

**UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y FILOSOFÍA**

**“ALBERTO CAZORLA TALLERÍ”**



**ECOLOGÍA DE FORRAJEO DE DOS ESPECIES DE PINNÍPEDOS SIMPÁTRICOS  
ESTIMADA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLER  
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN BIOLOGÍA**

**AUTORA:**

RAFAELLA PARODI HORNY

**ASERORA:**

MSC. SUSANA CÁRDENAS-ALAYZA

CENTRO DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

**LIMA-PERÚ**

**2021**

## Tabla de contenidos

<i>Resumen</i> .....	3
<i>Palabras Clave</i> .....	4
<i>Summary</i> .....	4
<i>Key words</i> .....	6
<i>Estado del arte</i> .....	6
<i>Segregación trófica de recursos como mecanismo de coexistencia</i> .....	6
<i>Metodologías para la evaluación de la composición de la dieta de</i> <i>mamíferos marinos</i> .....	8
<i>Recuperación de Partes Duras</i> .....	8
<i>Modelos mixtos de Isótopos Estables</i> .....	9
<i>Análisis de Ácidos Grasos</i> .....	10
<i>Cuantificación de la señal de ácidos grasos</i> .....	11
<i>Caracterización y ecología del forrajeo del lobo sudamericano de</i> <i>un pelo (Otaria byronia) y el lobo marino sudamericano de dos pelos</i> <i>(Arctocephalus australis) en Perú</i> .....	13
<i>Problema de Investigación</i> .....	15
<i>Estrategia de abordaje</i> .....	17
<i>Referencias</i> .....	18
<i>Anexos</i> .....	22

## **Resumen**

La coexistencia y potencial competencia entre especies y su impacto sobre los recursos marinos es de interés para entender el comportamiento alimentario entre ellas. Para permitir la coexistencia de especies que ocupan un mismo nivel trófico, se espera que la explotación de recursos conduzca a la segregación del nicho trófico; sin embargo, esta distinción no siempre es clara. En depredadores simpátricos, incluyendo mamíferos marinos, diversos estudios documentan casos de segregación, pero también de superposición de nicho.

La identificación de la composición de la dieta es clave para determinar el grado de segregación/superposición en el uso de recursos. En mamíferos marinos, se utilizan diversas metodologías para analizar la dieta; estas incluyen la recuperación de partes duras (PD) de estómagos y heces, isótopos estables (IE) y el análisis cuantitativo de la señal de ácidos grasos (QFASA, por su nombre en inglés). Si bien cada una de las metodologías cuenta con ventajas y limitaciones, la cuantificación de ácidos grasos es una técnica ventajosa porque permite identificar las presas consumidas hasta el nivel de especie. Además, brinda información cuantitativa y cualitativa de la dieta consumida por un individuo en distintas escalas de tiempo que van desde horas, semanas, hasta años dependiendo del tejido analizado.

En la Reserva Nacional Punta San Juan (PSJ), ubicada en la costa sur del Perú, habitan poblaciones simpátricas reproductivas de lobo sudamericano de un pelo (*Otaria byronia*) y lobo marino sudamericano de dos pelos (*Arctocephalus australis*). Basado en el análisis de PD se han reportado diferencias en la dieta de ambas especies en PSJ. Sin embargo, los resultados de los estudios son difíciles de comparar y no permiten determinar claramente cómo el uso individual de recursos contribuye a la segregación inter o intraespecífica. Empleando QFASA se puede obtener información más precisa sobre la alimentación de cada individuo, al nivel de especie-presa y cómo la selección de presas varía en el tiempo. Esto permitirá entender mejor

si existe competencia inter o intraespecífica y cómo esta varía de acuerdo a las condiciones ambientales del ecosistema marino peruano.

El presente estudio propone evaluar la dieta de estas dos especies de pinnípedos utilizando el método QFASA para determinar si existe una segregación de recursos a nivel inter e intraespecífico. Se plantea la hipótesis de que existe una segregación de recursos, tanto inter como intraespecífica, debido a la diferencia de tamaño y al marcado dimorfismo sexual. Comprender el uso de recursos de estos depredadores utilizando QFASA nos permitirá entender con mayor resolución su comportamiento de forrajeo, determinar si existe competencia por recursos y obtener información sobre relaciones depredador-presa del ecosistema marino peruano.

### **Palabras Clave**

segregación trófica, lobos marinos, QFASA , isótopos estables, dieta

### **Summary**

Coexistence and potential competition between species and their impact on marine resources is of interest to understand feeding behavior. To allow the coexistence of species that occupy the same trophic level, it is expected that resource exploitation will lead to the segregation of the trophic niche. However, this distinction is not always clear. In sympatric predators, including marine mammals, several studies document cases of segregation, but also of niche overlap.

Identifying diet composition is key to determining the degree of segregation / overlap in resource use. In marine mammals, various methodologies are used to analyze diet. These include the recovery of hard parts (PD) from stomachs and feces, stable isotopes (IE) and the

quantitative fatty acid signature analysis (QFASA). Although each of these methodologies has limitations, the quantification of fatty acids is an advantageous technique because it allows to identify the species of the consumed prey. In addition, it provides quantitative and qualitative information of the diet consumed by an individual in different time scales ranging from hours, weeks, to years, depending on the tissue analyzed.

In the Punta San Juan (PSJ) national reserve, located on the southern Peruvian coast, there are sympatric reproductive populations of the South American sea lion (*Otaria byronia*) and the South American fur seal (*Arctocephalus australis*). Based on the analysis of hard parts, differences have been reported in the diet of both species in PSJ. However, the results of the studies are difficult to compare and do not allow us to clearly determine how individual use of resources contributes to inter- or intraspecific segregation. Using QFASA it is possible to obtain more precise information on the feeding strategies of each individual, at species-prey level and how prey selection varies over time. This will allow a better understanding of whether there is inter or intraspecific competition and how it varies according to environmental conditions of the Peruvian marine ecosystem.

The present study proposes to evaluate the diet of these two pinniped species using QFASA to determine if there is segregation of resources at inter and intraspecific level. It is hypothesized that there is segregation of resources, both inter and intraspecific, due to the difference in size and the sexual dimorphism. Understanding the use of resources of these predators using QFASA will allow us to further understand their foraging behavior, determine if there is competition for resources, and obtain information on predator-prey relationships in the Peruvian marine ecosystem.

## **Key words**

Trophic segregation, sea lions, QFASA, stable isotopes, diet

## **Estado del arte**

### **Segregación trófica de recursos como mecanismo de coexistencia**

Existen varios estudios que evalúan la naturaleza de las interacciones entre mamíferos marinos, debido a su posición como depredadores tope de la red trófica marina (3,4). Para poder estudiar la dinámica de las interacciones dentro de un ecosistema es necesario comprender el uso de recursos de los individuos y las poblaciones de las diferentes especies de depredadores que lo habitan. El principio de exclusión competitiva predice que dos especies que compiten por el mismo recurso limitado, no pueden coexistir, a menos que presenten una segregación de recursos (5). La segregación trófica se refiere a la repartición de recursos, como alimentación, hábitat y áreas de forrajeo entre individuos dentro de un ecosistema. Esta se puede dar tanto entre especies (interespecífica) como dentro de una población de una misma especie (intraespecífica).

Los depredadores cumplen roles fundamentales en los ecosistemas, controlando la densidad de presas y sirven como indicadores del equilibrio de un ecosistema (1). Además, a través de procesos de competencia y depredación, los depredadores pueden tener una profunda influencia en la abundancia, distribución y uso de recursos (2). Debido a que los impactos de las diferentes especies de depredadores en las presas no son necesariamente equivalentes, esto a su vez puede tener un efecto considerable en las poblaciones de las diferentes presas y, en última instancia, incluso en la cobertura, composición y diversidad de los productores primarios (2).

Un modelo de estudio empleado para estos casos son las poblaciones simpátricas de pinnípedos, ya que al ocupar una posición alta en la red trófica, para coexistir, deben repartir

los recursos de manera eficiente (6–9). Los pinnípedos, como parte de la megafauna marina y depredadores tope, presentan un rol dinámico en el ecosistema al transferir nutrientes y energía, o al regular la abundancia de otras especies (10). Pueden desempeñar un papel estructural al influir en los componentes físicos de su entorno (ie. almacenamiento de nutrientes) o pueden reflejar el estado de salud del medio marino al servir como indicadores de cambios en el ecosistema (i.e. Abundancia de presas, composición de la cadena trófica) (10).

Dentro del grupo de pinnípedos, el tipo de segregación más registrada y estudiada es la interespecífica. Waite et al. (2012) (6) utilizó el análisis de isótopos estables (IE) de carbono y nitrógeno, en combinación con telemetría, para evaluar la partición de recursos entre dos especies de pinnípedos simpátricos y encontraron diferencias significativas en la dieta entre ambas especies. A partir de las proporciones de  $\delta^{13}\text{C}$  y el análisis del comportamiento de forrajeo con telemetría encontraron que *Eumetopias jubatus* se alimentaba cerca de la costa y de presas bentónicas; mientras que *Callorhinus ursinus* lo hacía en altamar y de presas pelágicas. Sus resultados determinaron la existencia de segregación espacial y segregación trófica por tipo de presa entre las dos especies, concluyendo que estas especies presentan diferentes estrategias de alimentación (6).

La segregación intraespecífica ocurre cuando hay diferentes comportamientos de forrajeo debido a diferencias en la morfología, sexo y/o estadio de vida. Las diferencias morfológicas entre sexos pueden permitir un acceso diferenciado a los recursos (7). Sepúlveda et al. (2017) (11) analizó la variación espacial, temporal y de edad/sexo en la dieta de lobos marinos sudamericanos de un pelo (*Otaria byronia*) en el sur de Chile a través del análisis de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  (11). Sus resultados mostraron que los machos adultos y subadultos tenían un nicho isotópico más amplio que las hembras. Los autores indicaron que este patrón puede estar

relacionado al tamaño, ya que los machos son más grandes y, por lo tanto, pueden alimentarse de una mayor diversidad de presas en el medio marino. Los lobos machos solo están restringidos a estar en tierra durante el período reproductivo (2–3 meses) mientras compiten por acceso a las hembras. Sin embargo, durante la mayor parte del año pueden dispersarse lejos de las colonias en búsqueda de alimento en una amplia área geográfica. En contraste, las hembras adultas con crías alternan viajes de alimentación en el mar con estadías en tierra durante el período de lactancia de sus crías (7-12 meses) y, por lo tanto, sus viajes de alimentación están limitados a las proximidades de la colonia durante gran parte del año (11,12). De esta manera, las diferencias en la morfología y roles generan una segregación en uso de recursos dentro de una misma especie. Ambos estudios permitieron identificar la existencia de diferencias en el comportamiento forrajeo y alimentación, tanto a nivel interespecífico como intraespecífico.

### **Metodologías para la evaluación de la composición de la dieta de mamíferos marinos**

Hay diversas metodologías para estimar la composición de la dieta en mamíferos marinos: la recuperación de partes duras (PD), modelos mixtos de isótopos estables (IE), y la cuantificación de la señal de ácidos grasos (QFASA). Estas técnicas varían en dificultad de recolección de la muestra, resolución taxonómica y resolución temporal (Tabla 1, Anexo).

#### **Recuperación de Partes Duras**

La recuperación de PD consiste en la segregación e identificación de restos duros no digeridos de las presas en las heces, contenidos estomacales o regurgitos de los depredadores. Las PD comúnmente son los otolitos sagitales de los peces, que son estructuras calcáreas del oído de los vertebrados, y los picos de los cefalópodos. Ambas estructuras son útiles para la identificación de las especies de presas consumidas (13). Para estimar la composición de la

dieta, diversos estudios calculan las frecuencias relativas de PD en las heces, que son representativas de la frecuencia de las presas consumidas (14). Además, las PD analizadas, mediante una regresión, permiten estimar el tamaño de las presas consumidas, después de tomar en cuenta factores de corrección para incluir los grados de erosión por efectos de la digestión (14,15).

La colecta de heces es la metodología más antigua y la más empleada, ya que las muestras son recolectadas con facilidad de manera no invasiva y permite conocer las especies de presas consumidas por el depredador en la última ingesta (13). Esta última característica significa una resolución temporal limitada. Se han realizado múltiples estudios estimando la dieta de otáridos a partir de restos en heces (14–18), pero se reporta que las PD pueden disminuir su tamaño debido a la erosión durante la digestión, lo cual tiene como consecuencia la subestimación del tamaño real de la presa consumida. El grado de erosión depende del depredador y varía según la especie de presa (19). En el caso de otolitos, los porcentajes de recuperación de PD presentan una correlación positiva con la longitud de la presa, al ancho del otolito y la robustez de este (13,15). También existen especies de peces cuyos otolitos son digeridos completamente (15), por lo que la frecuencia de PD en las heces no es representativa de las especies consumidas en su totalidad. Se ha registrado una amplia variación de la recuperación de PD, la cual oscila de 0-89% dependiendo de la especie (15). Por estas dificultades la estimación de la dieta, en relación a la frecuencia y tamaño de presa, a través de la segregación de PD podría ser imprecisa.

### **Modelos mixtos de Isótopos Estables**

Los modelos mixtos de isótopos estables (IE) son formas no reactivas de los átomos que presentan un número diferente de neutrones del elemento estándar, haciéndolos más o menos

pesados que este. Las muestras de IE pueden ser obtenidas de diferentes tejidos, como plumas, pelos, y muestras sanguíneas, dependiendo del objetivo del estudio. En estos modelos las relaciones de isótopos estables, comúnmente de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ), se utilizan para proporcionar información sobre la dieta de mamíferos marinos y otros vertebrados (13). La composición de isótopos estables de un animal está determinada por la composición isotópica de los alimentos consumidos, el agua y los gases que ingresan a su cuerpo a partir de los cuales produce tejidos blandos y minerales biológicos (3). Por lo tanto, para determinar las contribuciones dietéticas proporcionales de carbono y nitrógeno de cada fuente de alimento, es necesario relacionar las señales isotópicas en los depredadores con la composición isotópica de las presas (13). Esta técnica permite realizar comparaciones de hábitos o áreas de alimentación, dentro o entre especies, si se tienen los datos sobre las gradientes isotópicas espaciales o señales isotópicas de los potenciales recursos de alimentación (12).

Para entender la posición del depredador es necesario primero tener un mapa isotópico de la red trófica. Por lo que, esta técnica también presenta dificultades, ya que requiere de la obtención y análisis de un número muestral significativo en los diferentes taxones para representar adecuadamente a la red trófica. A través de la comparación de las diferentes señales, los modelos de IE permiten la cuantificación del nivel trófico (20), mas no la identificación a nivel de especie (13). Otra limitación de est metodología es la necesidad de desarrollo de coeficientes de corrección específicos para los tejidos analizados en la especie de estudio según tipo de isótopo.

### **Análisis de Ácidos Grasos**

Los marcadores tróficos idealmente son compuestos cuyo origen puede ser identificado de manera rápida y específica y ser transferidos de un nivel trófico al siguiente de forma

cuantitativa y cualitativa (21,22). Los ácidos grasos (AG) son los constituyentes principales de los lípidos (23). Estos son considerados buenos marcadores tróficos porque son incorporados en los tejidos de los consumidores, en gran medida, sin cambios estructurales (21,22) y pueden ser utilizados para obtener información de las relaciones depredador-presa, a nivel específico, dentro de un ecosistema. Por ello, un cambio en la dieta puede ser detectado, ya que será reflejado en la señal de AG del depredador (24). Es por esto que diferencias en la composición de AG dentro y entre especies son atribuidas a la dieta (4).

Dado que los animales pueden biosintetizar un número relativamente limitado de AG (23), para estudiar los hábitos alimentarios, es necesario distinguir los componentes ingeridos versus los sintetizados. Una vez absorbidos por los tejidos, los ácidos grasos se usan para obtener energía o se almacenan en el tejido adiposo con poca modificación y de manera predecible (23). Las señales de AG se han utilizado cualitativamente para inferir niveles tróficos y diferencias espaciales y temporales en las dietas dentro y entre especies (23). Sin embargo, dado que estos perfiles pueden usarse para identificar con precisión hasta el nivel de especie, la señal de AG también puede ser empleada en la estimación cuantitativa de la dieta.

### **Cuantificación de la señal de ácidos grasos**

El análisis cuantitativo de la señal de ácidos grasos (QFASA, Iverson et al. 2004) es esencialmente un modelo de mezcla y requiere información sobre la composición de AG de las especies presa y de los depredadores (13). QFASA usa un subconjunto de ácidos grasos totales que reflejan las fuentes alimenticias para generar coeficientes de calibración (CC). Estos CC permiten diferenciar lo que es sintetizado por el metabolismo de los depredadores de lo que corresponde a los ácidos grasos ingeridos, antes de su deposición en el tejido adiposo (13,25). Posteriormente, usa un modelo estadístico para minimizar la distancia calculada entre el

depredador y la mezcla ponderada de especies de presas que mejor constituyen su dieta (13). Debido a esto, QFASA ha sido utilizado para la estimación de la dieta de varias especies de mamíferos marinos (4,9,21–24). En mamíferos marinos, existe una estratificación en la capa de grasa que hace confiable la aplicación de QFASA en este tejido. La capa interna, más cercana al músculo, está involucrada activamente en el metabolismo, reflejando la dieta de las últimas semanas o meses mientras que la capa externa de grasa tiene un rol estructural y refleja la dieta a largo plazo, hasta años, de los mamíferos marinos (9).

Al igual que el caso de IE, una de las dificultades con esta técnica es la recolección de muestras mediante el uso de técnicas, en algunos casos, invasivas (biopsia de grasa y muestras de sangre, por ejemplo). Otra dificultad es que un AG individual no puede ser asignado de manera única a una presa y, dependiendo de la condición y la estrategia metabólica del consumidor, los AG podrían no ser metabólicamente estables (23). Es por esto que es necesario el cálculo de los CC específicos para la especie y el tejido en estudio. Los CC son calculados generalmente a partir de estudios en individuos en cautiverio alimentados con dietas controladas, donde se calculan las características cuantitativas del metabolismo de los AG. A partir de esta información, se evalúa la precisión del modelo y los CC para estimar la señal de AG de una dieta experimental conocida (23).

Un estudio reciente evaluó los perfiles de AG de lobos marinos sudamericanos de un pelo (*Otaria byronia*) de dos regiones oceanográficas distintas en el norte y sur de Chile (9). QFASA permitió comparar la dieta de machos y hembras dentro de una misma población y determinar la extensión de nichos tróficos diferenciados para cada sexo en ambas regiones. En el estudio se determinó que los machos presentan una mayor extensión de nicho trófico que las hembras en las dos poblaciones de estudio, demostrando así que este método puede ser empleado para

determinar la dieta de pinnípedos sudamericanos y cómo los resultados pueden ser empleados para definir el nicho trófico.

### **Caracterización y ecología del forrajeo del lobo sudamericano de un pelo (*Otaria byronia*) y el lobo marino sudamericano de dos pelos (*Arctocephalus australis*) en Perú**

El lobo sudamericano de un pelo (*Otaria byronia*) y el lobo sudamericano de dos pelos (*Arctocephalus australis*) son dos especies de pinnípedos que habitan en la costa del Perú (26). Ambas especies viven en colonias reproductivas en tierra y se alimentan en el mar (26), habitando en áreas donde existe cierto grado de superposición en los recursos y áreas utilizadas por los individuos y la pesquería.

Vivir en colonias ha implicado la evolución de la poliginia (26). Investigadores sugieren que la competencia entre machos por las hembras en pinnípedos se debe al marcado dimorfismo sexual (26), el cual se manifiesta en diferencias en el tamaño corporal y en características sexuales secundarias (26,27). En el caso de *Otaria byronia* los machos miden entre 2.1-2.6 m y pesan entre 300-350 kg; mientras que las hembras llegan a medir y pesar 1.5-2 m y 170 kg, respectivamente. En *Arctocephalus australis* los machos llegan a los 2 m y pesan entre 90-160 kg y las hembras no superan el 1.5 m de longitud y pesan cerca a 60 kg (26). El dimorfismo sexual también es evidente en el tamaño del cráneo. Se han encontrado diferencias significativas en el tamaño del cráneo entre machos y hembras en poblaciones de *Arctocephalus australis* mediante mediciones laterales y frontales de los cráneos y evaluación mediante morfometría geométrica (27). Estas diferencias significan un acceso diferenciado a los recursos, en el que los machos tienen acceso a una mayor variedad de presas gracias a la mayor capacidad bucal (7).

Estudios independientes de la dieta de poblaciones simpátricas de *Otaria byronia* y *Arctocephalus australis* no son concluyentes acerca de si existe o no una segregación/superposición de sus nichos. Análisis de muestras fecales y la identificación de PD en la costa sur del Perú indican que existe cierto grado de superposición en las dietas de ambas especies (16). La anchoveta, la especie más extraída por la industria pesquera en el Mar Peruano, ha sido registrada como la presa más consumida por ambos, representando un porcentaje de 38% y 31% en *Arctocephalus australis* y *Otaria byronia* respectivamente (17). Otras presas en común fueron el falso volador (*Prionotus stephanophrys*) y diferentes especies de merluza (17), una especie de interés para la pesca artesanal en el Perú. Es importante notar que se ha visto que el grado de superposición de la dieta varía de acuerdo a cambios ambientales, aumentando cuando las condiciones del mar se alteran por eventos como El Niño (16,18,28) y afecta la disponibilidad de recursos, incrementando la competencia. Además, determinaron que existe una segregación de la dieta, principalmente en presas como la múnida (*Pleurocondes monodon*) y cefalópodos. La múnida y los picos de cefalópodos fueron encontrados más frecuentemente en las heces de *Otaria byronia* (60% y 35%), que en las de *Arctocephalus australis* (12% y 22%), lo cual sugiere que puede existir la partición de recursos (17). Estos hallazgos contradictorios y los sesgos intrínsecos de las metodologías empleadas hacen que estos resultados no sean concluyentes y resaltan la falta de claridad que se tiene con respecto a la segregación/superposición de los nichos de estas dos especies de depredadores en la actualidad.

### **Problema de Investigación**

En la investigación de ecología trófica, la identificación de la composición de la dieta de depredadores simpátricos es clave para determinar el grado de competencia y superposición de nichos. Para ello, se requieren estimaciones precisas de las dietas de los depredadores pero, para muchas especies, los métodos actuales son imprecisos a nivel taxonómico, sesgados a la última ingesta, y limitados a una resolución de nivel poblacional (23).

En el Perú se han evaluado las dietas de dos especies de pinnípedos, *Otaria byronia* (26) y *Arctocephalus australis* (26), en poblaciones reproductivas de la costa sur del Perú mediante la recolección de PD. Estas investigaciones permiten conocer la composición de la dieta de toda la población (16–18); sin embargo, tienen limitaciones. La recuperación de PD tiene un sesgo ya que algunos otolitos y picos de cefalópodos son degradados parcial o completamente durante la digestión, por lo que estas presas no serán representadas en la dieta empleando esta metodología. Otra limitación es la escala temporal, ya que la metodología de PD solo permite conocer las presas consumidas en la última ingesta. Tampoco se conoce cómo contribuye la dieta individual a la segregación interespecífica e intraespecífica, debido a que generalmente se desconocen las características del individuo a través de la colecta de muestras fecales. Por todos estos motivos se requiere una profundización en conocimiento de la dieta de estas dos especies simpátricas de pinnípedos.

Este estudio propone emplear la metodología de QFASA para responder a la pregunta de investigación: ¿Existe segregación de recursos inter e intraespecífica en dos especies de pinnípedos que viven en simpatría en Punta San Juan (PSJ)? QFASA permite obtener información cualitativa -mediante la identificación de especies de presas- y cuantitativa -al conocer la proporción de presas consumidas mediante la señal de ácidos grasos- de la dieta

individual de pinnípedos en PSJ en una escala temporal de meses, de acuerdo al tejido analizado.

Finalmente, esto permitirá contribuir al estudio de mecanismos de coexistencia en los depredadores tope de una red trófica, lo cual es importante para comprender la estructura y el funcionamiento de todo el ecosistema. Los depredadores marinos afectan a los ecosistemas consumiendo grandes cantidades de biomasa y modificando físicamente los hábitats a través de su alimentación, locomoción y mortalidad (1). El estudio de los pinnípedos en el Perú es relevante por el rol que estos cumplen en el ecosistema, la interacción que tienen con los recursos pesqueros y la información que brindan sobre la salud del ecosistema. Estudiar el uso de los recursos por parte de estos depredadores permitirá evaluar el estado del hábitat marino peruano, ya que una mayor superposición de su dieta podría indicar una escasez de recursos y un desequilibrio del ecosistema.

### **Estrategia de abordaje**

El abordaje experimental será similar al utilizado en Guerrero et al. (2020) pero con un enfoque inter e intraespecífico. Se recolectarán muestras de 100 individuos adultos, 25 de cada sexo por especie, de dos especies de pinnípedos, *Otaria byronia* (OB) y *Arctocephalus australias* (AA), en la Reserva de Punta San Juan en el ANP RNSIIPG (Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras). Se establecerán cuatro grupos de estudio según especie y sexo: (1) AA hembras, (2) OB hembras, (3) AA machos y (4) OB machos, que serán evaluados en una misma temporada para poder determinar la dieta en el mismo lapso de tiempo de manera comparable entre los grupos de estudio. Las muestras serán colectadas de la capa externa de grasa debido a que contiene información de la dieta a largo plazo (mayor a 3 meses). Estas serán obtenidas siguiendo el protocolo establecido y regulado por el Comité de Ética de Investigación en Animales (CIEA) de la UPCH y bajo la autorización de investigación con colecta de muestras biológicas dentro de áreas naturales protegidas otorgada por el Servicio Nacional de Areas Naturales Protegidas (SERNANP).

Las muestras extraídas serán procesadas para extraer los ácidos grasos mediante transesterificación ácida empleando el reactivo de Hilditch; siguiendo el procedimiento utilizado en Guerrero et al. (2020). Este método es una combinación y modificación de metodologías utilizadas en estudios por Folch et al.(29) y Budge et al. (30). La señal de ácidos grasos para los individuos será obtenida a través de cromatografía y espectrometría de masas, siguiendo el procedimiento citado en Iverson et al. (2004) y Beck (2004). Los perfiles de señales de ácidos grasos obtenidos serán comparados a las señales obtenidas de las presas conocidas, empleando valores registrados en la literatura y calculándolos para aquellas que no existen siguiendo el protocolo de Iverson et al. (2004).

## Referencias

1. Pimiento C, Leprieur F, Silvestro D, Lefcheck JS, Albouy C, Rasher DB, et al. Functional diversity of marine megafauna in the Anthropocene. *Sci Adv.* 2020;6(16).
2. Glen AS, Dickman CR. The importance of predators. *Carniv Aust.* 2014;(October):1–12.
3. Newsome SD, Clementz MT, Koch PL. Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Mar Mammal Sci.* 2010;26(3):509–72.
4. Smith HR, Worthy GAJ. Stratification and intra- and inter-specific differences in fatty acid composition of common dolphin (*Delphinus sp.*) blubber: Implications for dietary analysis. *Comp Biochem Physiol - B Biochem Mol Biol.* 2006;143(4):486–99.
5. Dehnhard N, Achurch H, Clarke J, Michel LN, Southwell C, Sumner MD, et al. High inter- and intraspecific niche overlap among three sympatrically breeding, closely related seabird species: Generalist foraging as an adaptation to a highly variable environment? *J Anim Ecol.* 2020;89(1):104–19.
6. Waite JN, Trumble SJ, Burkanov VN, Andrews RD. Resource partitioning by sympatric Steller sea lions and northern fur seals as revealed by biochemical dietary analyses and satellite telemetry. *J Exp Mar Bio Ecol.* 2012;416–417:41–54.
7. Drago M, Cardona L, Franco-Trecu V, Crespo EA, Vales DG, Borella F, et al. Isotopic niche partitioning between two apex predators over time. Wunder M, editor. *J Anim Ecol.* 2017 Jul 1;86(4):766–80.
8. Franco-Trecu V, Aurióles-Gamboa D, Inchausti P. Individual trophic specialisation and niche segregation explain the contrasting population trends of two sympatric otariids. *Mar Biol.* 2014;161(3):609–18.
9. Guerrero AI, Pavez G, Santos-Carvallo M, Rogers TL, Sepúlveda M. Foraging behaviour of the South American sea lion (*Otaria byronia*) in two disparate ecosystems

- assessed through blubber fatty acid analysis. *Sci Rep.* 2020;10(1):1–13.
10. Trites AW. The role of pinnipeds in the ecosystem. *Pinniped Popul East north Pacific status, trends issues* [Internet]. 1997;(August):31–9. Available from: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:The+Role+of+Pinnipeds+in+the+Ecosystem#0>
  11. Sepúlveda M, Pavez G, Santos-Carvallo M, Balbontín C, Pequeño G, Newsome SD. Spatial, temporal, age, and sex related variation in the diet of South American sea lions in southern Chile. *Mar Mammal Sci.* 2017;33(2):480–95.
  12. Franco-Trecu V, Auriolles-Gamboa D, Arim M, Lima M. Prepartum and postpartum trophic segregation between sympatrically breeding female *Arctocephalus australis* and *Otaria flavescens*. *J Mammal.* 2012;93(2):514–21.
  13. Bowen WD, Iverson SJ. Methods of estimating marine mammal diets: A review of validation experiments and sources of bias and uncertainty. *Mar Mammal Sci.* 2013;29(4):719–54.
  14. Dellinger T, Trillmich F. Estimating diet composition from scat analysis in otariid seals (Otariidae): is it reliable? *Can J Zool.* 1988;66(8):1865–70.
  15. Tollit D, Steward M, Thompson P, Pierce G, Santos M, Hughes S. Species and size differences in the digestion of otoliths and beaks: implications for estimates of pinniped diet composition. *Can J Fish Aquat Sci.* 1997;
  16. Vasquez P. Determinación de Los Hábitos Alimentarios de *Arctocephalus australis* y *Otaria byronia* En Punta San Juan de Marcona, Ica, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.; 1995.
  17. Zavalaga CB, Paredes R, Arias-Schreiber M. Dieta del Lobo Fino (*Arctocephalus australis*) y del Lobo Chusco (*Otaria byronia*) en la costa sur del Perú en Febrero de 1998. IMARPE. 1998;

18. Arias-Schreiber M. Prey Spectrum and Feeding Behaviour of Two Sympatric Pinnipeds (*Arctocephalus australis* and *Otaria flavescens*) in Relation to the 1997/98 ENSO in Southern Peru. University of Bremen; 2003.
19. Dellinger T, Trillmich F. Estimating diet composition from scat analysis in otariid seals (*Otariidae*): is it reliable? *Can J Zool.* 1988;(66):1865–70.
20. Tollit D, Heaslip S, Deagle B, Iverson S, Joy R, Rosen D, et al. Estimating Diet Composition in Sea Lions: Which Technique to Choose? 2006;293–308.
21. Dalsgaard J, John M St., Kattner G, Miiller-Navarra D, Hagen W. Fatty acid trophic markers in pelagic marine environment. *Adv Mar Biol.* 2003;46.
22. Beck CA, Rea LD, Iverson SJ, Kennish JM, Pitcher KW, Fadely BS. Blubber fatty acid profiles reveal regional, seasonal, age-class and sex differences in the diet of young Steller sea lions in Alaska. *Mar Ecol Prog Ser.* 2007;338:269–80.
23. Iverson SJ, Field C, Bowen WD, Blanchard W. Quantitative fatty acid signature analysis: A new method of estimating predator diets. *Ecol Monogr.* 2004;74(2):211–35.
24. Stewart C, Iverson S, Field C. Testing for a change in diet using fatty acid signatures. *Environ Ecol Stat.* 2014;21(4):775–92.
25. Cooper MH, Iverson SJ, Heras H. Dynamics of blood chylomicron fatty acids in a marine carnivore: Implications for lipid metabolism and quantitative estimation of predator diets. *J Comp Physiol B Biochem Syst Environ Physiol.* 2005;175(2):133–45.
26. Würsig B, J.G.M. T, Kovacs K, editors. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Third. London: Elsevier; 2017. 905–910 p.
27. de Oliveira LR, Hingst-Zaher E, Morgante JS. Size and shape sexual dimorphism in the skull of the South American fur seal, *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783) (*Carnivora: Otariidae*). *Lat Am J Aquat Mamm.* 2005;4(1).
28. Paredes R, Arias-Schreiber M. Dieta del Lobo Fino (*Arctocephalus australis*) y del Lobo

Chusco (*Otaria byronia*) en la costa sur del Perú en Febrero de 1999. IMARPE.

29. Folch J, Lees M, Sloane Stanley G. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem.* 1987;55(5):999–1033.
30. Budge SM, Iverson SJ, Koopman HN. Studying trophic ecology in marine ecosystems using fatty acids: A primer on analysis and interpretation. *Mar Mammal Sci.* 2006;22(4):759–801.

## Anexos

**Tabla 1.** Comparación de las metodologías utilizadas para la evaluación de la composición de la dieta de mamífero marinos

<b>Metodología para evaluación</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Recuperación de partes duras (PD)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colecta fácil en campo</li> <li>- Permite identificar especies de presas</li> <li>- Permite estimar la talla de la especie consumida</li> <li>- Determinación de la dieta a corto plazo (~48h)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se pueden identificar presas de cuerpos blandos.</li> <li>- Digestión afecta el número muestral y tamaño de PD.</li> <li>- Imprecisiones en el cálculo de la regresión del tamaño real de la presa a partir del tamaño de la PD.</li> </ul>
<b>Modelos mixtos de isótopos estables (IE)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimación de taxones de presas consumidas en la dieta.</li> <li>- Determinación de la dieta en corto-largo plazo dependiendo del tejido analizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colecta difícil por contacto directo con individuos.</li> <li>- Requiere cálculo de coeficiente de corrección de presas y según tejido analizado.</li> <li>- Resolución taxonómica amplia de especies de presa.</li> </ul>
<b>Cuantificación de la señal de ácidos grasos (QFASA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muestras son un reflejo directo de la dieta.</li> <li>- Alta resolución en la identificación de especies de presas.</li> <li>- Determinación de la dieta en corto (días)- largo plazo (meses) dependiendo del tejido analizado.</li> <li>- Información cuantitativa y cualitativa de la dieta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colecta difícil por contacto directo con individuos.</li> <li>- Requiere cálculo de coeficiente de corrección de presas y según tejido analizado.</li> <li>- Requiere cálculo de coeficiente de calibración y deposición de ácidos grasos en el tejido de acuerdo a la especie de depredador.</li> </ul>