho de lobo marino en su fase adulta tienen un rango de presas muy amplio o diverso, lo que podría estar relacionado a que es en ésta fase donde alcanzan su máxima talla. Dicha amplitud podría explicarse en términos de la necesidad de alimentarse en distintos ambientes donde las presas de fácil captura estén disponibles, haciendo su dieta menos especializada y más de tipo oportunista (Antonelis y Fiscus, 1980). La dieta

del lobo marino es diversa, debido a que presenta una gran variación en los valores de $\delta^{13}\text{C}$, influenciada por presas de distintos ambientes (epi-pelágico, meso-pelágico, bentónico).

VIII.3.2. CASOS EXTREMOS

Con el fin de responder con más claridad a la hipótesis planteada, y al observar diferencias isotópicas moderadas entre los dos grupos de animales, se consideró que los individuos con lesiones óseas no muy avanzadas o leves podrían influir en la dificultad de separar ambos grupos de animales, haciendo menos evidentes las diferencias. Se tomaron por tanto los casos más extremos (cuatro individuos), con fracturas, pérdida casi total de los dientes, y/o el máximo índice acumulado de lesiones. Al comparar los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de estos cuatro altamente dañados con individuos de las mismas edades sin lesiones, se observó una tendencia hacia valores más altos en los individuos con lesiones, aunque no fue estadísticamente significativa (Figura 36). Hobson y colaboradores (1993) sugieren que el estrés nutricional puede causar señales elevadas del nitrógeno, ya que el mismo organismo consume parte de sus reservas corporales. Otra explicación puede deberse a un mayor catabolismo y reciclamiento del nitrógeno o por la formación de nuevo tejido en organismos con osteomielitis (Katzenberg, 1999)

En el caso del $\delta^{13}\text{C}$ se encontraron valores significativamente más altos en organismos con rastro de lesiones óseas. Para estos casos de daño extremo, parece indicar que estos animales en particular se concentraron en presas de un hábitat en particular, que para la zona de estudio correspondería a especies costeras y bentónicas.

VIII.3.3. RELACIÓN CON LA ALIMENTACIÓN

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más altos se presentaron en los individuos EN, para los que podríamos rechazar nuestra hipótesis, en la que los animales con más daño se alimentan de presas de menor nivel trófico (menor valor de $\delta^{15}\text{N}$), más sin embargo se propone que dichos valores se incrementaron no por un aumento de nivel trófico sino por estrés nutricional en el que se vieron obligados a consumir sus propios tejidos en sus últimos años de vida, lo que incrementó la señal de este isótopo. En el caso de los individuos SL presentaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ ligeramente más altos en comparación con los individuos CL, lo que si confirma nuestra hipótesis de inicio, en la que éstos últimos se estarían alimentando de presas de menor nivel trófico (valores menores del $\delta^{15}\text{N}$), lo que nos indicaría que cierto tipo de lesiones les impediría capturar presas de mayor movilidad (mayor nivel trófico) y se restringirían a presas de menor movilidad (menor nivel trófico), dicha diferencia entre SL y CL no fue tan evidente debido a que los individuos con lesiones leves o en menor cantidad pudieran estar enmascarando el efecto de los individuos con mayor daño, por esta razón es que cuando se separan los EX de los CL, los primeros presentan valores más altos (Figura 44). Estas diferencias

nos sugieren que el enmalle impide mayormente la alimentación del lobo marino que cualquier otra lesión ósea localizada en el aparato mandibular; estos enmalles podrían ser una importante causa de muerte en esta especie y en otros mamíferos marinos como lo han indicado varios autores (Zavala-González, 1997; Arnould *et.al.*, 1995; Boren *et.al.*, 2006).

En el caso del $\delta^{13}\text{C}$, se sugiere que los individuos EX pudieran estarse alimentando de presas más costeras o bentónicas; en el caso del primero le sería más fácil atrapar cangrejos (invertebrados con menor movilidad) a peces, en el segundo caso (bentónico) se propone que el lobo utilice una estrategia en la que debido a que en la profundidad, podría valerse del uso de sus vibrisas para encontrar a su presa y luego succionarla, para lo cual podría prescindir de una mandíbula sana o en buen estado, incluso con fractura podría hacerlo, y además de que de esta manera evitaría enfrentamientos con otros individuos. Los segundos valores más altos los presentaron los animales CL, quienes podrían seguir la misma estrategia pero al no ser tan drástico o severo su daño, se presenta una pequeña disminución en la señal del $\delta^{13}\text{C}$. Los valores de este isótopo en los individuos SL es intermedia debido posiblemente a que se pueden estar alimentando tanto de peces bentónicos como pelágicos, en la zona costera u oceánica, ya que éstos no presentan ninguna imposibilidad. Los valores más bajos fueron presentado por los EN y al presentar los valores más altos del $\delta^{15}\text{N}$ podría ser causado no a la influencia de la explotación de un hábitat sino a la falta de alimento.

Las presas potenciales de las hembras presentaron valores menores en comparación a los de los machos, lo que podría deberse a que éstas permanecen más en las costas y es en estos lugares donde abundan invertebrados tal como los cangrejos, lo que provocaría una disminución en la señal del $\delta^{15}\text{N}$ (Figura 41).

Las diferencias de presas consumidas entre hembras y machos, nos sugiere que las primeras tienen un hábitat más limitado de alimentación, y más aún si presentan lesiones, éste se restringe a la zona costera o bien consumen presas bentónicas, esto probablemente se deba a que en la profundidad le sea más fácil atrapar a la presa, haciendo usos de otra estrategia como la succión o de otros tejidos como las vibrisas, aunado al hecho de que en este ambiente sería más difícil que ésta escape.

Lo anterior, puede ser debido a que el lobo marino de California es una especie catalogada como especialista plástico y no solo usa esta estrategia cuando se presentan fenómenos como la ODP o El Niño sino como una estrategia para su propia supervivencia, aun presentando lesiones como las citadas en este trabajo, razón por la cual es una especie exitosa.

IX. CONCLUSIONES

Las lesiones atribuibles tanto a la osteoartritis como osteomielitis están fuertemente vinculadas.

La edad puede ser un factor que aumente la probabilidad de presentar lesiones aunque éstas también podrían ser ocasionadas por la pérdida de la calidad de hueso.

Los machos presentaron mayor proporción de lesiones, un aspecto que puede ser asociado con los enfrentamientos, que ocasionan microtraumas y la exposición de heridas que terminan en infecciones y a cambios óseos y/o dentales que a su vez pueden predisponer a una osteoartritis u osteomielitis.

La edad pareciera no afectar en gran medida a las hembras a diferencia de los machos, quienes fueron más viejos los que presentaron lesiones.

El índice acumulado de lesiones no fue un buen indicador para detectar cambios en la dieta reflejados por variaciones isotópicas significativas, debido a que enmascara los efectos de las lesiones más severas promediándolas con lesiones que probablemente no causan ningún efecto importante en el cambio de dieta.

Con base en los perfiles isotópicos del $\delta^{15}\text{N}$ y del $\delta^{13}\text{C}$ no existieron diferencias notables que nos evidenciaran un cambio de dieta debido a las lesiones localizadas en el aparato mandibular.

El hallazgo es sorprendente porque parece indicar que los lobos marinos pueden mantener su éxito alimenticio a pesar de sufrir daños óseos evidentes.

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ después de cría siempre caen debido al destete, y luego se incrementan debido posiblemente a los cambios de presas y por consiguiente de mayores niveles tróficos.

La tendencia hacia arriba de los valores del $\delta^{13}\text{C}$, nos podría estar reflejando una relación lineal entre el tamaño del individuo y el de la presa, o también cambio de hábitat.

Solo en el caso de los valores de $\delta^{13}\text{C}$, se observaron diferencias significativas entre animales extremadamente dañados y sin lesiones, sugiriendo que individuos de este último grupo se concentran en un hábitat más específico. A pesar de que no existieron diferencias significativas en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ si se

observó una tendencia de valores más alta, reflejo posiblemente de un estrés nutricional.

A través de los valores de las presas potenciales consumidas por las hembras nos indican que éstas explotan un hábitat más restringido con respecto a los machos.

Nuestro análisis sugiere que las diferencias isotópicas ligeras encontradas en el colágeno dental se deben al hecho de que éste tejido acumula información de un año en cada capa de crecimiento, por lo que no es el mejor tejido para evaluar este tipo de daño. Un tejido más adecuado podría ser la vibrisa.

X. REFERENCIAS

Aigner, T., Haag, J., Martin, J. y Buckwalter, J. 2007. Osteoarthritis: Aging of Matrix and Cells Going for a Remedy. Bentham Science Publishers. Volume 8, Number 2, pp. 325-331(7)

Allaby, M. 1999. Dictionary of Zoology. Oxford University. 608pp.

Al-Sadhan, R. 2008. The relation between TMJ (temporo mandibular joint) osteoarthritis and the inadequately supported occlusion. Egyptian dental journal, 54:47-54.

Antonelis, G. A. y H. C. Fiscus, 1980. The Pinnipeds of the California Current. CalCOFI Rep. 21:68-78.

Arnould, J. y Croxall, J. 1995. Trends in entanglement of Antarctic fur seals (*Arctocephalus gazella*) in man-made debris at South Georgia. Marine Pollution Bulletin, Volume 30, Issue 11, pp 707-712.

Aurioles G. D. 1993. Biodiversidad y situación actual de los mamíferos marinos en México. Public. especial de la Soc. Mex. de Hist. Natural, 397-412.

Aurioles G.D. 1998. Conservación, Análisis y Manejo Planificado (CAMP) sobre los pinnípedos de México y Análisis de la Viabilidad de la población y del Hábitat (PHVA) para el lobo Marino de California (*Zalophus californianus californianus*). Sea World, INC. CICIMAR, INE, CBSG, Africam-Safari, SEMARNAP. Taller participativo 9-13 de febrero 1998, 63 p.

Aurioles, G.D., C. Fox, F. Sinsel y G. Tanos, 1984. Prey of the California sea lions (*Zalophus californianus*) in the bay of La Paz, Baja California Sur, México. Journal of Mammology., 65(3):519:521.

Aurioles, G. D. 1988. Behavioral ecology of California sea lion in the Gulf of California. Tesis de Doctorado. Universidad de California, Santa Cruz. 175 p.p.

Aurioles, G. D. y B. J. Le Boeuf. 1991. Effects of the El Niño 1983 on the California sea lion population in Mexico. 112-118. IN : Pinnipeds and El Niño. Responses to environmental stress. Trillmich F. y K. Ono. Ed. Springer-Verlag. 293.

Aurioles, G. D. y Camacho. F. 2007. Diet and feeding overlap of two otarids, *Zalophus californianus* and *Arctocephalus townsendi*: Implications to survive environmental uncertainty. Aquatic mammals. 3(33): 315-326.

Aurioles, G. D. y Le Boeuf, B. J. 1991. Effects of the El Niño 1983 on the California sea lion population in Mexico. 112-118. En: Pinnipeds and El Niño. Responses to environmental stress. Trillmich F. y K. Ono. Ed. Springer-Verlag. 293 pp.

Aurioles, G. D., C. Díaz-Guzmán, B. J. Le Bœuf y D. R. Casper. Aceptado. Temporomandibular Arthritis and Osteomyelitis in California Sea Lions (*Zalophus californianus*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine.

Aurioles, G. D., Elorriaga-Verplancken, F. y Hernández-Camacho, C. Sometido. Adult males wanted: the present Guadalupe fur seal population status on the San Benito Islands, Mexico. Marine Mammal Science.

Auriolles, G. D., Koch, P., Le Boeuf, B. J. 2006. Differences in foraging ecology of Mexican and California elephant seals: Evidence from stable isotopes in pups. *Marine Mammal Science*. 22 (2): 1-13.

Auriolles, G. D., Koch, P., Le Boeuf, B. J. 2006. Differences in foraging ecology of Mexican and California elephant seals: Evidence from stable isotopes in pups. *Marine Mammal Science*. 22 (2): 1-13.

Auriolles-Gamboa, D. y A. Zavala-González. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus*, en el Golfo de California. *Cien. Mar.* 20:535-553.

Ash M.M y Stanley J. Nelson S.J. 2003. Wheeler anatomía dental, Fisiología y Oclusión. Elsevier España. 560 páginas

Baker, J. R. and McCann, T. S. 1989. Pathology and bacteriology of adult male Antarctic fur seals, *Arctocephalus gazella*, dying at Bird Island, South Georgia. *British Veterinary Journal*, London, 145:263-275.

Baltensperger, M.M. and Eyrich, G.K.H. 2009. Osteomyelitis of the jaws. (Eds.) XXII, 316 p. 537

Bartsch, R. C. and Frueh, R. J. 1971. Alveolitis and pulpitis of a canine tooth in a walrus. *The Journal of the American Veterinary Medical Association*, New York, 159(5):575-577.

Bautista-Vega A. M. Alimentación del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, Lesson, 1828), y su relación con los pelágicos menores en Bahía Magdalena, B.C.S. México. Tesis de Maestría. UNAM. 2002

Bearhop S., Colin E., Adams S., Fuller R. y Macleod H., 2004. Determining trophic niche width: A novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*. 73:1007-1012.

Beier, E., Lavín, M. F., Gómez, J., Godínez, V. y García, J. 2003. La Corriente Costera Mexicana in GEOS, Reunión anual de la Unión Geofísica Mexicana. 23: 152. Puerto Vallarta, México.

Boness, D. J. y Bowen, W. D. 1996. Evolution of maternal care in pinnipeds. *Bioscience*. 46 (9): 645-654.

Bonner, N. 1994. Seals and Sea Lions of the World. New York: Facts on File.

Boren, L.J., Morrissey, M., Muller, C., y Gemmell N. 2006. Entanglement of New Zealand fur seals in man-made debris at Kaikoura, New Zealand. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 52, Issue 4, 442-446 pp.

Bowen, L., B. Aldridge, R. DeLong, S. Melin, C. Godínez, A. Zavala, F. Gulland, L. Lowenstine, J. Stott y M. Johnson. 2006. MHC gene configuration variation in geographically disparate populations of California sea lions (*Zalophus californianus*). *Molecular Ecology*_Volume 15, Issue 2, Page 529-533.

Boyd, I. L. y Croxall, J. P. 1992. Diving behavior of lactating Antarctic fur seals. *Canadian J. of Zoology*. 70:919-928.

Burton, R. K. y Koch, P. L. 1999. Isotopic tracking of foraging and long-distance migration in northeastern Pacific pinnipeds. *Oecologia*. 119: 578-585.

Caldwell R. A. 1962. Observations on the incidence, aetiology, and pathology of senile osteoporosis. *Journal of Clinical Pathology*. 15:421-431

Campagna, C. and Le Boeuf, B. J. 1988. Reproductive behaviour of southern sea lions. *Behaviour*, Leiden, 104(3-4):233-261.

Cendrero, L.F., Freiberg M. A., Olrog C.C. y Yepes J. 1972. *Zoología Hispanoamericana: Vertebrados*. Editorial Porrúa, S. A. México, D. F. pag.1116.

Cevidanes, L., Hajati, A., Paniagua, B., Walker, Falconet, D., Nackley, A., Styner, M., Ludlow, J., Zhu, H., Phillips, C. 2010. Quantification of condylar resorption in temporomandibular joint osteoarthritis. Volume 110, Issue 1, Pages 110-117

Christensen, V. y D. Pauly, 1992. ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*. 61: 169-185.

Cordes, D. O. and O'hara, P. J. 1979. Diseases of captive marine mammals. *New Zealand Veterinary Journal*, Wellington, 27:147-150.

Costa, D. P. 1991. Reproductive and foraging energetics of high latitude penguins, albatrosses and pinnipeds: Implications for life history patterns. *Am. Zool.* 31, 111-130.

Costa, D. P. 1993. The relationship between reproductive and foraging energetics and the evolution of the Pinnipedia. In *Marine Mammals: Advances in Behavioural and Population Biology (Symposium Zoological Society of London)* (ed. I. L. Boyd), pp. 293-314. London: Oxford University Press.

Costa, D. P. y Gales, N. J. 2000. Foraging energetics and diving behavior of lactating New Zealand sea lions, *Phocarcos hookeri*. *J Exp Biol*. 203:3655–3665.

Costa, D. P., Gales, N. J. 2003. Energetics of a benthic diver: seasonal foraging ecology of the Australian sea lion, *Neophoca cinerea*. *Ecol Monogr*. 73:27–43

Costa, D. P., Gales, N. J. y Crocker, D. E. 1998. Blood volume and diving ability of the New Zealand seal lion, *Phocarcos hookeri*. *Physiol. Zool.* 71, 208-213.

Crespo, E. A. 1984. Dimorfismo sexual en los dientes caninos y en los craneos del lobo marino del sur, *Otaria flavescens* (Shaw, 1800) (Pinnipedia, Otariidae). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"*, Zool., Buenos Aires, 13(25):245-257.

Cupa, C. L. 2007. Evaluación de los perfiles de ácidos grasos del lobo marino de California *Zalophus californianus* en estudios de alimentación. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, Baja California Sur. 109 p.p.

Daniel, W.W. *Applied Nonparemetric Statistics*. PWS-Kent Publishing Company, Boston, 1990.

Dans, S. L., Crespo, E. A., Pedraza, S. N. y M. Koen Alonso. 2004. Recovery of the South American sea lion (*Otaria flavescens*) population in northern Patagonia. *Canadian Journal Fisheries Aquatic Science*. 61(9):1681-1690.

David T. Felson M. 2004. An update on the pathogenesis and epidemiology of osteoarthritis. Radiologic Clinics of North America. Volume 42, Issue 1.

Dellinger, T. y F. Trillmich, 1999. Fish prey of the sympatric Galapagos fur seals and sea lions: seasonal variation and niche separation. Canadian Journal of Zoology. 77: 1204–1216.

DeLong, R. L., B. S. Stewart, and R. D. Hill. 1992. Documenting migrations of northern elephant seals using day-length. Marine Mammal Science. 8:155–159.

DeNiro, M. J. y Epstein, S., 1978. Influence of the diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica Cosmochimica Acta. 42: 495-506.

Drehmer, C. J. & Ferigolo, J. 1996. Anomalias e patologías dentárias em *Arctocephalus G.* Saint-Hilaire & Cuvier (Pinnipedia, Otariidae) da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia, Curitiba, 13(4):857-865.

Elorriaga-Verplancken F. 2002. Concentración de metales en pelo en crías de lobo marino de California (*Zalophus californianus*, Lesson 1828) en ocho colonias del Golfo de California. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 69 pp.

Elorriaga-Verplancken F. 2010. Variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en colágeno dental de lobos marinos del género *Zalophus*: patrones ontogénicos y geográficos. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, México.

Erb, E.,; Shaughnessy, P. D. and Norman, R. J. De B. 1996. Dental and mandibular injury in an antarctic fur seal, *Arctocephalus gazella*, at Heard Island, southern ocean. Journal of Wildlife Diseases, Laramie, 32(2):376-380.

Espinosa de los Reyes Ayala M.G. 2007 Variabilidad espacial de la dieta del lobo marino de California (*Zalophus californianus californianus*, lesson 1828). Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B.C.189 pp.

Feldkamp, S. D., DeLong, R. L. y Antonelis, G. A. 1989. Diving patterns of California sea lions, *Zalophus californianus*. Canadian Journal of Zoology. 67:872–883.

Ferguson, S. H. 2006. The influences of environment, mating habitat, and predation on Evolution of Pinniped Lactation Strategies. Journal of Mammalian Evolution. 13 (1):63-82.

Fleisher L.A. y Köng A. En prensa. Censos de lobos marinos (*Zalophus californianus*) en la isla Santa Margarita, Baja California Sur en 1980. *Bol. Inf. Del C.I.D.I.*, La Paz. 13):5-18.

France, R. L. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: Foodweb implications. Marine Ecology Progress Series. 124: 307-312.

France, R. L. 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: Foodweb implications. Marine Ecology Progress Series. 124: 307-312.

Franco-Trecu y Auriolles, G. D. 2008. Superposición trófica entre *Otaria flavescens* y *Arctocephalus australis* en Uruguay: Evidencia de isótopos estables de C y N. III Reunión de Trabajo de Especialistas en Mamíferos Acuáticos de América del Sur y 7° Congreso SOLAMAC.13-17 de octubre de 2008. Montevideo, Uruguay.

Frau-Martínez, R. y Franco-Trecu, V. 2008. Dieta del lobo fino (*Arctocephalus australis*) en Isla de Lobos durante el período reproductivo. En resúmenes de la XIII Reunión de Trabajos de Especialistas en Mamíferos Acuáticos y 7º Congreso SOLAMAC, Montevideo – Uruguay.

Froese, R. y D. Pauly. (Eds). 2003. Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org.

Fry, B., R. K. Anderson, L. Entzeroth, J. L. Bird y P. L. Parker. 1984. ¹³C enrichment and oceanic food web structure in the northwest Gulf of Mexico. Contributions in Marine Science. 27: 49-63.

Gallo J. P. 1994. Factors affecting the population status of Guadalupe fur seals, *Arctocephalus townsendi*, at Isla de Guadalupe, Baja California, Mexico. Ph.D. thesis, 192. University of California, Santa Cruz, CA. 199 pp.

García-Aguilar, M. y Aurióles-Gamboa, D. 2003. Cuidado materno en el lobo marino de California (*Zalophus californianus*) de Los Islotes, Golfo de California, México. Ciencias Marinas. 29: 573-583.

García-Rodríguez F., y D. Aurióles G., 2004. Spatial and temporal variations in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, México. Fishery Bulletin, 102(1):47-62.

García-Rodríguez, F. J., 1999. Cambios espaciales y estacionales en la estructura trófica y consumo del lobo marino de California, *Zalophus californianus* en la región de las grandes islas, Golfo de California. Tesis de Maestría Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, México, 99 p.

Garvie-Lok, S.J., Varney, T.L., Katzenberg, M.A. 2004. Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis: the effects of treatment time and acid concentration. Journal of Archaeological Science 31 : 763–776.

Gentry R. 1974. The Development of Social Behavior Through Play in the Steller Sea Lion. *Amer. Zool.* 14: 391-403

Gentry, L. R. y Kooyman, G. L. 1986. Fur seals: Maternal strategies on land and at sea. Princetown University Press. Nueva Jersey, Estados Unidos. Hobson, K. A. 1990. Stable isotope analysis of marine birds and murrelets: Evidence for freshwater feeding and determination of trophic level. *Condor.* 92: 897-903.

Godínez R.C., R.B. Zelaya, G.D. Aurióles, R.A. Verdugo, R.E.A. Rodríguez y M. A. De la Peña. 1999. Antibodies against *Leptospira interrogans* in California sea lion pups from seven islands of the Gulf of California, México. *Journal of Wildlife Diseases* 1999.

Goodman H., Alan, Debra L. Martín y George J. Armelagos. 1984. Indications of stress from bone and teeth. Paleopathology at the origins of agriculture. Mark Nathan Cohen and George J. Armelagos (eds.): 13-49. Academic Press. EUA.

Hamilton, J. E. 1934. The southern sea lion, *Otaria byronia* (de Blainville). *Discovery Reports*, Cambridge, 8:269-318.

Hobson K. A. y Sease, J. L. 1998. Stable isotope analysis of tooth annuli reveal temporal dietary records: An example using Steller Sea lions. *Marine Mammal Science.* 14(1): 116-129.

Hobson K. A., Sease, J. L., Merrick R. L y Piatt, J. F. 1997. Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbon. *Marine Mammal Science*. 13:114-132.

Hobson, K. A, D. M. Schell, D. Renouf and E. Noseworthy. 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 528-533.

Hobson, K. A. y Clark, G. R. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of C13 in tissues. *Condor*. 92: 897-903.

Hobson, K. A. y Clark, R. G. 1992. Assessing avian diets using stable isotope analysis. II. Factors influencing diet-tissue fractionation. *Condor*. 94: 189-197.

Hobson, K. A. y G. R. Clark. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of 13C in tissues. *Condor*. 92: 897-903.

Hobson, K. A. y Welch, H. E. 1992. Determination of trophic relationships within a high arctic marine food web using $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 84: 9-18.

Hobson, K. A. y Welch, H. E., 1992. Determination of trophic relationships within a high arctic marine food web using $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 84: 9-18.

Hobson, K. A., Alisauskas, R. T. y Clark, R. G. 1993. Stable-nitrogen isotope enrichment in avian tissue due to fasting and nutritional stress: Implications for isotopic analyses of diet. *The Condor*. 95: 388-394.

Hobson, K. A., F. J. Piatt y J. Pitocchelli. 1994. Using stable isotopes to determine sea bird trophic relationships. *Journal of animal ecology*. 63: 786-798.

Hobson, K. A., J. L. Sease, R. L. Merrick and J. R. Piatt. 1997. Investigating trophic relationships of pinnipeds in Alaska and Washington using stable isotope ratios of nitrogen and carbon. *Marine Mammal Science* 13: 114-132.

Hobson, K. A., Schell, M. D., Renouf, D. y Noseworthy, E. 1996. Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: Implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 528-533.

Hobson, K. A., Sinclair, E. H., York, A. E., Thomason, J. R., Merrick, R. E. 2004. Retrospective isotopic analyses of Steller sea lion tooth annuli and seabird feathers: A cross-taxa approach to investigating regime and dietary shifts in the Gulf of Alaska. *Marine Mammal Science*. 20 (3): 621-638.

Horn, H.S. 1966. Measurement of overlap in comparative ecological studies. *American Naturalist*. 100:419 - 424 pp.

Jacobs D.F, Hernandez-Camacho C., Young J.K., Gerber L. 2008. Determinants of Outcomes of Agonistic Interactions among Male California Sea Lions (*Zalophus californianus*). *Journal of Mammalogy*. Vol. 89, pp 1212-1217.

Junin, M. & Castello, H. P. 1995. Osteomyelitis of the skull in a leopard seal, *Hydrurga leptonyx*. *Marine Mammal Science*, Lawrence, 11(3):403-406.

Katzenberg, M.A. y Lovell N.C. 1999. Stable isotope variation in pathological bone. *Osteoarheology*. 9:316-324.

King, J. E. 1983. *Seals of the World*. Oxford, Oxford University. 239p.

Klevezal, G.A. 1996. Recording structure of mammas: Determination of age and reconstruction of life history. A. A. Balkema/ Rotterdam/ Brookfield (Eds.). Estados Unidos. 276 p.

Kooyman, G. L. y F. Trillmich, 1986. Diving behavior of Galápagos sea lions. *In: Fur seals: Maternal strategies on land and at sea*. Gentry, R. L. y G. L. Kooyman (Eds.). Princeton, N. J: Princeton University Press, 209–219.

Kopp S. 1977. Clinical findings in temporomandibular joint osteoarthritis. *Scand. J. Dent. Res.* 85:434-43.

Krebs, C.J., 1999. *Ecological methodology*. Addison Wesley, California, 620 pp.

Kuhn C. E. 2006. Measuring at-sea feeding to understand the foraging behavior of pinnipeds. Ph.D. thesis, University of California, Santa Cruz, CA. 129 pp.

Kuhn, C. E., D. Aurióles-Gamboa y D. P. Costa. 2004. Habitat utilization, diving and foraging behavior of adult female California sea lions (*Zalophus californianus*). XXIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, México. 78 pp.

Kurle, C. M.y Worthy, G. A. J. 2002. Stable nitrogen and carbon isotopes ratios in multiple tissues of the northern fur seal *Callorhinus ursinus*: Implications for dietary and migratory reconstructions. *Marine Ecology Progress Service*. 236: 289-300.

Labrada M. V., D. Aurióles-Gamboa y M. I. Castro-González. 2007. Relation of dental wear to the concentrations of essential minerals in teeth of the California sea lion *Zalophus californianus californianus*. *Biological Trace Element Research*. Vol 114:107-126.

Lambert G.M., De Bont, Boering, G., Robert S.B. Liem y Havinga, P. 1985. Osteoarthritis of the temporomandibular joint: A light microscopic and scanning electron microscopic study of the articular cartilage of the mandibular condyle *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Volume 43, Issue 7. pp 481-488*

Langton, R.W., 1982. Diet overlap between the Atlantic cod, *Gadus morhua*, silver hake *Merluccius bilinearis*, and fifteen other northwest Atlantic finfish. U.S. National Marine fisheries Service. *Fishery Bulletin*. 80:754-759 pp.

Le Boeuf, B. J., Crocker, D. E., Blackwell, S. B., Morris, P. A. y P. H. Thorson. 1993. Sex differences in foraging in northern elephant seals. Pags. 149–178. En: *Marine mammals: advances in behavioral and population biology*. Ed. I. L. Boyd, Oxford University Press, Londres, Reino Unido.

Le Boeuf, B. J., Crocker, D. E., Costa, D. P., Blackwell, S. B., Webb, P. M. y Houser, D. S. 2000. Foraging ecology of Northern elephant seals. *Ecological Monograph*. 70(3): 353–382.

LeBoeuf, B. J., Costa, D. P., Huntley, A. C., Kooyman, G. L. y Davis, R.W. 1986. Pattern and depth of dives in northern elephant seals. *Journal of Zoology*. 208:1–7

Lew, D. P. & Waldvogel, F. A. 2004. Osteomyelitis. *Lancet*, 364:369-79.

Lowry, M. y Maravilla, O. 2005. Proceedings of the Sixth California Islands Symposium, Ventura, California, December 1 – 3, 2003. National Park Service Technical Publication CHIS-05-01, Institute for Wildlife Studies, Arcata, California.

Lowry, M.; B. Stewart, C. Heath, P. Yochem & J. Francis. 1991. Seasonal and annual variability in the diet of California sea lions, *Zalophus californianus*, at San Nicholas Island, California, 1981-1986. Fishery Bulletin, 89, 331-336.

Maldonado, G.L. 1997. Digestión in vitro de otolitos de cuatro especies de peces que son alimento del lobo marino de California (*Zalophus californianus*), en México. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 45 pp.

Mansilla, J.L., Pijoan, C.A., Salas, M.C. 1997. Evaluación de las lesiones osteoarticulares en la población de tlatilco (temporada IV), en Manrique. L. y N. Castillo (coords.), *Homenaje al doctor Ignacio Bernal*, México, INAH, colección científica núm.333, pp. 433-446.

Mansilla, J.L., Pijoan, C.A., Salas, M.C. 2005. Huellas de enfermedades en esqueletos de personas ancianas: Comparación entre dos muestras con cultura diferente. Volumen 12. Número 034. Escuela Nacional de Antropología e Historia. Distrito Federal, México. Pp.133-151.

Martin J. A. y Buckwalter J. A. 2002. Aging, articular cartilage chondrocyte senescence and osteoarthritis. *Biogerontology*. 3: 257–264.

McCann, T.S. 1980a. Territoriality and breeding behavior of adult male Antarctic fur seal, *Arctocephalus gazella*. *Journal of zoology*. 192:295-310.

McCann, T.S. 1981b. Aggression and sexual activity of male southern elephant seals, *Mirounga leonina*. *Journal of zoology*. 195:295-310.

Mercuri, M. 2007. Varamiento de mamíferos marinos en Isla Magdalena, B.C.S., México y su relación con factores físicos y biológicos. CICIMAR-IPN, 120 p.

Minagawa, M. y E. Wada. 1984. Stepwise $\delta^{15}\text{N}$ enrichment along food chains. Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica Cosmochimica Acta*. 48: 1135-1140.

Moskowitz, R. W. 2007. Osteoarthritis: diagnosis and medical/surgical management. Lippincott Williams & Wilkins. 470pp.

Morejohn, G. V. 1969. Vertebral column deformity and osteonecrosis of pelvis and femur in the California sea lion. *California Fish Game*, Sacramento, 55:323-326.

Nathan M, Pope MH, Grobler LJ. 1994. "Osteophyte formation in the vertebral column: a review of the etiologic factors--Part II". *Contemporary Orthopaedics* 29 (2): 113–9.

Naya, D. E., R. Vargas y M. Arim. 2000. Análisis preliminar de la dieta del león marino del sur (*Otaria flavescens*) en isla de lobos, Uruguay. *Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay* 12: 14-21.

Naya, D., Arim, M. & Vargas, R. 2002. Diet of South American fur seals (*Arctocephalus australis*) in Isla de Lobos, Uruguay. *Marine Mammal Science*. 18 (3): 734-745.

Páez, E. 2006. Situación de la administración del recurso lobos y leones marinos en Uruguay. En: Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya (Menafrá, Rodríguez-Gallego, Scarabino & Conde, eds.). (Pp. 577-583) Vida Silvestre, Sociedad Uruguaya para la Conservación de la Naturaleza, Montevideo.

Páez-Rosas, D. 2008. Diversificación de dietas en tres colonias de lobo marino de Galápagos, *Zalophus wollebaeki*, evaluada con análisis de excretas e isótopos estables de C y N. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, 81 p.

Parker, Sybil P. 1990. Grzimek's Encyclopedia of Mammals. Volume 4. McGraw-Hill Publishing Company. 648 páginas.

Perrin, William F., Bernd Würsig y J. G. M. Thewissen. 2002. Eared Seals Otariidae en Encyclopedia of Marine Mammals. Editores. Academic Press. San Diego, California. Páginas 348 - 351.

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

Reeves, R. R.; Stewart, B. S. and Leatherwood, S. 1992. The Sierra Club handbook of seals and sirenians. San Francisco, Sierra Club Books. 359p.

Reeves, Randall R., Brent S. S., Clapham P. J. y Powell J.A. 2002. Guide to Marine Mammals of the World. Chanticleer Press. Alfred A. Knopf. New York. 528 páginas.

Reyes, L. M., Crespo, E. A. y V. Szapkievich. 1999. Distribution and population size of the southern sea lion (*Otaria flavescens*) in central and southern Chubut Patagonia Argentina. *Marine Mammal Science*. 15:478-493.

Rice, D. W. 1998. Marine Mammals of the World: Systematics and Distribution. In Special Publications of the Society for Marine Mammals no. 4. Lawrence: The Society for Marine Mammalogy.

Riedman, M. 1990. The Pinnipeds: Seals, Sea Lions, and Walruses. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, Oxford. 440 p.p.

Rosas, F. C. W.; Pinedo, M. C. et al. 1994. Seasonal movements of the South American sea lion (*Otaria flavescens* Shaw) off the Rio Grande do Sul coast, Brazil. *Mammalia*, Paris, 58(1):51-59.

Salazar, S. K. 2002. Lobos marinos y peleteros (Cap 15). *En: Reserva Marina de Galápagos Línea Base de la Biodiversidad*. Danulat E. y G. Edgar (Eds.), 260–283. Fundación Charles Darwin y Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Salazar, S. K. 2005. Variación temporal y espacial del espectro trófico del lobo marino de Galápagos. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN, 123 p.

Schiavini, A. C. M., Crespo, E. A. y V. Szapkievich. 2004. Status of the population of South American sea lion (*Otaria flavescens* Shaw 1800) in southern Argentina. *Mammalian Biology*. 69:108-118.

Schiffmank E, Anderson G, Friction J, Burton K, Schellhas K. 1989. Diagnostic criteria for intraarticular temporomandibular disorders. *Community Dent. Oral Epidemiol*. 17:252-57.

Schultz, M. E y P. Hernández. 2001. Paleohistopathology of bone: A new approach to the study of ancient diseases, en Ruff, Christopher (ed.), *Yearbook of Physical Anthropology*, vol.44, Wiley Liss, Inc.,pp. 106-147.

Schultz M., Kierdorf U., SEDLACEK F. y Kierdorf H. 1988. Pathological bone changes in the mandibles of wild red deer (*Cervus elaphus L.*) exposed to high environmental levels of fluoride. *Journal of Anatomy*. 193:3:431-442

Scott E.M.; Janet M.; Watson-Capps, Jana J.; Sargeant, Brooke L.; Connor, Richard 2005. Aggression in bottlenose dolphins: Evidence for sexual coercion, male-male competition, and female tolerance through analysis of tooth-rake marks and behaviour. *Behaviour*. Volume 142, Number 1, pp. 21-44(24).

Smith, P.E. & M.T. Zaret. 1982. Bias in estimating niche overlap. *Ecology*. 63(5):1248-1253 pp.

Steinbock, T. 1976. Paleopathological diagnosis and interpretation. Charles C. Thomas Publisher. EUA. 287 pp.

Stroud, R. K. and Roffe, T. J. 1979. Causes of death in marine mammals stranded along the Oregon Coast. *Journal Wildlife Diseases*, Laramie, 15:91-97.

Szteren, D. y E. Páez. 2002. Predation by southern sea lions (*Otaria flavescens*) on artisanal fishing catches in Uruguay. *Marine and Freshwater Research*. 53:1161-1167.

Szteren, D., Aurioles, D. G. y Gerber, L. 2006. Population Status and Trends of the California Sea Lion (*Zalophus californianus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. In: *Sea lions of the world*. Alaska sea grant college program, AK-SG-06-01. pp. 369-384.

Thompson D., Dick, C. D., McConnell, B. J. y Garrett, J. 1998. Foraging behavior and diet of lactating female southern sea lions (*Otaria flavescens*) in the Falkland Islands. *J Zool Lond*. 246:135–146.

Tieszen, L. L. y Boutton T. W. 1988. Stable carbon isotopes in terrestrial ecosystem research. Pages 167-195. En: *Stable isotopes in ecological research*. (Eds.) P. W. Rundel, J. R. Ehleringer and K. A. Nagy. Springer-Verlag, Berlin.

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

Tremblay, Y. y Cherel, Y. 2000. Benthic and pelagic dives: a new foraging behaviour in rockhopper penguins. *Marine Ecology Progress Series*. 204, 257–267.

Tremblay, Y., Shaffer, S.A., Fowler, S.L., Kuhn, C.E., McDonald, B.I., Weise, M.J., Bost, C.A., Weimerskirch, H., Crocker, D.E., Goebel, M.E. y Costa, D.R. 2006. Interpolation of animal tracking data in a fluid environment. *Journal of Experimental Biology*. 209, 128–140.

Trillmich, F. y D. Limberger, 1985. Drastic effects of El Niño on Galápagos Pinnipeds, *Oecologia*. 67: 19–22.

Trillmich, F., & Ono, K., 1991. *Pinnipeds and El Niño: Responses to environmental stress*. Berlin: Springer-Verlag. 293.

Trimble, M y Franco-Trecu, V. En preparación. Reproductive synchrony and mating system in *Otaria flavescens* at Isla de Lobos, Uruguay.

Utreras, V., D. Tirira y S. Salazar, 2000a. El lobo peletero de Galápagos (*Arctocephalus galapagoensis*) y el lobo marino de Galápagos (*Zalophus wollebaeki*), En: *El libro rojo de los*

mamíferos del Ecuador. Tirira D. (Ed.). Simbioe, Ecociencia, Ministerio del Ambiente y UICN, Quito, pp. 65–67.

Van Valkenburgh, B. 1988. Incidence of tooth breakage among large, predatory mammals. *American Naturalist*, Chicago, 131(2):291-302.

Vander Zanden, M. J., G. Cabana y J. B. Rasmussen, 1997. Comparing the trophic position of littoral fish estimated using stable nitrogen isotopes ($\delta^{15}\text{N}$) and dietary data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 1142–1158.

Venegas F., Montiel E., Forno P., Rojas M. 2003. Histología de la deformación mandibular en salmones del sur de Chile (*Salmo salar*). *Int. J. Morphol.*, 21(3):211-219.

Villegas-Amtmann, D. Costa, Y. Tremblay, D. Auriolles-Gamboa, D. and S. Salazar. 2008. Multiple foraging strategies in a marine apex predator, the Galapagos Sea Lion. *Marine Ecology Progress Series.* 363: 299–309.

Voss M., J.W. Dippner y J. P. Montoya. 2001. Nitrogen isotope patterns in the oxygen-deficient waters of the Eastern Tropical North Pacific Ocean. *Deep-Sea Research I* 48: 1905-1921.

Walker, E. P. 1975. *Mammals of the World: Third Edition: Volume I and II.* The Johns Hopkins University Press. Baltimore y Londres. 1500

Weise, J. M., D. P. Costa y R. M. Kudela. 2006. Movement and diving behavior of male California sea lion (*Zalophus californianus*) during anomalous oceanographic conditions of 2005 to those of 2004. *Geophysical.*

Yamasaki K., Itakura C. 1983. Pathology of degenerative osteoarthritis in layins hens. *Jpn J. Vet.Sci.* 45(1), 1-8.

York, A., Lima, M., Ponce de León, A., Malek, A. y Páez, E. 1998. First description of diving female South American fur seals in Uruguay. Mónaco, January 1998.

Zavala-González, A., Mellink, E. 1997. Entanglement of California sea lions, *Zalophus californianus californianus*, in fishing gear in the central-northern part of the Gulf of California, Mexico. *Fishery Bulletin* 95:180-184.

Zavala-González, A., M.C. García-Aguilar, K. Acevedo-Whitehouse y C. Godínez. 2000. Proyecto para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de los pinnípedos en México. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, México, D.F. 109 pp.

Zar, J.H. 1974. *Biostatistical Analysis.* Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs.

Zimmerman R., Michael y Marc A. Kelley. 1982. *Atlas of human paleopathology.* Praeger Publisher. EUA. 79 pp.

Zivanovic, Srboljub. 1982. *Ancient diseases,* Pica Press. EUA.