

UCH-FC
Biol. Ambiental
P453
C.1



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS

“Variaciones históricas de la dieta de *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus* (Procellariiformes, Hydrobatidae) provenientes de las Islas Shetland del Sur, Antártica.

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al título de
Biólogo con mención en Medio Ambiente

Por Franco Perona Jiménez

Junio, 2012
Santiago – Chile

Director del Seminario de Título: Dr. Michel Sallaberry Ayerza

Co-director: Dr. Pablo Sabat Kirwood

ESCUELA DE PREGRADO – FACULTAD DE CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



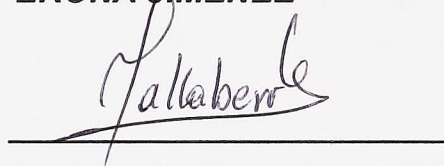
“Variaciones Históricas de las dietas de las Poblaciones de *Fregatta tropica* y *Oceanites oceanicus* (Procellariiformes, Hydrobatidae) en las Islas Shetland del Sur, Antártica.”

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con Mención en Medio Ambiente.

FRANCO GIÚSEPPE PERONA JIMÉNEZ

Michel Sallaberry

Director Seminario de Título



Co-director: Roberto

Comisión de Evaluación

Presidente






Evaluador

Elin Poulson



Santiago, 27 de Junio de 2012



Nací en Puente Alto, un pueblito creciente y alejado de Santiago. Con el pasar de los años se anexó completamente al área metropolitana, suceso que llamó mi atención, invitándome a descubrir algo que siempre fue lejano para mí. Con el paso de la niñez comencé a inquietarme y a querer entender como funcionaban las cosas, desde el reloj de mi abuelo hasta la sociedad en que vivimos. Al llegar a la adolescencia, comencé a separarme de la Religión y mi interés por querer comprender el mundo

que nos rodea ya había comenzado a manifestarse. Entré al Grupo Scout N°1 Alcibíades Vicencio del Instituto Nacional, del que fui parte casi 10 años. Mi paso por aquel establecimiento marcó un antes y un después, en él aprendí a aprender, conocí a mis mejores amigos, a los mejores profesores, esos que no solo te hacen aprender algo de memoria, si no que te ayudan a entenderlo, y junto con mi grupo de amigos vivimos las primeras experiencias como personas libres que somos.

Al llegar a los 17, ya no solo me había enamorado por 1ra vez, si no que ya me había dado cuenta que quería canalizar mis esfuerzos por contribuir a la comprensión de la vida misma, por lo que postulé a Biología Ambiental en la Universidad de Chile.

En la Universidad viví muchos de los momentos más importantes, mágicos y tristes de mi vida. Aprendí, crecí y comencé a entender las consecuencias de nuestras decisiones, y que por muy difíciles que sean los momentos uno nunca está solo.

Fui delegado de carrera y luego pasé a la Radio de Ciencias y a ser el Dj de la Facultad y más tarde del Campus, en donde aprendí a organizar eventos y planificar actividades de una mejor manera, pero aún con cierto desorden típico en mí, comencé a entender la responsabilidad de ser profesional y al final de esa etapa volví a sentir que la vida es para vivirla. Con Pablo ganamos la beca para ir a la Antártica, lo que hasta ahora ha sido la experiencia mas increíble de mi vida, luego comencé a “pitutear” en consultoras ambientales y reafirmé ese pensamiento de que hay mucho por hacer. Una de las cosas que espero para el futuro, es seguir conociendo personas grandes, no en estatura, si no que en espíritu, en corazón. Espero seguir haciendo amigos como los que ya tengo, orgulloso de que me hayan dedicado estas palabras en este momento:

“Conocí a Franco el año 2000, cuando ingresó al 1ºM del Instituto Nacional. Su personalidad inquieta y curiosa causaba en un comienzo que fuera continuamente reprendido por profesores y compañeros. Al poco tiempo, fue canalizando sus energías en el interés por comprender el mundo e intentar construir una vida al margen de las conductas que amenazan la vida y la paz. Fue así como se interesó a la



par por la música y la ciencia; la primera, como forma de darle cabida a la subjetividad en un mundo cada vez más automatizado; y la segunda, como el camino en que se puede aportar a mejorar la calidad de vida de las personas y a resguardar el entorno natural que nos cobija. A lo largo de nuestra amistad, hemos podido compartir ambas pasiones, enriqueciendo cada diálogo con su continuo perfeccionamiento en la Biología, el que comienza a cerrar una etapa de su aprendizaje. Su inquebrantable dedicación al conocimiento, así como su comprensión de la dimensión ética de la ciencia, lo sitúan dentro del -lamentablemente- escaso grupo de profesionales del que no tengo dudas, contribuirán a crear una sociedad más justa.”

Christian Álvarez, Músico

“Franco Perona llegó a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, con el fin de ir a todos los paseos de "Cartagua", y cada celebración Mechona posible. Pero no pensó que se especializaría en fauna terrestre, llevando a cabo una prestigiosa investigación en la Isla Rey Jorge, Antártica Chilena. Franco egreso con distinción de la facultad y es conocido además por su entusiasmo y organización de eventos y fiestas.”

Laura Catalán, Bióloga (Limnóloga)

DEDICATORIA

Quisiera dedicar este trabajo a todas las personas que me han acompañado y apoyado en este largo camino, sobretodo a los que más me motivaron en los momentos de dificultad. Especialmente a esas personas que siempre quisieron un mundo mejor y que lamentablemente ya no están con nosotros. A sus memorias.. Jonathan Salinas, Ariel Martínez y por sobre todo a mi madre: María Angélica Jiménez Neira (Q.E.P.D.)

"Si me quieres seguir Volaremos sobre el arco iris, Donde mueren las penas Y nacen los besos en flor.."

(Mägo de Oz)

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al Instituto Antártico Chileno (INACH) por su Beca para estudiantes de pregrado y su apoyo en este trabajo. Así como a Correos de Chile por preocuparse de mi estadía en Isla Rey Jorge y Punta Arenas, a sus trabajadores que compartieron esos gratos momentos conmigo.

Agradecer a todo el personal de INACH por su apoyo y colaboración con este trabajo mientras estuve viviendo en la Isla, destacando a Javier Arata (Jefe de Base) quien me brindó su apoyo en los momentos complicados. También quiero agradecer a los maestros cocineros de la Base Escudero quienes me aguantaron los más de 2 meses y me enseñaron a comportarme en protocolo. Gracias Marco.

Agradecer a la Dotación Militar de la Base Frei Montalva (FACH) por aceptarme e integrarme a su grupo, de verdad el discurso final me salió del corazón, mil gracias. Por sobretodo al grupo del Centro De Comunicaciones (CECOM) que hicieron de la Radio mi segunda casa.

Agradecer al Comandante Madina, a su esposa y al Doctor Suarez por la acogida en ese extremo lugar y a la tripulación del Buque Remolcador “Lautaro” por la increíble estadía y darme el honor de estar con ellos unos cuantos días.

Al personal logístico de Base Escudero, por sobretodo a las personas que hacen mucho más que su trabajo, como los guías de “Antártica XXI” y a mi ídolo Alejo Contreras.

A los profesores Michel Sallaberry y Pablo Sabat por guiarme y aguantarme en este largo proceso y a Pablo Negrete por confiar en esta apuesta. Sin vos no hubiera terminado jamás. Así como a la Dra. Petra Quillfeldt por hacer que este trabajo se concretara colaborando con importantes datos y haciéndonos los análisis de isótopos. Gracias.

A mi Familia por su incondicional apoyo, a mis tíos, tías, abuelas y sobretodo a mi Padre que nunca dudaron y confiaron en mí en cada momento, más que yo mismo. Infinitas gracias.

A mis amigos de casa, a esos que no les importa si estás bien o mal, porque siempre están ahí para darte una mano y a veces algo más.. Aguante mt2

A mis compañeros y amigos de carrera, esos que siempre te van a criticar, pero que indudablemente es porque siempre van a querer lo mejor de cada uno de nosotros. Destaco a mi guía espiritual Laura Catalán que me rescató del agujero en el que me encontraba y me enseñó estadística y me dio la fuerza para volver a retomar el camino. Gracias.

A la Radio de Ciencias, sobretodo a esa generación fugaz que lleno de Alegría y Magia los rincones y pastos del Campus Juan Gomez Millas. Fue una experiencia inolvidable. Gracias a ellas y a ellos que por un momento nos hicieron sentir RockStar. Gracias Erick, Mauro, Carlos y JP. Gracias a todo los que nos apoyaron en esos momentos.

Gracias a mis compañeros del Nacional, sin duda gracias a ellos este puede ser un lugar mejor para vivir y soñar.

Y gracias a esas personas especiales que espero estén ahí toda mi vida, como mi Hermano y mi Polola. Los amo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

BIOGRAFÍA	III
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación del problema	1
1.2 Objetivos	5
1.3 Hipótesis y Predicciones	6
2. MARCO CONCEPTUAL	7
2.1 Fundamento de los Análisis de Isotopos estables de Carbono ($\delta^{13}C$) y Nitrógeno ($\delta^{15}N$)	7
2.2 Presentación de las especies estudiadas	9
3. METODOLOGÍA	14
3.1 Reconstrucción histórica de las dietas	14
3.1.1 Obtención de datos históricos	14
3.1.2 Obtención de datos recientes	15
3.1.3 Procesamiento de las muestras	18
3.1.4 Análisis estadísticos	19
3.2 Caracterización de la dieta actual	19
3.3 Comparación entre tejidos	21
4. RESULTADOS	21
4.1 Variabilidad temporal para marcas isotópicas de $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$ en <i>Oceanites oceanicus</i> y <i>Fregetta tropica</i>	21

4.2 Comparación de dietas actuales entre las aves marinas de la familia Hydrobatiidae presentes en la Isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica Chilena (<i>Fregatta tropica</i> y <i>Oceanites oceanicus</i>)	24
4.3 Campaña verano 2009-2010. Comparación entre tejidos	27
4.4 Comparación entre tejidos de las especies colectadas en verano de 2010	28
5. DISCUSIÓN	29
5.1 Aspectos históricos	29
5.2 Aspectos dietarios	33
5.3 Comparación entre especies	35
5.4 Consideraciones metodológicas	37
6. CONCLUSIONES	38
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39
8. ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Especies consumidas por *O. oceanicus* y sus posibles proporciones en la dieta

Tabla 1.2 Especies consumidas por *F. tropica* y sus posibles proporciones en la dieta

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ejemplar de *Oceanites oceanicus*

Figura 1.2 Ejemplar de *Fregetta tropica*

Figura 1.3 Muestra de krill antártico (*Euphausia superba*)

Figura 2.1 Mapa de la Península Antártica. Se resalta la ubicación de Isla Rey Jorge en el Archipiélago Shetland del Sur.

Figura 2.2 Mapa de Isla Rey Jorge y su ubicación dentro de las Shetland del Sur. El punto rojo indica el sector donde fueron capturadas las especies *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus* en la campaña estival de 2009.

Figura 3. Variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en *O. oceanicus* entre las décadas del '20, '60 y grupo actual.

Figura 4. Variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en *F. tropica* entre las décadas del '20, '60 y grupo actual.

Figura 5. Nicho trófico de *Oceanites oceanicus*.

Figura 6. Nicho trófico de *Fregetta tropica*

Figura 7. Variación isotópica de los tejidos muestreados (plumas y sangre) en *O. oceanicus* y *F. tropica*.

Figura 8. Variación isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en tejidos de *F. tropica*, *O. oceanicus* y *E. superba*. Muestras obtenidas entre Dic de 2009 y Feb de 2010

RESUMEN

Las actuales variaciones climáticas y la actividad humana podrían estar alterando las condiciones ambientales en la península Antártica. Junto a esto, se ha documentado una reducción del tamaño poblacional del krill antártico (*Euphasia superba*), componente esencial de este ecosistema. Se ha sugerido que este fenómeno estaría ligado a este reciente cambio medioambiental. Por otra parte, estas variaciones en el krill podrían estar afectando la dieta de las especies consumidoras de este crustáceo que nidifican en el área. Con el objetivo de estudiar estos posibles cambios en la dieta, hemos utilizado como modelo de estudio a la Golondrina de mar de Wilson (*Oceanites oceanicus*) y a la Golondrina de mar de vientre negro (*Fregetta tropica*), ambas nidificantes en las islas Antárticas y sub-Antárticas.

Para estimar los cambios en la alimentación de estas aves se realizó un análisis de isótopos estables de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$). Para ello, se colectaron muestras de plumas de *F. tropica* y *O. oceanicus* durante la época estival del 2009, en Isla Rey Jorge, las que fueron agrupadas con muestras proveniente de la década de 1980 y en conjunto se compararon con marcas isotópicas de muestras de plumas de las décadas del 20' y 60'.

En términos generales los registros isotópicos de las temporadas estudiadas, mostraron diferencias entre el grupo de datos mas reciente en ambas especies en comparación con las décadas de los '60 y '20. Este hecho sugiere que la alimentación, durante el periodo inter-reproductivo, ha tenido variaciones entre las distintas décadas. Los valores isotópicos de las plumas de los individuos de ambas especies, de la temporada 2009, fueron comparados con valores isotópicos sanguíneos de cada

ejemplar, obtenidas en la misma campaña de terreno, para constatar diferencias en la composición isotópica. Este análisis también arrojó diferencias en los valores isotópicos entre plumas y sangre, sugiriendo la existencia de variabilidad estacional de las dietas. Además, se compararon las actuales dietas entre ambas especies, en tipos y proporciones de presas, análisis que también arrojó diferencias, sugiriendo que las golondrinas de mar de este estudio utilizan diferentes sitios de forrajeo.

Palabras Claves: Dieta de Aves Marinas, Isótopos Estables, Calentamiento Global, *Euphausia superba*, *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación del problema

Los cambios en los patrones bióticos y abióticos del ecosistema Antártico que han ocurrido en las últimas décadas, se han relacionado al fenómeno del calentamiento global (Hughes, 2000; Hartman et al., 2000; Parmesan et al., 2003). Hechos críticos como el retroceso de los casquetes de hielo y el desprendimiento de los “glaciares eternos” han sido registrados en el norte de la península Antártica (Shepherd et al., 2007), actualmente la zona más vulnerable debido a las altas temperaturas que presenta (-5°C a 5°C en verano) en comparación al resto del continente. Estos sucesos han repercutido en la alimentación del krill antártico, *Euphausia superba* (Smetacek, 2007), base de la dieta de varias especies; el cual raspa de la capa sumergida del hielo marino diatomeas, copépodos y en mayor proporción fitoplancton (algas como *Phaeocystis sp.*) (Smetacek, 2007). Así, al disminuir la cubierta de hielo marino, también disminuye la cantidad de fito y zooplancton disponible.

Junto con esto, actualmente la pesquería industrial del krill en la zona Antártica, ha potenciado su eficiencia extractiva pasando de ser estable y controlada en los últimos años, ha considerarse preocupante, al aumentar su potencial daño ecológico, pudiendo llegar a superar las cuotas establecidas por la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA) en el año 2006, sobre límites de pesca en el corto plazo (CCRVMA XXV). En consecuencia, se ha visto afectada la madurez y sobrevivencia de los estados larvarios de *E.*

superba, lo que a su vez ha provocado la reducción crítica de su tamaño poblacional (Smetacek, 2007; Atkinson, 2004).

Una de las zonas del continente Antártico más afectadas por las variaciones ambientales, ha sido el Archipiélago Shetland del Sur, ubicado en el Océano Glacial Antártico a solo 120 Km. al Norte de la península Antártica, en donde se encuentra la Isla Rey Jorge (62°, 12' S y 58°, 57' O). En este sitio se han estudiado diversos problemas derivados de los recientes cambios medioambientales, tales como: el retroceso del Glaciar Collins (que ocupa el 90 % de la superficie de la isla), la dieta, el estado de conservación y la red trófica de varias especies de aves marinas (Coria, 2009; Roby, Sallaberry & Brink, 1986; Valencia & Sallaberry, 1983). Estos estudios han aumentado la preocupación de los biólogos por el estado de conservación de las especies, ya que los patrones de alimentación y reproducción de éstas, en especial los basados en *E. superba*, estarían siendo alterados.

Ejemplo de esto, es la disminución poblacional de aves como *Pygoscelis adeliae* y *Pygoscelis antarctica* en Isla Ardley (Zona especialmente protegida), detallado en el “Plan de gestión de la Zona Antártica Especialmente Protegida N° 150” (RCTA XXXII 2009) y en el informe “Risk Assessment for the Fildes Peninsula and Ardley Island, and Development of Management Plans for their Designation as Specially Protected or Specially Managed Areas” (Hans et al., 2008), especies que tienen gran dependencia por *E. superba*. De esta manera, el análisis actual de las dietas de especies que residen en esta zona del continente y que consumen exclusivamente o en gran proporción krill, podría resultar fundamental para comprender los actuales cambios en el ecosistema, en los tamaños poblacionales

y por consecuencia en sus estados de conservación, en especial en aquellas especies que presenten poblaciones reducidas como *Oceanites oceanicus* y *Fregetta tropica* (Plan de gestión de la Zona Antártica Especialmente Protegida No 150; Reglamento D.S. N° 05/1998), siendo estas últimas las especies estudiadas en este trabajo.

En estas especies de la familia Hydrobatiidae, el consumo de *E. superba* no es exclusivo (Hahn 1998; Quillfeldt 2002). En este estudio, se postula que la fuerte disminución en la población de krill podría estar provocando alteraciones en la alimentación de las aves que residen en este lugar, pudiendo llegar a causar serios daños en sus poblaciones, como por ejemplo, la desaparición de especies que posean una dieta exclusiva en este crustáceo.

Junto con lo anterior, las especies que consumen facultativamente *E. superba* podrían estar generando nuevas estrategias de forrajeo para evitar la inanición. Entre ellas se ha descrito el desplazamiento de individuos hacia zonas que presentan una mayor disponibilidad de alimento generando así cambios en las proporciones de las presas que componen sus dietas o la incorporación de presas nuevas; así se postula también, que las especies afectadas por la disminución del krill podrían complementarlo y/o reemplazarlo por nototénidos, anfípodos, cefalópodos u otros crustáceos que se encuentren en la isla o que puedan llegar gracias a los deshielos y alteraciones del ecosistema en general. Investigaciones recientes, indican que cambios en la dieta reflejan variaciones temporales en la abundancia de los recursos (Casaux, 1998), y además entregan una proyección de las estrategias de forrajeo que deben desarrollar los individuos ante situaciones de escasez alimenticia.

Los estudios de las dietas naturales de aves marinas han sido basados en el análisis convencional de contenidos estomacales, a través de técnicas de regurgitación y de heces, así como observaciones directas y continuas de su alimentación (Forero, 2003). Sin embargo, estos análisis solamente permiten determinar la composición más reciente de su dieta (Todd et al., 1997) y están sometidas a un sesgo relacionado a la presencia de estructuras duras e identificables, que no pueden ser digeridas, como otolitos o picos de calamares. De esta manera, no se logra un registro apropiado del consumo de nototénidos menores, invertebrados, anfipodos u otros que no presenten las características descritas.

La incorporación de herramientas geoquímicas, como los análisis de isótopos estables de alta resolución, ha sido de gran utilidad en los estudios de ecología, (Squeo & Ehleringer, 2004; Sabat & Martínez del Río, 2002; Martínez del Río et al., 2009), debido a su bajo costo (Squeo & Ehleringer, 2004) y a que ha permitido determinar dietas desconocidas de la cadena trófica (Hobson & Clark, 1992; Sabat & Martínez del Río, 2002) y caracterizar, con una marca estable, las rutas tróficas conocidas (Inger & Bearhop, 2008). La utilización de análisis de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) ha sido utilizada para la determinación de dietas de aves marinas (Hobson & Clark, 1992). La técnica de $\delta^{15}\text{N}$ consiste en medir la proporción de ^{15}N sobre ^{14}N en los tejidos de un individuo. En este caso, las especies de aves marinas lo incorporan durante la producción de urea y ácido úrico, excretando el átomo más liviano de ^{14}N . La “señal” del isótopo se amplifica al sintetizarse nuevos tejidos y por lo tanto, el $\delta^{15}\text{N}$ nos entrega información del nivel trófico del organismo (Vander Zanden et al., 1997). Por otra parte, se ha encontrado que el $\delta^{13}\text{C}$ tiene distintos valores entre los organismos fotosintetizadores. Por

ejemplo, el fitoplancton marino tiene valores menos negativos de ^{13}C que la vegetación costera, por lo que esta técnica se ha utilizado como herramienta para analizar las proporciones de presas marinas y terrestres (Harrigan et al., 1989), también se ha encontrado una relación latitudinal, ya que al avanzar hacia el sur los valores isotópicos se hacen mas negativos (Quillfeldt 2005). Además, esta técnica utiliza tejidos como plumas y sangre de los individuos, lo que ha disminuido el sacrificio de aves para estos análisis (Thomson & Furness, 1995).

En resumen, la disminución actual en la abundancia del eufáusido *Euphausia superba*, componente principal de la dieta de las aves marinas de la Isla Rey Jorge, favorecería un cambio en los hábitos alimenticios hacia otras especies, lo que sería reflejado en las variaciones de los valores isotópicos de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$). En este proyecto pretendemos demostrar que existe una variación de los patrones biológicos del ecosistema Antártico, los cuales estarían respondiendo a los efectos de sus variaciones abióticas. Específicamente, a través de la utilización de isótopos estables, se intentará comprobar que efectivamente existe un cambio actual en la alimentación de las aves marinas *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus* presentes en las Islas Shetland del Sur, y que esta se puede deber a la disminución del krill antártico, que es el componente principal de la dieta en estas especies de aves.

1.2 Objetivos

General

i. Estimar variaciones históricas en las dietas de aves marinas del ecosistema antártico (*O. oceanicus* y *F. tropica*) y relacionarlas con la disminución poblacional de *E. superba*.

Específicos

- i. Estimar y comparar los cambios históricos de las dietas de las especies *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus*.
- ii. Comparar la dieta de los últimos 100 a 50 años de cada especie con la dieta actual en busca de cambios en sus componentes o en las proporciones de ellos.
- iii. Comparar los niveles isotópicos sanguíneos con los de las plumas, en un mismo individuo.
- iv. Comparar los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de las presas de las aves, colectadas en terreno, con los valores encontrados en la bibliografía.

1.3 Hipótesis y Predicciones

La disminución en la abundancia del eufáusido *E. superba*, componente importante de la dieta de *O. oceanicus* y *F. tropica*, favorece un cambio en los hábitos alimenticios hacia otras presas. Por lo tanto, postulamos que la dieta de estas aves marinas presentes en las Islas Shetland del Sur ha tenido variaciones causadas por este fenómeno. Esto se vería reflejado en diferencias en las marcas isotópicas de

Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) a lo largo del tiempo. Así, marcas isotópicas distintas, formadas a partir de nuevos componentes en la dieta (como nototénidos, anfipodos y/o cefalópodos) apoyarían la hipótesis del reemplazo de *E. superba* hacia otras presas.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Fundamento de los Análisis de Isótopos estables de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)

Como se mencionó se estudiará la dieta de las Golondrinas de mar mediante el análisis de isótopos estables de Carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y Nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) presentes en los tejidos de los individuos. Esta herramienta tiene varias ventajas ya que se puede utilizar por ejemplo, para asignar áreas geográficas a los animales estudiados, y por lo tanto caracterizar sus nichos bioclimáticos (Rubenstein & Hobson 2004; West et al 2006). Además, se pueden estudiar diferentes tejidos y así explorar los diversos usos de recursos de un animal en distintos escalas temporales (Dalerum & Angerbjörn 2005). Por lo que en conjunto los análisis de ambos isótopos en diferentes tejidos de un mismo individuo nos sirven para 1) Inferir la amplitud del nicho isotópico de un individuo y 2) Conocer la escala de tiempo en la que los animales cambian los recursos de la dieta (Martínez del Río & Sabat 2009).

Basándonos en que los distintos tejidos de un animal difieren en la tasa en que incorporan los nuevos materiales (Martínez del Río & Wolf 2005) los análisis de plumas y sangre nos permiten obtener información de la dieta a corto plazo y mediano plazo respectivamente, ya que en el caso del plasma sanguíneo la

integración de “insumos nuevos” es más rápida, por ende, la tasa de rotación del tejido es mayor. Mientras que otros tejidos como las plumas, son inertes y mantienen la composición isotópica de los recursos incorporados al mismo tiempo en que fueron formadas (Bearhop et al. 2003) por lo que este análisis nos entregaría información dietaria aproximada a la última muda.

Entonces, una determinación más precisa de los distintos ítems tróficos de las dietas de animales utilizando la señal isotópica recae en ciertos supuestos importantes: Asumiremos que en términos isotópicos los animales “son lo que comen”, y por ello la composición isotópica de los tejidos igualan el promedio ponderado a la composición isotópica de los constituyentes ponderados (presas) (DeNiro y Epstein 1978, 1981). Por ejemplo, para dos constituyentes de una dieta la fórmula sería la siguiente:

$$\delta X_{\text{tejido}} = p (\delta X_A + \Delta_A) + ((1-p) \delta X_B + \Delta_B)$$

en donde p equivale a la fracción de la dieta A, δX_A y δX_B equivalen a la composición isotópica de los componentes A y B, mientras que Δ_A y Δ_B equivalen al factor de discriminación ($\Delta = d_{\text{tejido}} - d_{\text{dieta}}$) para las dietas A y B. En nuestro caso X_a y X_b corresponden a $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ de los mayores componentes de la dieta de los animales y Δ_A y Δ_B corresponden al factor de discriminación de los isótopos de carbono y nitrógeno. Aun cuando el factor de discriminación puede sufrir variaciones, es comúnmente aceptado que el enriquecimiento por nivel trófico para $\delta^{15}\text{N}$ es cercano a 3.4 ‰ y para carbono un 1 ‰. Debido a que más del 99% de la dieta de las especies acá estudiadas está compuesta por la sumatoria entre especies de peces y krill antártico (*Euphasia superba*, véase anexo), se utilizará para su

caracterización un Modelo Mixto de Isótopos de Carbono y Nitrógeno descrito por Phillips et al. (2001, 2003 y 2005) utilizando la marca isotópica de carbono y nitrógeno de las presas de las aves, como peces y crustáceos, obtenidas de muestras recolectadas en terreno y otras provenientes de la literatura (ver anexo) las que serán analizadas con el programa computacional Isosource, el que basado en las fuentes isotópicas que “forman” al animal estudiado, y a un nivel de incremento dado por el usuario para hacer el balance de masas entre las distintas presas, entregará un rango de probabilidad en la forma de histograma en la que se encuentra cada presa dentro de la dieta. En otras palabras, no entrega un valor único para cada fuente, sino un rango de proporción posible. Para más información y detalles visitar <http://www.epa.gov/wed/pages/models/stableIsotopes/isosource/isosource.htm>).

2.2 Presentación de las especies estudiadas.

Los Petreles de tormentas o Golondrinas de mar, anidantes en las Islas Shetland del Sur, estudiadas en este seminario son la Golondrina de mar de Wilson (*Oceanites oceanicus*) y la Golondrina de mar de vientre negro (*Fregetta tropica*).

La Golondrina de mar de Wilson *O. oceanicus* (Figura 1.1) fue descrita por primera vez en 1813 por Alexander Wilson. Anida en la zona sur del planeta, entre la región Antártica y Sub-antártica (Roberts 1940), aún así es una de las aves pelágicas mas características y ampliamente distribuidas del Océano Atlántico Sur y otras regiones marinas, migrando en el invierno austral hacia el Océano Pacífico y Atlántico Norte (Warham 1990). Dejando los sitios de reproducción en Marzo-Abril para retornar en Noviembre-Diciembre (Roberts 1940).

Nidifica en cuevas formadas entre rocas; en la mayoría de los casos los nidos no son visibles. Esta característica, sumada al hecho de que presenta intensa actividad nocturna, han supuesto diferentes problemas metodológicos al momento de estudiarla, por lo que los conocimientos adquiridos son escasos para el tiempo que lleva de conocida la especie (Carboneras 1992). Este hidrobátido al igual que otros, presenta una alta sensibilidad al disturbio humano, principalmente durante el periodo de incubación del huevo (Beck & Brown 1972). Su principal depredador es el Salteador Pardo (*Stercorarius antarcticus*) (Montalti 2005). Los adultos llevan el alimento a los pichones en la noche luego de retornar al nido desde el mar (Croxall et al. 1988).

Esta Golondrina de mar prefiere alimentarse principalmente en aguas frías en las plataformas continentales o costeras, y su dieta ha sido analizada en pocas localidades dentro de su amplia distribución (Wasilewski 1986, Croxall & North 1988, Ridoux & Offredo 1989, Quillfeldt 2002) estando ésta compuesta principalmente de crustáceos planctónicos (especialmente krill) y algunos peces (del Hoyo et al. 1992). Durante la formación del huevo la alimentación se basa casi exclusivamente en crustáceos, pasando a una mayor proporción de peces durante la crianza del polluelo y la muda (Quillfeldt et al. 2005).

Ambos sexos cuidan de igual modo al único huevo que ponen por temporada alternándose cada 48 horas por alrededor de 40 a 50 días, para posteriormente alimentarlo mientras sube de peso desde principios de Enero (que comienzan a romperse los huevos), hasta Marzo, fecha en que se estabilizan en masa. Siguen cuidando de él hasta llegado el momento de comenzar la migración hacia el norte a mediados de Abril (Roberts 1940).

Al comenzar el verano austral, las aves regresan a los mismos nidos con las mismas parejas, los más jóvenes no se reproducen hasta los dos años de vida y una muda completa toma lugar durante la migración entre Mayo y Octubre (Roberts 1940).

Por otra parte, la Golondrina de mar de Vientre Negro *Fregetta tropica* (Figura 1.2) es uno de los petreles de tormenta menos estudiados en la región antártica y sub-antártica y pocos estudios detallados han sido publicados debido a su baja densidad poblacional, reducido rango de distribución, dificultad para encontrar los nidos que son puestos en lugares pedregosos y a sus exclusivos hábitos nocturnos (Hahn 1998, Beck & Brown 1971, Sallaberry, Valencia & Pincheira 1987, Oatley 1989). Por estas razones es considerada la golondrina de mar mas rara en esta zona y su ciclo reproductivo está mas asociado al de *Oceanites oceanicus* (Beck & Brown 1971) compartiendo varias características.

Su distribución reproductiva va desde la zona circumpolar hasta el límite con las islas cercanas a la Convergencia Antártica y en invierno migra al norte hacia aguas más tropicales. Sin embargo, su distribución pelágica también es poco conocida ya que en mar abierto se confunde con otras especies mas abundantes y de gran parecido físico como la golondrina de mar de las tormentas de Wilson (*Oceanites oceanicus*) y la Golondrina de mar de las Tormentas de Vientre Blanco (*Fregetta grallaria*). Los individuos comienzan a regresar a los sitios de nidificación a partir de Noviembre y vuelven al mismo nido con la misma pareja de la temporada anterior. La hembra está ausente en el nido alrededor de una semana antes de que el huevo sea puesto, tiempo durante el cual el macho visita el nido. La puesta de un único huevo (Del Hoyo et al 1992) comienza la última semana de diciembre y su

peso corresponde al 26% del peso corporal de la hembra. La incubación es echa por ambos sexos de forma alternada cada 3 días por un período de alrededor de 40 días para que mas tarde los polluelos salgan del nido a mediados de Abril (Beck & Brown 1971). La dieta está compuesta por calamares, pequeños peces y crustáceos tales como anfipodos, mísidos y eufásidos, siendo el componente más importante el krill antártico (Hanh 1998) (Figura 1.3).



Figura 1.1 Ejemplar de *Oceanites oceanicus*



Figura 1.2 Ejemplar de *Fregetta tropica*



Figura 1.3 Muestra de krill antártico *Euphausia superba*

3. METODOLOGÍA

3.1 Reconstrucción histórica de las dietas.

Los análisis históricos de las dietas de las especies *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus* fueron realizados comparando las marcas isotópicas (valores) de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de un mismo tejido en distintos años. Estos tejidos fueron obtenidos de individuos colectados en distintas campañas de terreno. Las especies fueron muestreadas en las Islas Shetland del Sur, por lo que todas las capturas corresponden a este sector ubicado al norte de la península antártica (ubicación geográfica en la Figura 2.1), para este análisis, el tejido extraído en todos los individuos fueron plumas. Las que se forman terminada la estación de reproducción.

La colecta de las plumas se dividió en dos etapas: la obtención de datos de temporadas pasadas y la obtención de datos de temporadas recientes. Proceso que se detalla a continuación.

3.1.1 Obtención de datos históricos

Los valores de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ utilizados como datos históricos para compararlos con los más recientes fueron obtenidos a través de la Dra. Petra Quillfeldt. Estos datos provienen de distintas colecciones de *O. oceanicus* y *F. tropica* de distintos museos del mundo. Todos los valores fueron obtenidos mediante el análisis de plumas, y corresponden a la zona de las Shetland del Sur. Estos datos fueron agrupados de la siguiente manera: Para *Fregetta tropica* se establecieron 2 grupos de datos pretéritos. Uno para la década del '20 con 7 datos y otro para la

década del '50 con 8 datos, estando cada dato compuesto por un valor de $\delta^{13}\text{C}$ y otro de $\delta^{15}\text{N}$. Para *Oceanites oceanicus* también se establecieron 2 grupos de datos antiguos, 8 datos conforman el grupo de la década del '20 y 6 datos el grupo de la década del '50 (el año de captura de los individuos de ambas especies, los valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y el lugar geográfico de la colecta están detallados en el Anexo A

3.1.2 Obtención de datos recientes

Los valores de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ utilizados como datos recientes, fueron obtenidos de muestras de plumas de individuos capturados en una campaña de terreno en Isla Rey Jorge (Shetland del Sur, Antártica) entre diciembre del 2009 y febrero del 2010. La metodología de recolección de las muestras a seguir fue la de Quillfeld (2005) en la cual se le corta la punta de una de las plumas de la cola a cada individuo (una muestra por individuo) de esta forma se libera inmediatamente luego de extraída la muestra no comprometiéndose la vida del animal, procedimiento de acorde a las bases dispuestas por el Comité de Ética de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile sobre manipulación de animales vivos y las bases del INACH sobre trabajo con especies vivas en territorio antártico (Sistema del Tratado Antártico, Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos 1982 y Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente 1998). Las especies fueron capturadas con una red de niebla luego de comprobarse la presencia de las especies en la Isla según lo indicado por Roby, Sallaberry & Brink (1986). Las redes se instalaron entre las 23:00 y las 01:30 hrs. de cada noche en que fue posible trabajar dadas las extremas condiciones climáticas del

lugar en un sector de Bahía Fildes cercano a Base Escudero (INACH) en Isla Rey Jorge (62°23'0"S; 58°67'0"O). El total de plumas conseguidas de esta forma fue de 2 para *Fregetta* y 12 para *Oceanites*. La zona de captura en Isla Rey Jorge y las referencias geográficas pueden observarse en la Figura 2.2.

A este grupo de muestras, se le agregaron muestras de plumas de individuos pertenecientes a la colección de aves del laboratorio de Zoología de la Universidad de Chile, del Dr. Michel Sallaberry, las que fueron obtenidas en la temporada estival de 1987 en Isla Ardley (Ubicación de la Isla en Figura 2). Estas muestras fueron agrupadas a las colectadas en la campaña de 2009 y corresponden a 3 plumas para *Fregetta* y 9 para *Oceanites* y en conjunto forman el grupo de datos más recientes. Cabe destacar que los valores isotópicos entre estas plumas (1987 y 2009) no poseen diferencias en los valores, por lo que sumado al hecho de que la cantidad de muestras de estos grupos por separado era baja, se decidió por su unificación en un solo grupo.

De esta forma se consiguieron 21 muestras de plumas de *O. oceanicus* y 5 muestras de plumas de *F. tropica* las que fueron guardadas y mantenidas en envases herméticos hasta ser manipuladas en el Laboratorio de Ecofisiología. Para los análisis estadísticos llamaremos a este grupo como “reciente”.

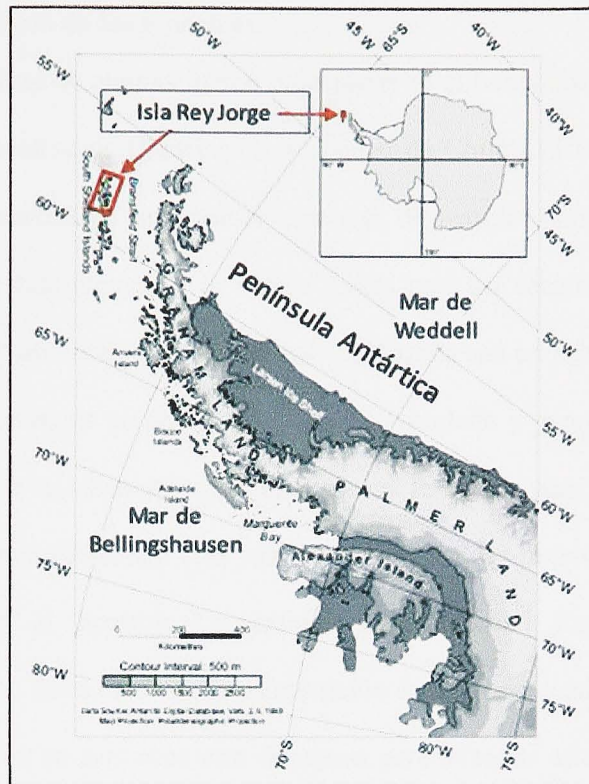


Figura 2.1 Mapa de la Península Antártica. Se resalta la ubicación de Isla Rey Jorge en el Archipiélago Shetland del Sur.

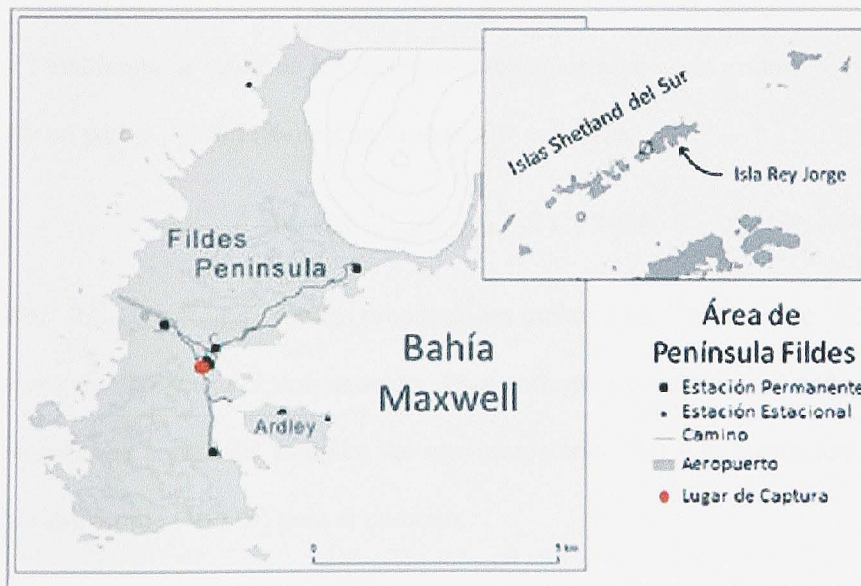


Figura 2.2 Mapa de Isla Rey Jorge y su ubicación dentro de las Shetland del Sur. El punto rojo indica el sector donde fueron capturadas las especies *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus* en la campaña estival de Diciembre 2009 – Enero 2010.

3.1.3 Procesamiento de las muestras.

Las muestras de plumas fueron procesadas en el Laboratorio de Ecofisiología Animal de la Facultad de Ciencias (Universidad de Chile). El trabajo consistió en desgrasar las muestras en un Soxhlet, con éter de petróleo. Luego las plumas se llevaron a una estufa memert a 53°C por 3 días para ser secadas y además evitar contaminación. Posteriormente, cada pluma fue trozada con un bisturí y molida en un mortero hasta conseguir un polvillo, el cual fue rotulado y guardado en sobres de papel volviéndose a mantener cada muestra en la estufa para evitar así que se contaminaran y humedecieran. Una vez rotuladas todas las muestras se enviaron en tubos Ependorff al Scottish Universities Environmental Research Centre al laboratorio del Dr. Rona McGill. La composición de isótopos de nitrógeno y carbono fueron medidos en un espectrómetro de masas para isótopos estables (VG Isotech, Optima) para ser combustionadas mediante un Carlo Erba NA 1500, analizador elemental.

Finalmente la razón de los isótopos estables es expresada usando la notación delta (δ) en partes por mil (‰) según la siguiente ecuación:

$$\delta^{15}\text{N} = (R_{\text{muestra}}/R_{\text{estandar}} - 1) \times 1000$$

en donde R_{muestra} y R_{estandar} son las proporciones molares de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ y de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de la muestra y referencia, respectivamente. Para entregar los valores, las muestras son referenciadas en contra del estándar del aire atmosférico (N) y la formación Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) para el carbono.

3.1.4 Análisis estadísticos (Estudio de Variabilidad Temporal)

Una vez reunidos todos los valores isotópicos de carbono y nitrógeno de las muestras de plumas en ambas especies y para los 3 períodos de tiempo (décadas de '20, '50 y reciente), se analizaron con el programa “Statistica v7.0.61.0” mediante una Manova para encontrar posibles diferencias y luego se realizó Test Univariado de Fisher LSD para ver diferencias *a posteriori*.

3.2 Caracterización de la dieta actual

Para el análisis de las proporciones de los distintos tipos de presas que componen la dieta en cada una de las especies de aves, se trabajó con el programa computacional IsoSource v1.3.1. Los valores de los isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las presas fueron recopilados en la literatura, salvo los valores que corresponden a las muestras de krill y a las aves estudiadas, los cuales fueron obtenidos de muestras conseguidas en la campaña de 2009 en Isla Rey Jorge (presas, valores y fuentes en el ANEXO B). Para el krill, sus muestras fueron colectadas en Isla Ardley ($62^{\circ} 13'\text{S}$; $58^{\circ} 56' \text{O}$). Esta Isla se encuentra unida por un istmo a Isla Rey Jorge en el sector de Bahía Maxwell y las muestras fueron recogidas en un sector costero cercano a una colonia de pingüinos papua (*Pygoscelis papua*). Las muestras fueron encontradas frescas y se mantuvieron en alcohol de 70° y fueron procesadas siguiendo el mismo protocolo de trabajo empleado en la manipulación de las plumas, para luego ser enviadas al mismo laboratorio en Escocia para los análisis respectivos. Para la obtención de los valores isotópicos de las aves, se utilizó la sangre de los individuos capturados. El procedimiento realizado para la obtención de los ejemplares vivos, fue

la utilización de la red de niebla. Lamentablemente, debido a las condiciones climáticas de la zona, no se pudo obtener sangre de todos los individuos capturados. De los trabajados exitosamente se tomó de la vena humeral 10 μ l de sangre la que se guardó en tubos heparinizados. Para ser trabajada en el Laboratorio junto al resto de las muestras siguiendo el mismo protocolo. Finalmente, se intentó realizar un muestreo del contenido estomacal según lo indicado por Wilson (1984), para tener un contraste con lo obtenido en los análisis químicos; sin embargo, este tipo de muestras no pudo ser colectada ya que todas las aves atrapadas regurgitaban solo aceite estomacal.

Esta colección de tejidos permite obtener una aproximación sobre la composición actual de cada dieta en términos de tipos de presas que consumen y las proporciones en las que se encuentran. Los análisis a seguir fueron basados en la metodología de Phillips y Gregg (2003) para recomposición de dietas y generación de polígonos. Para esto es necesario conocer el factor de fraccionamiento (o enriquecimiento) que las distintas especies y tejidos poseen, existiendo valores generales aceptados. En este caso los factores de fraccionamiento para isotopos de carbono y nitrógeno utilizados para muestras de sangre de aves fueron más precisos y se obtuvieron del Review de Caut 2009, y corresponden a 2,25 (0,20 S.E.) para nitrógeno y a $-0,199 * \delta^{13}\text{C} - 3,986$ para carbono.

Luego de establecidas las posibles proporciones que cada presa tiene dentro de cada dieta, se compararon en ambas aves los polígonos obtenidos buscando similitudes.

3.3 Comparación entre tejidos

Luego de descritas y comparadas ambas dietas, se procedió a comparar los distintos valores isotópicos de los tejidos muestreados (en ambas aves) mediante una prueba de T, con el objetivo de encontrar diferencias en la alimentación, basándose en las diferentes épocas en que crecen los tejidos muestreados (hay que recordar que la sangre se colectó en época estival, lo que reflejó la alimentación de la época reproductiva, mientras que las plumas colectadas en la misma fecha, se forman en la temporada de muda anterior, reflejando la alimentación de la temporada inter-reproductiva). Una posible diferencia corroboraría la información que existe al respecto, que propone la presencia de una dieta estacional para esta especie. Ambos tejidos comparados fueron muestreados en los mismos individuos, para obtener de este modo una aproximación mas precisa.

4. RESULTADOS

4.1 Variabilidad temporal para marcas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en *Oceanites oceanicus* y *Fregetta tropica*

Se analizaron todos los datos isotópicos correspondientes a las Islas Shetland del Sur, provenientes de las especies *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus*. Los resultados se muestran a continuación:

Oceanites oceanicus

El análisis multivariado para ambas marcas isotópicas arrojó diferencias significativas entre los tres períodos de tiempo: década del '20, década del '50 y el

grupo “actual” (Wilk’s Lamda = 0,417; F = 7,94; p < 0,001). Los análisis univariados (Fisher LSD) para los valores de $\delta^{15}\text{N}$ no mostraron diferencias significativas, mientras que para los valores de $\delta^{13}\text{C}$ si. Estando esta divergencia en el grupo de datos más reciente, los que poseen valores isotópicos de carbono más negativos a los otros dos grupos estudiados (“grupo reciente” con década del '20: p < 0,0001; “grupo reciente” con década del '50: p < 0,0001). En la figura 3 se puede apreciar la variabilidad de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ entre las décadas estudiadas. Para mayor detalle refiérase a anexo.

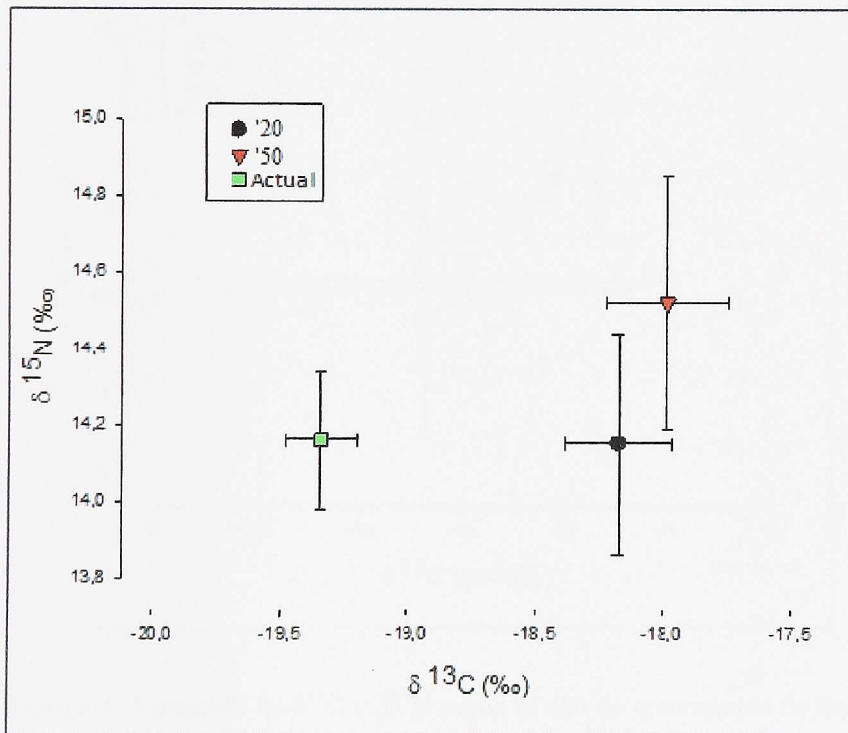


Figura 3. Variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ entre las décadas del '20, '50 y actual. Valores corresponden solo a muestras de plumas de *O. oceanicus* colectadas en las Islas Shetland del Sur.

Fregetta tropica

Para esta especie, el análisis multivariado no arrojó diferencias significativas (Wilk's Lambda=0,763775; F=1,30; p=0,29). Sin embargo, se aprecia una separación del grupo de datos de la década del '20 de los otros dos grupos de datos más recientes, repitiéndose lo observado en *Oceanites*, en donde los valores más actuales tienden a ser más negativos para el isótopo de carbono. En la figura 4 se aprecia la variabilidad temporal para las marcas isotópicas en esta especie.

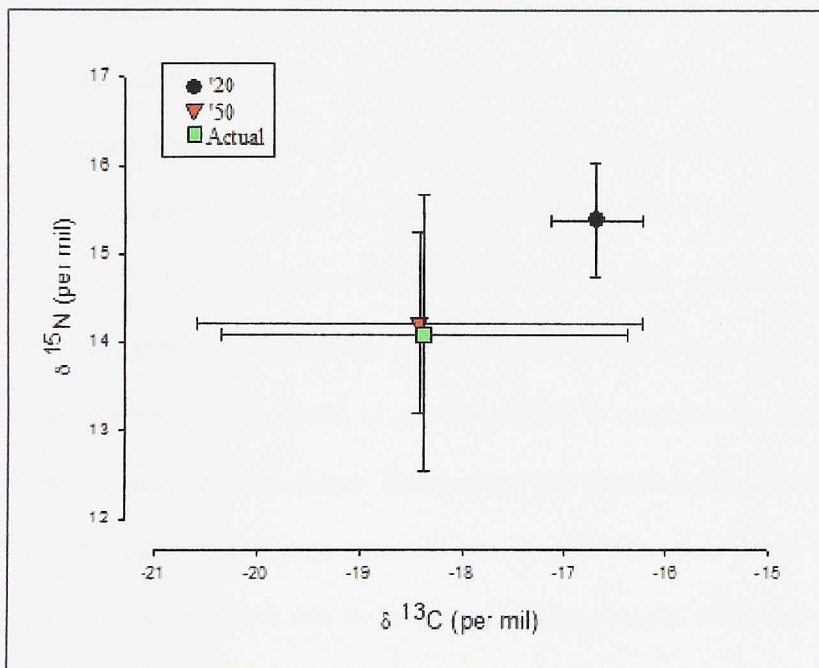


Figura 4. Variación de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ según el año de crecimiento de las plumas en *F. tropica*. Las muestras para este análisis corresponden solo a las colectadas en las Islas Shetland del Sur.

4.2 Comparación de dietas actuales entre las aves marinas de la familia Hydrobatiidae presentes en Isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica Chilena, *Fregetta tropica* y *Oceanites oceanicus*.

Los resultados del análisis de dietas realizados con el programa Isosource arrojaron que para la Golondrina de mar de Wilson (*Oceanites oceanicus*) las proporciones de las distintas presas que componen su dieta para la temporada estival del 2009, fueron en un $29 \pm 10\%$ *P. antarcticum* (Nototheniidae), $20 \pm 13\%$ *T. gaudichaudii* (Amfípodo, Hyperiidae), $19 \pm 14\%$ *E. superba* (Euphausiidae), $17 \pm 13\%$ *E. antarctica* (Myctophidae) y $15 \pm 11\%$ *E. gryllis* (Amfípodo, Lysianassidae). Mientras que para la Golondrina de mar de Vientre Negro (*Fregetta tropica*) las proporciones de sus presas fueron en un $40 \pm 20\%$ *E. gryllus* (Amfípodo, Lysianassidae), $25 \pm 20\%$ *E. antártica* (Myctophidae), $23 \pm 16\%$ *C. antarcticus* (Decapoda, Hippolytidae), $8 \pm 6,8\%$ *E. superba* (Euphausiidae) y $4 \pm 3\%$ *Amfípodos* sin determinar. El detalle de los resultados se puede ver en la tabla 1.1 para *Oceanites* y 1.2 para *Fregetta*. Mientras que la solución graficada para ambas dietas según la metodología propuesta por Phillips & Gregg se puede ver en las figuras 5 y 6 respectivamente en donde se puede apreciar la contribución de cada presa de la dieta de cada ave mediante histogramas de probabilidad de rangos para cada contribuyente. El polígono formado por la unión de cada punto (que representan individualmente a cada una de las presas) forma el nicho trófico de cada Golondrina de mar. Los valores isotópicos usados para cada Golondrina tienen descontados los factores de fraccionamiento por lo que su ubicación dentro de ambos polígonos refleja la proporción tomada de cada presa dentro de la dieta.

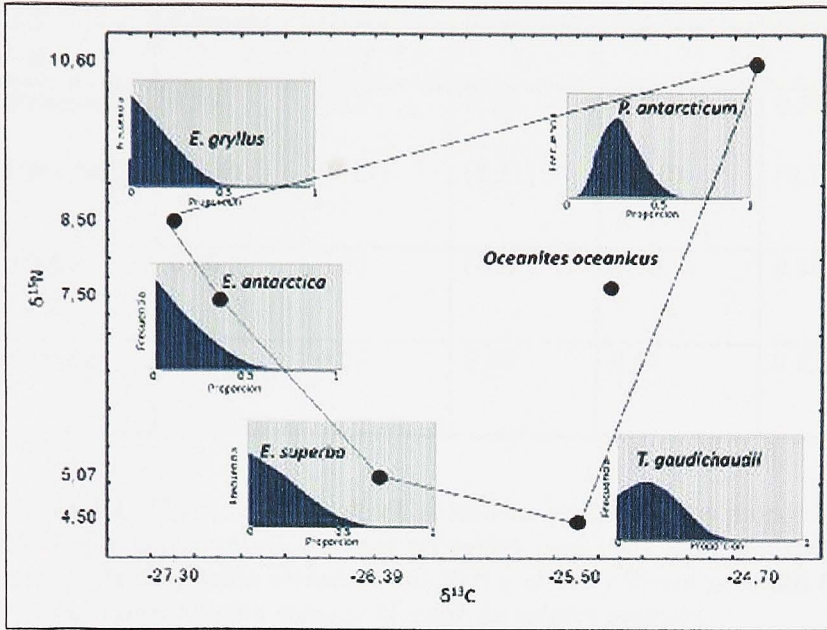


Figura 5. Nicho trófico de *O. oceanicus*. Solución obtenida en base a datos conseguidos en el verano de Diciembre del 2009 y Febrero del 2010 y a revisión bibliográfica. Análisis basados en la metodología de Phillips & Gregg 2003. Se incluyen los histogramas de probabilidad de proporción en la dieta para cada presa.

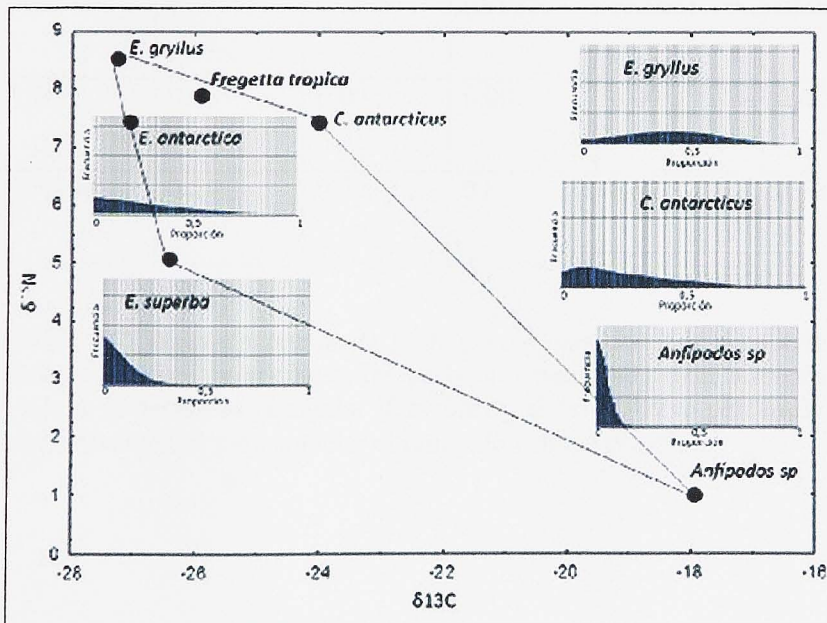


Figura 6. Nicho trófico de *F. tropica*. Solución obtenida en base a datos conseguidos en el verano de Diciembre del 2009 y Febrero del 2010 y a revisión bibliográfica. Análisis basados en la metodología de Phillips & Gregg 2003. Se incluyen los histogramas de probabilidad de proporción en la dieta para cada presa.

	<i>E. superba</i>	<i>E. antarctica</i>	<i>E. gryllus</i>	<i>P. antarcticum</i>	<i>T. gaudichaudii</i>
Promedios	0.19	0.17	0.15	0.29	0.20
(Dev Std)	(0.14)	(0.13)	(0.11)	(0.10)	(0.13)
1%ile	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
99%ile	0.56	0.52	0.45	0.54	0.52

Tabla 1.1. Tipos de presas de *O. oceanicus* y sus posibles proporciones en la dieta indicados como promedios mas probables para cada ítem alimenticio, también se incluye la desviación estándar (Des Std) y el 1er y 99avo percentil (1%ile y 99%ile respectivamente) para apreciar el rango de valores posibles.

	<i>E. superba</i>	<i>E. antarctica</i>	<i>E. gryllus</i>	<i>C. antarcticus</i>	<i>Amphipodos spp</i>
Promedios	0,08	0,25	0,40	0.23	0.04
(Dev Std)	(0.068)	(0.196)	(0.197)	(0.164)	(0.031)
1%ile	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
99%ile	0.28	0.79	0.81	0.64	0.13

Tabla 1.2 Tipos de presas de *F. tropica* y sus posibles proporciones en la dieta indicados como promedios mas probables para cada ítem alimenticio, también se incluye la desviación estándar (Dev Std) y el 1er y 99avo percentil (1%ile y 99%ile respectivamente) para apreciar el rango de valores posibles.

4.3 Campaña verano 2009-2010. Comparación entre tejidos.

En la campaña de verano de 2009-2010 se obtuvieron muestras de sangre y plumas de *Oceanites oceanicus* y *Fregetta tropica*, además de muestras de krill (*Euphasia superba*).

Se compararon los valores de isotopos obtenidos de los tejidos para cada ave y el resultado fue que para *F. tropica* los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ correspondientes a sangre fueron significativamente diferentes a los obtenidos en las plumas ($\delta^{13}\text{C}$: valor de $t= 51,757$; $df= 1$; $p= 0,012$ y $\delta^{15}\text{N}$: valor de $t=20,923$; $df=1$; $p= 0,030$). Para *O.oceanicus* los valores de ambos isótopos correspondientes a sangre también fueron significativamente distintos a los encontrados en plumas ($\delta^{13}\text{C}$: valor de $t= 10,381$; $df= 4$; $p < 0,001$ y $\delta^{15}\text{N}$: valor de $t= 22,439$; $df= 4$; $p < 0,001$). Los promedios y desviaciones estándar de los respectivos valores isotópicos se encuentran en la figura 7. La cantidad de datos para cada ítem corresponde a: Plumias *F. tropica* (2), sangre *F. tropica* (2), plumas *O. oceanicus* (5) y sangre *O. oceanicus* (5).

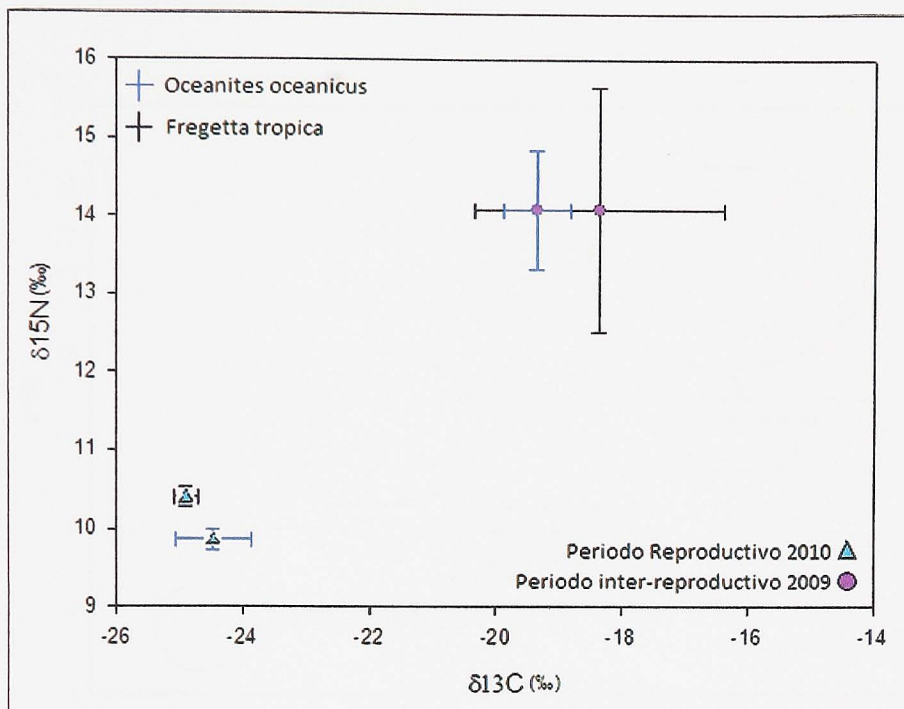


Figura 7. Tejidos muestreados para cada especie, y sus valores isotópicos (Promedios), con su respectiva desviación estándar (en azul *Oceanites* y en negro *Fregetta*). Los datos del periodo reproductivo corresponden a sangre y los del inter reproductivo a plumas. Las muestras comparadas corresponden a tejidos de los mismos individuos.

4.4 Comparación entre tejidos de las especies colectadas en verano de 2010.

Al comparar los promedios de los valores de isotopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las plumas entre las 2 especies de aves (*F. tropica* y *O. oceanicus*), las diferencias no llegan a ser significativas ($\delta^{13}\text{C}$: valor de $t= 2,024$; $p= 0,054$ y $\delta^{15}\text{N}$: valor de $t= -0,156$ y $p= 0,877$). La variación isotópica para todas las muestras colectadas en la campaña estival Diciembre2009-Febrero2010 (plumas y sangre de las 2 especies de aves y regurgitado de krill) puede verse en la figura 8. Y muestra una clara

separación en la distribución de los datos, lográndose apreciar 3 grupos: Plumas de aves, Sangre de aves y Muestras de krill.

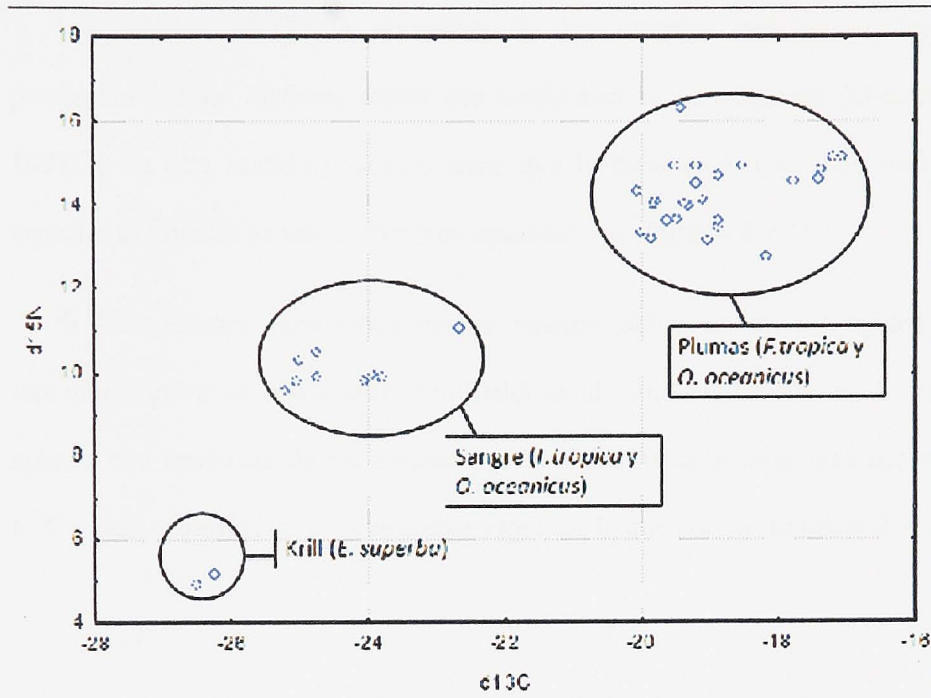


Figura 8. Variación isotópica de carbono y nitrógeno en tejidos de distintas especies encontradas en Isla Rey Jorge e Isla Ardley, Shetland del Sur. Muestras colectadas entre Diciembre 2009 y Febrero 2010.

5. DISCUSIÓN

5.1 Aspectos Históricos

Uno de los principales objetivos de este seminario era determinar la existencia de variaciones en los valores isotópicos de Carbono y Nitrógeno en las plumas de las Golondrinas de mar nidificantes en las Islas Shetland del sur en las últimas décadas. Suceso que reflejaría una variación en la alimentación, producido probablemente por los cambios ambientales que ha sufrido en las últimas décadas la península Antártica,

lugar en donde ya se han estudiado algunas consecuencias de este fenómeno (Turner 2005).

Los valores isotópicos obtenidos de las especies reflejan el “promedio ponderado” de las distintas presas que conforman su alimentación (Gannes et al., 1997) y en este sentido podemos decir que la dieta en los últimos años de las especies estudiadas ha tenido cambios significativos (Figuras 3 y 4).

Si bien existen variaciones en los valores isotópicos en los tejidos de los individuos entre un año y otro (Quillfeldt et al. 2005, Gladbach et al. 2007), se aprecia una tendencia de los valores más actuales hacia hacerse más negativos en $\delta^{13}\text{C}$ y más pequeños en $\delta^{15}\text{N}$ en ambas especies, lo que podría significar dos cosas:

- (1) Las aves podrían estar forrajeando más al sur al comenzar la migración hacia el norte.

Una de las presas más frecuentes documentadas en la dieta de las golondrinas de mar ha sido el krill (Quillfeldt 2002 y Hahn 1998), y en las últimas décadas este Euphausido ha variado los sectores en que concentra su disponibilidad, estando estos sitios actualmente más al sur-oeste del atlántico sur (Atkinson 2004) por lo que las aves podrían estar moviéndose hacia estas nuevas zonas para alimentarse al comenzar la temporada inter-reproductiva (migración). Como desconocemos la validez de esta hipótesis, un reemplazo de presas en la dieta como hacia otros crustáceos que expliquen el cambio en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ no se puede descartar.

(2) Los valores isotópicos de las presas de golondrinas pueden estar cambiando.

Esto se puede deber a un cambio en los valores isotópicos del fitoplankton (por ejemplo debido a un cambio de las especies dominantes, o de la productividad) lo que podría causar finalmente variación en los valores isotópicos del resto de especies que conforman la malla trófica que “termina” en las Golondrinas.

Estos resultados no son únicos, ya que existe evidencia de otras aves en donde se repite una tendencia similar de representar valores empobrecidos en $\delta^{13}\text{C}$ y menores en $\delta^{15}\text{N}$ en los últimos años, como en los Pingüinos Pygoscelidos de Isla Ardley, Shetland del Sur (Negrete 2011), y en *Pachyptila belcheri*, otro petrel de pequeño tamaño del Atlántico sudoeste (Quillfeldt et al. 2010) que probablemente responden al mismo fenómeno ambiental.

Junto con esto se puede hacer una pequeña diferencia entre ambas golondrinas de mar. *Oceanites oceanicus* posee diferencias en el grupo más actual ('80-2009), al compararlos con los otros grupos, lo que sugiere que hasta la década del '50 la alimentación no era muy distinta y que las variaciones en la dieta son más recientes. Esto se podría deber, además de los deshielos, como el de la plataforma Larsen B en el año 2002, a las variaciones históricas constantes de temperatura ocurridas en la zona norte de la península Antártica, ya que desde algunas décadas se registran incrementos de temperatura que van directamente relacionadas con la disminución de la cobertura de hielo marino en esta zona (Ferron 2004). Una primera variación drástica ocurre por el año 1950 (aproximadamente) y una segunda se registra entre 1975-1980. Esta última variación podría haber desencadenado un pequeño cambio ambiental que diera como resultado una pequeña variación en la

dieta de *Oceanites*, lo que ayudaría a explicar la figura 3. Mientras que *Fregetta tropica* no muestra diferencias significativas al comparar los 3 grupos de datos, pero se aprecia una tendencia similar a *Oceanites*, ya que el grupo más antiguo (década del '20) muestra valores más positivos en carbono y más grandes en nitrógeno. Lo que podría sugerir que los cambios en la dieta de esta especie son más tempranos, y que podrían responder a las variaciones de temperatura que sufrió la península en los años 1950.

Entender sobre estas diferencias en ambas aves, requiere de un mayor conocimiento, sobre sus comportamientos y ciclos de vida, lo que ayudaría a comprender con mayor profundidad como cada una de ellas ha respondido ante los cambios que ha sufrido la península Antártica a lo largo del tiempo.

5.2 Aspectos Dietarios

Para *Oceanites oceanicus* la diferencia en los valores isotópicos entre la temporada reproductiva (muestras de sangre) y la estación inter-reproductiva (muestras de plumas) muestran una clara diferencia estacional, siendo estos resultados similares a los registrados en otras temporadas (Quillfeldt et al. 2005, Gladbach et al. 2007) y es congruente con la migración de estas aves, que pasan el invierno afuera de aguas Antárticas, muchas veces llegando hasta el hemisferio norte en la estación inter-reproductiva (Warham 1990). No existen muchos registros previos de valores isotópicos para *Fregetta tropica*, pero estos comparten la tendencia y el rango de los valores encontrados en *Oceanites* (Fig 7), lo que coincide con otros autores que sugieren que las costumbres de estas dos aves son muy

similares (Beck & Brown 1971) y es congruente con las diferencias encontradas entre la temporada reproductiva e inter-reproductiva. Parte de este enriquecimiento isotópico en nitrógeno para la estación inter-reproductiva, en ambas aves, podría estar inducido por una mayor incorporación de peces en la dieta, ya que estos al estar en una posición trófica mayor al resto de los componentes como los crustáceos (Dunton 2001) presentan en general mayores valores de $\delta^{15}\text{N}$.

Respecto a las proporciones de los componentes de la dieta, para la temporada reproductiva Enero-Febrero 2010, éstas muestran una baja en la cantidad de krill incorporado en comparación a publicaciones pasadas de *Oceanites* y *Fregatta* (Quillfeldt 2002, 2005, Gladbach et al. 2007, Hahn 1998, ver anexos), pasando de ser la presa mas frecuente en ambas especies en décadas pasadas, a estar en igual o menor porción a otras presas como peces u otros crustáceos. En *Oceanites*, el krill ha pasado de ser la especie mas frecuente (verano 1979-1980: 96-100% de frecuencia en regurgitados) a tener una proporción de un 19% en la temporada estudiada (verano 2009-2010). Si bien las metodologías no son directamente comparables, ambas apuntan hacia describir la importancia del ítem alimenticio en la dieta, el que estaría disminuyendo hacia temporadas más recientes. Este suceso estaría provocando que otros ítems alimenticios incrementaran su importancia en la dieta, como algunos peces y otras especies de crustáceos; al parecer estos últimos serían el remplazo natural en la dieta ante la disminución de krill en la zona, ya que los anfípodos han sido la presa que más ha aumentado su participación en las últimas décadas en la dieta de esta ave.

Por otro lado, como ya se ha mencionado anteriormente *Fregatta tropica* es una de las especies más raras de la zona y probablemente menos estudiada, aún así

existe otro reporte de dieta (Hahn 1998) y al comparar esas observaciones con este trabajo también observamos una disminución en el krill incorporado a la dieta. En esa temporada (Verano Diciembre 1995 hasta Marzo 1996) los Crustáceos eufausidos tenían una ocurrencia observada del 21,7%, alcanzando el total de crustáceos un 50%. Mientras que en este trabajo, la presencia de krill antártico (*Euphausia superba*) tiene una proporción en la dieta de un 8%. Los crustáceos en general alcanzan el 75% para la temporada 2009-2010 lo que sugiere un fuerte remplazo por este tipo de presas muy similares al krill, el resto de la dieta se compondría básicamente por peces como la especie *Electrona antarctica*, un pez linterna muy común en el océano austral (Rowedder 1979; Hulley 1981; McGinnis 1982; Linkowski 1987; Lancraft et al 1989). Los registros dietarios usados para comparar se pueden revisar en los anexos.

Como ya se ha mencionado, estos cambios en las dietas podrían estar relacionados a la actual disponibilidad de krill, que en las últimas décadas ha disminuido fuertemente la abundancia que presentaba en la zona norte de la península Antártica (Atkinson 2004), y como ya se ha explicado los depredadores han complementado en la dieta con otras especies. Esto se puede observar en las figuras 2 y 3, y comparar con datos recientes de Negrete et al. (2011) donde se muestran cambios similares en la dieta de los pingüinos pigocélidos nidificantes en Isla Ardley (Shetland del Sur). Sin embargo, esto no concuerda con los registros dietarios de temporadas más cercanas (1996 – 2005), ya que los valores isotópicos de las aves son similares para las mismas estaciones del año, pero no las proporciones de las presas que se encuentran en la dieta (estando en proporciones intermedias entre las temporadas '79-80 y 2009, lo que se podría considerar correcto

considerando la variación temporal existente). En este punto, hay que destacar que la metodología para obtener estas proporciones en las dieta fueron distintas, ya que en los trabajos citados el método fue de regurgitación, al igual que en los trabajos de 1979-1980 (Wasilewski 1986) mientras que en este trabajo se llevo a cabo mediante estimaciones a partir de isótopos estables. Este problema podría ser explicado entonces, ya que al momento de hacer los análisis de dieta, los valores isotópicos de las muestras de aves estudiadas fueron manipulados, ya que se les restaron los valores de fraccionamiento correspondientes a plumas y a sangre según correspondía, lo que podría explicar por que los valores isotópicos son similares (valores en bruto) y no las proporciones de las distintas presas.

5.3 Comparación entre especies

En general, el ciclo de reproducción de *F. tropica* se asemeja al de *O. oceanicus* (Beck & Brown 1971), incluyendo la alimentación (Hahn 1998). Aún así este trabajo ha mostrado pequeñas diferencias en la variación histórica de las dietas y en la proporción en la que se encuentran las presas que las componen.

En el análisis histórico (temporada inter-reproductiva) *Oceanites oceanicus* muestra las diferencias en el isótopo de carbono, lo que sugiere que al comenzar la migración (que es la época donde se sintetizan las plumas de la cola) la especie se alimentaría más hacia el sur que en décadas pasadas, mientras que *Fregetta tropica* presenta una tendencia a diferenciarse en el isótopo de nitrógeno, lo que podría sugerir que sus cambios en la dieta serían a nivel del tipo de presas, probablemente en proporciones de estas y no en tipos. Esta hipótesis se sustenta en publicaciones de

Hahn (1998) y Ridoux (1994) en las que se muestra que en distintas localidades y temporadas, la especie mantiene los tipos de presas (como crustáceos y peces) pero varían en las frecuencias de ocurrencia de estas.

En época reproductiva las aves forrajean hasta algunos cientos de kilómetros de los nidos (Croxall 1988), por lo que se infiere que las proporciones en las presas obtenidas para la temporada estudiada (Verano 2010) reflejan el cambio dietario ocurrido en esta zona. Ya que al haber menos disponibilidad de krill en zonas donde era frecuente, se estarían complementando las dietas con peces y crustáceos que en otras temporadas no eran la presa más importante en la alimentación. Ahora bien, las proporciones no son iguales entre las golondrinas, tampoco lo fueron antes. Se observa en otras temporadas estudiadas que *Oceanites* basaría su alimentación más en crustáceos que en peces, mientras que *Fregetta* incorporaría más peces en su alimentación, lo que en alguna medida se mantiene hasta ahora. Esto podría estar relacionado con el tamaño de ambas aves, ya que la Golondrina de mar de Vientre Negro (*F. tropica*, peso medio de 56g) es mas grande que la Golondrina de mar de Wilson (*O. oceanicus*, peso medio de 38g) (Promedios de tamaños de las Golondrinas de mar de las tormentas obtenidos de Hahn 1998). Estas diferencias en tamaño, sumado a otras características como las distancias migratorias, podrían reflejar estrategias de forrajeo diferentes entre las golondrinas de mar, lo que podría explicar las diferencias entre ambas dietas. Esto ultimo se sustentaría por las diferencias de historia de vida que posee cada especie, siendo un ejemplo de esto precisamente las distancias de migración de cada ave, ya que *Oceanites* alcanza el ecuador y pasa al Hemisferio Norte en la temporada invernal, mientras que aun no se documentan registros de *Fregetta* en latitudes mas bajas del Hemisferio Sur.

Esperamos que futuros estudios en estas aves sigan ayudando a comprender mejor las diferencias que existen entre ellas y como cada una se comporta ante escenarios de cambio climático, como lo es el actual calentamiento de la península antártica.

5.4 Consideraciones metodológicas.

El programa Isosource trabaja con datos isotópicos que muchas veces son promedios. De esta manera el nivel de incerteza que entrega finalmente el programa pudiera ser mejorado incorporando la variabilidad natural en el valor isotópico de las presas. Junto con esto, el análisis de dieta requiere los valores isotópicos de las respectivas presas de cada especie, las que generalmente son obtenidas de la literatura. Lamentablemente es de suma dificultad obtener dicha información en las campañas de terreno planificadas para capturar los ejemplares de golondrinas. Así, los valores isotópicos de cada individuo variarán según el lugar en el que se alimenten y de la composición de cada dieta, por lo que al obtener datos de literatura, éstos idealmente debieran ser de individuos capturados en zonas lo mas próximas posibles al lugar de captura de la especie estudiada y además temporalmente cercana. En este sentido las estimaciones de la dieta inferida a partir del programa Isosource no son exactos, dada la fuente de cada dato y la dificultad para trabajar con estas especies, pero aún así, son una aproximación validada por la comunidad científica.

6. CONCLUSIONES

Como se predijo, este trabajo sugiere fuertemente la existencia de modificaciones temporales en los distintos componentes que forman la dieta de las golondrinas presentes en el norte de la Península Antártica (Islas Shetland del Sur). Esta variación podría estar dada por el cambio regional que ha sufrido la población de krill en las últimas décadas estrechamente ligada a la disminución del hielo que cubre el mar en la zona norte de la península antártica. Los valores isotópicos encontrados y la dinámica de las condiciones ambientales encontradas en la literatura podrían sugerir que las especies anidan en sectores similares, pero se alimentan cada vez más al sur, ya que ahora existen condiciones más favorables, y que los *componentes* de la dieta se mantienen invariables a lo descrito en estudios anteriores, pero que las *proporciones* de las presas ha variado. También podría existir la posibilidad de que debido a que en la actualidad existen zonas más australes en donde se podría anidar, las distintas especies de aves marinas, como las golondrinas de mar, podrían estar desplazándose hacia esas regiones.

Junto con confirmar la Hipótesis de este estudio, este trabajo entrega una perspectiva sobre como las especies, en este caso las Golondrinas de Mar, reaccionan ante la modificación en la dinámica ecológica sin precedentes producida por el cambio climático en el frágil ecosistema al norte de la Península Antártica. Si bien, se requiere de mayor información para comprender a fondo como se comportan los patrones ecológicos, podemos concluir que se requieren de medidas de mitigación a los factores que contribuyen al cambio climático, considerando los cambios drásticos que ya han ocurrido, como por ejemplo, la variación poblacional en la pieza clave de este ecosistema: el krill antártico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E.A., Rothery, P. 2004. Long term decline in krill stock and increase in salps within the southern ocean. *Nature* 432 (1996) pp. 100-103.
2. Bearhop, S., Furness, R. W., Hilton, G. M., Votier, S. C. & Waldron, S. 2003 A forensic approach to understanding diet and habitat use from stable isotope analysis of (avian) claw material. *Funct. Ecol.* 17, 270–275
3. Beck J.R & D. W Brown. 1971. The Breeding Biology of the Black-Bellied Storm-Petrel *Fregetta tropica*. Volume 113, Issue 1, pages 73–90
4. Beck J.R & D. W Brown. 1972. The Biology of Wilson's Storm Petrel, *Oceanites oceanicus* (Kulh), at Signey Island, South Orkney Islands. British Antarctic Survey rep. 69, 1-54.
5. BirdLife International 2009. *Oceanites oceanicus*. En: UICN 2011. Lista Roja de Especies Amenazadas. Versión 2011.2. <www.iucnredlist.org>.
6. Carboneras C 1992. Family Hydrobatidae. En: del Hoyo, J,A. Elliot & J. Sargatal (eds.). Handbook of the Birds of the World. Vol. I. Ostrich to ducks. Lynx Edicions, Barcelona.
7. Casaux, R. J., E. R. Barrera-Oro, M. Favero, & P. Silva. 1998. New correction factors for the quantification of fish represented in pellets of the Imperial Cormorant *Phalacrocorax atriceps*. *Mar. Ornithol.* 26: 35–39.
8. Caut S., Angulo E. & Courchamp F. 2009. Variation in discrimination factors ($\Delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{13}\text{C}$ the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. Review. *Journal of Applied Ecology*, 46, 443–453
9. CCRVMA XXV/BG xx. Agenda Item 4 & 13. Ecosystem Management of Antarctic krill in the South Atlantic: Uncertainties and Priorities. Hobart, Australia. October 2006.
10. Chel Y, Bocher P, De Broyer C, Hobson K. 2002. Food and feeding ecology of the sympatric thinbilled *Pachyptila belcheri* and Antarctic *P. desolata* prions at Iles Kerguelen, Southern Indian Ocean. Vol. 228: 263–281
11. Chel, Y. 2008. Isotopic niches of emperor and Adelie penguins in Adelie Land, Antarctica. *Marine Biology* 154, 813–821
12. Coria, N. 2009. Respuestas a los cambios ambientales de las poblaciones de pingüinos en la Isla 25 de Mayo/Isla Rey Jorge, Antártida. Acta Primer Simposio sobre biodiversidad antártica. Biblioteca Nacional del Perú.

13. Croxall JP, McCann TS, Prince PA, Rothery P (1988) Reproductive performance of seabirds and seals at South Georgia and Signy Island, South Orkney Islands, 1976-1987: implications for Southern Ocean monitoring studies. In: Sahrhage D (ed) Antarctic Ocean and resources variability. Springer-Verlag, Berlin, p 261-285
14. Dalerum, F. & Angerbjorn, A. (2005) Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, 144, 647–658.
15. del Hoyo et al 1992. Manual de las Aves del Mundo, vol. 1: Avestruz a patos. Lynx Edicions, Barcelona, España.
16. DeNiro M, Epstein S 1978 Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 42: 495-506
17. DeNiro, M.J. & Epstein, S. 1981 Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 341–351.
18. Donald L. Phillips & Jillian W. Gregg. 2001 Uncertainty in source partitioning using stable isotopes. *Oecologia* (2001) 127:171–179
19. Donald L. Phillips & Seth D. Newsome & Jillian W. Gregg. 2005. Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods. *Oecologia* (2005) 144: 520–527
20. Duarte, C. (ed.). 2007. Impactos del calentamiento global sobre los ecosistemas polares. 2. ¿Es el declive del krill antártico resultado del calentamiento global del exterminio de las ballenas? Por Smetacek, V.
21. Dunton KH, 2001 $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Measurements of Antarctic Peninsula Fauna: Trophic Relationships and Assimilation of Benthic Seaweeds. *Oxford Journals. Life Sciences. Integrative and Comparative Biology. Volume 41, Issue 1. Pp. 99-112*
22. Ferron, Simoes, Aquino & Setzer 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira* (2004) 4: 155-169
23. Forero, M., Hobson, K. 2003. Using stable isotopes of nitrogen and carbon to study seabird ecology: applications in the Mediterranean seabird community. *Scientia Marina*. 67 (S2): 23-32.
24. Gannes Leonard; O'Brien Diane and Martínez del Río Carlos. 1997. Stable Isotopes in Animal Ecology: Assumptions, Caveats, and a Call for More Laboratory Experiments. *Ecology*, Vol. 78, No. 4, pp. 1271-1276.
25. Gladbach A., McGill R. & Quillfeldt P. 2007. Foraging areas of Wilson's storm-petrel *Oceanites oceanicus* in the breeding and inter-breeding period determined by stable isotope analysis. *Polar Biology. Volume 30, Number 8, 1005-1012*
26. Hahn S. 1998. The food and chick feeding of blackbellied stormpetrel (*Fregatta tropica*) at King George Island, South Shetlands. *Polar Biol* (1998) 19: 354±357

27. Harrigan, P., Zieman, J., Macko, S. 1989. The base of nutritional support for the gray snapper (*Lutjanus griseus*): An evaluation based on combined stomach content and stable isotope analysis. *Bulletin of Marine Science*. 44: 65-77.
28. Hartmann, D.L., Wallace, J., Limpasuvan, V., Thompson, D., Holton, J. 2000. Can ozone depletion and global warming interact to produce rapid climate change?. *Proc Nat Acad Sci USA* 97(4):1412-1417
29. Hobson K.A. and R.G. Clark. 1992. Assessing avian diets using stable isotopes: I. Turnover of ¹³C in tissues. *Condor* 94: 181-188.
30. Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends Ecol. Evol.* 15(2):56-61
31. Hulley PA 1981. Results of the research cruises of FRV Walther Herwig' to South America. LVIII. Family Myctophidae (Osteichthyes, Myctophiformes). *Arch Fish Wiss* 31: 1-300
32. Inger, R., Bearhop, S. 2008. Applications of stable isotope analyses to avian ecology. *Ibis* 150: 447-461.
33. Kaehler S, Pakhomov E. A., McQuaid C.D. 2000. Trophic structure of the marine food web at the Prince Edward Islands (Southern Ocean) determined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Mar Ecol Prog Ser*. Vol. 208: 13-20
34. Lancraft et al 1989. Micronekton and macrozooplankton in the open waters near Antarctic ice edge zones (AMERIEZ 1983 and 1986). *Polar Biol* 9: 225-233
35. Linkowski 1987. Age and growth of four species of *Electrona* (Teleostei: Myctophidae). In: Kullander SO, L'ernholm B (eds). *Proceedings of V Congress of European Ichthyologist. Congressus Europacus Ichthyologorum 1985*. Swedish Museum of Natural History. Stockholm. Pp435-442
36. Martínez del Río, C. & Wolf, B.O. (2005) Mass balance models for animal isotopic ecology. *Physiological Consequences of Feeding* (eds M.A. Starck & T. Wang), pp. 141-174. Science Publishers, Enfield, New Hampshire.
37. Martínez del Río, C., Wolf, N., Carleton, S., Gannes, L. 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*. 84 (1): 91-111
38. Martínez del Río, Sabat, Anderson-Sprecher and Gonzalez 2009. Dietary and isotopic specialization: the isotopic niche of three Cinclodes ovenbirds. *Oecologia*, Volume 161, Number 1, 149-159
39. McGinnis RI 1982. Biogeography of lanternfishes (Myctophidea) south of 30°S. *Antarctic Res Ser* 35: 1-110

40. Montalti D. 2005. Morfología y Biología. Reproductiva de las especies del género *Cataracta* (Aves, Stercorariidae) de la Antártida. Tesis Doctoral, facultad de Ciencias Nsturales y Museo, U.N.L.P.
41. Negrete P, Perona F, Sabat P and Sallaberry M. 2011. Tesis de Pregrado. “Variación temporal en la composición isotópica de las especies del género *Pygoscelis* (Orden: Sphenisciformes) de Isla Ardley, Shetland del Sur. Antártica: Inferencias de los efectos del cambio climático sobre los hábitos alimentarios.” Facultad de Ciencias. Universidad de Chile
42. Nyssen F. 2005. Role of benthic amphipods in Antarctic trophodynamics: a multidisciplinary study. pp. 72-104 (PhD Thesis. Universite de Liege. Faculté des Sciences: Liège. 271 pp)
43. Nyssen F., Brey T., Dauby P., Graeve M. 2005. Trophic position of Antarctic amphipods enhanced analysis by a 2-dimensional biomarker assay *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 300: 135-145
44. Oatley, T.B. 1989. Antarctic and Sub-Antarctic seabird banding, July 1985-June 1886. *Cormorant* 17: 35-40
45. Parmesan, C., Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37 – 42.
46. Peter Hans-Ulrich et al. 2008. Risk assessment for the Fildes Peninsula and Ardley Island, and development of management plans for their designation as specially protected or specially managed areas. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt)
47. Phillips & Gregg 2003. Source partitioning using stable isotopes: Coping with too many source. *Oecología* 136: 261-269
48. Quillfeldt 2002. Begging in the absence of sibling competition in Wilson’s storm-petrels, *Oceanites oceanicus*. *Animal Behaviour*, 2002, 64, 579–587
49. Quillfeldt 2005. Diet and foraging áreas of Southern Ocean seabirds and their prey inferred from stable isotopes: review and case study of Wilson’s storm-petrel. *Mar Ecol Prog Ser.* Vol. 295: 295 – 304
50. Quillfeldt 2010. Plasticity versus repeatability in seabird migratory behaviour. *Behav Ecol Sociobiol.* DOI 10.1007/s00265-010-0931-2
51. RCTA XXXII 2009 (Trigésima segunda Reunión Consultiva del Tratado Antártico). Baltimore. Estados Unidos. Medida 9: Plan de gestión revisado de la ZAEP N° 150 (isla Ardley, bahía Maxwell, isla Rey Jorge [isla 25 de Mayo]).
52. Reglamento DS N° 05/1998 del Ministerio de Agricultura. Ley N° 19.473/1996 Ley de caza.

53. Revised Management Plan for Antarctic Specially Protected Area No. 150 Ardley Island, Maxwell Bay, King George Island.
54. Ridoux V. & C. Offredo 1989. The diets of five summer breeding seabirds in Adelie land, Antarctica. *Polar Biology* 9: 137-146
55. Ridoux V. 1994. The diets and dietary segregation of seabirds at the subantarctic Crozet Islands. *Marine Ornithology* 22, 1-192
56. Roberts 1940. The Life Cycle of Wilson's Petrel, *Oceanites oceanicus* (Kuhl). British Graham Land Expedition 1934-1937. Scientific reports. Volume I, No 2, pp141-194
57. Roby, D., Sallaberry, M., Brink, N. 1986. Nota sobre nidificación de Petreles (Procellariiformes) en Isla Ardley, Shetland del Sur.
58. Rowedder U 1979. Feeding ecology of *Electrona Antarctica* (Günther 1878)(Teleostei). *Meeresforsch Rep mar Res* 27 (Sdbd): 252-263
59. Rubenstein, D. R. and K. A. Hobson. 2004. From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in Ecology & Evolution*, 19:256–263.
60. Sabat, P., Martínez del Río, C. 2002. Inter- and intraspecific variation in the use of marine food resources by three Cinclodes (Furnariidae, Aves) species: carbon isotopes and osmoregulatory physiology. *Zoology*. 105: 247-256.
61. Sallaberry, M., Valencia, J., Pincheira, B. Lazzaro, H. 1987. Results of the Chilean Antarctic seabird banding program: Recoveries data from the South Shetland Islands. *Ser. Cient. INACH* 36: 157-165
62. Shepherd A, Wingham D. 2007. Recent sea-level contributions of the Antarctic and Greenland ice sheets. *Science* 315: 1529-1532.
63. Squeo F., Ehleringer, J. 2004. Isótopos estables: Una herramienta común para la ecofisiología vegetal y animal. In *Fisiología Ecológica en Plantas: Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas*. Marino H ed. Ediciones de la Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. p. 59-80.
64. Thompson, D., Furness, R. 1995. Stable isotope ratios of carbon and nitrogen in feathers indicate seasonal dietary shifts in Northern fulmars. *Auk*. 112: 493-498.
65. Todd, S., Ostrom, P., Lien, J., Abrajano, J. 1997. Use of biopsy samples of humpback whale (*Megaptera novaengliae*) skin for stable isotope ($\delta^{13}C$) determination. *Journal of Northwest Atlantic Fisheries Science*. 22: 71-76.
66. Turner et al 2005. Antarctic Climate Change During the last 50 Years. *International Journal of Climatology*. 25: 279–294
67. Valencia, J., Sallaberry, M. 1983. Censo de pingüinos en isla Ardley (Shetland del Sur). *INACH Ser. Cient.* 30: 93-96.

68. Vander Zanden M., Cabana, G., Rasmussen, J. 1997. Comparing the trophic position of litoral fish estimated using stable nitrogen isotopes ($\delta^{15}\text{N}$) and dietary data. Canadian Journal of fisheries and aquatic sciences. 54: 1142-1158.
69. Wada E, Terazaki M, Kabaya Y, Nemoto T. 1987. ^{15}N and ^{13}C abundances in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers, 34 (5-6), pp. 829-841
70. Warham, J. 1990: The Petrels: Their Ecology and Breeding Systems. Academic Press, London.
71. Wasilewski A. 1986. Ecological aspects of the breeding cycle in the Wilson's storm petre, *Oceanites oceanicus* (Kuhl), at King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). Pol. Polar res. 7:173-216
72. West JB, Bowen GJ, Cerling TE, Ehleringer JR (2006) Stable isotopes as one of nature's ecological recorders. Trends in Ecology & Evolution, 21, 408–414.
73. Wilson RP 1984. An improved stomach pump for penguins and other seabirds. J Field Ornithol 55: 109-112

8. ANEXOS

Registros Dietarios

En la literatura encontramos las siguientes tablas que estudian las dietas de ambas especies:

Oceanites oceanicus:

Former studies of the diet of Wilson's storm-petrels, methods for sample collection and results in frequency of occurrence in percent of samples (%F) or percent by mass (%M). The krill species recorded were: *E. sup.* (*Euphausia superba*), *E. cry.* (*Euphausia crystallorophias*), *E. adl.* (*Euphausia adeliae*), *E. mc.* (*Euphausia muelleri*), *E. rig.* (*Euphausia riggsi*) and *Thys.* (*Thysanoessa* sp.)

Time	Location	Method	Fish	Krill	Amphipods	Others	Reference
March 1983	Bird Island, South Georgia	Midnet regurgitation (n=31)	42% F, 28% M (all myctophids)	51% M (<i>E. sup.</i> 51% F, <i>E. mc.</i> 47% F, <i>E. cry.</i> 2% F, <i>Thys.</i> sp. 22% F)	44% M (mainly <i>Thomaria gaudichaudii</i>)	Copepods, cirripeds, mysids	Croxall and North (1988), Croxall et al. (1988)
Jan-Feb 1983	Berapart Point, Anvers Island	Regurgitation		35% M, 98% F			Obit (1985)
Jan-Feb 1982	Pointe Geologic, Adèle Land	Nest captures regurgitation (n=7)	57% F, 39% M (not determined)	80% F, 37% M (<i>E. cry.</i>)	5% M, Hyspanidae 43% F, Gammaridae 57% F		Ridout and Olfredo (1989)
Jan-Feb 1982	Croxall Islands	Midnet regurgitation (n=15)	20% F, 12% M (larval fish)	54% M (<i>E. adl.</i> 53% F, <i>E. cry.</i> 7% F, <i>Thys.</i> sp. 20% F)	15% M	Copepods (26% F, 3% M), cirripeds (67% F, 12% M), mysids, gastropods, chaetognaths, hydrozoa	Ridout (1994)
Dec 1979-Feb 1980	King George Island, South Shetlands	Midnet regurgitation (n=82)	1% F (larval fish)	96% F (<i>E. sup.</i> 78% F, <i>E. cry.</i> 6% F)	4% F		Wasieleski (1986)
Feb-Mar 1980	King George Island, South Shetlands	Checks regurgitation (n=21)		100% F			Wasieleski (1986)
1977-1980	Ross Sea	Midnet at sea, stomachs (n=28)	7% F (mainly <i>Nezumacanthus antarcticus</i>)	61% F (<i>E. sup.</i>)	21% F (<i>Lysianassoidea</i>)	50% F amphipods	Ainley et al. (1984)

Estudios en dieta de *O. oceanicus*, método de obtención de muestras, frecuencia en ocurrencias de porcentajes (%F) o porcentaje de masa (%M), tabla obtenida de Quillfeldt 2002.

Year	Crustaceans	Krill	Amphipods	Fish	n
1996	81.0%	64.3%	6.0%	33.3%	84
1999	91.0%	78.7%	30.3%	20.2%	89
2000	83.2%	77.0%	12.2%	36.2%	196

Prevalencia de ítems de comida (frecuencia de ocurrencia) en la dieta del petrel de Wilson (*O. oceanicus*) en 3 años distintos. (Quillfeldt 2002)

Fregetta tropica

Seasonal variation of the food of blackbelly storm petrel investigated by regurgitate samples (R) and stomach flushing samples (SF); percent occurrence (%) is given in respect to the total samples; main prey in **bold type**

Period	Prelaying		Incubation		Hatching		Total		Occurrence (%)	
	R	SF	R	SF	R	SF	R	SF	R	SF
Sample number	18	23	30	69	27	82	75	174	100	100
Without solid part	3	17	6	56	6	33	15	86	20	49.4
With solid part	15	6	24	33	21	49	60	88	80	50.6
Fish	6	2	16	11	10	14	32	27	53.3	30.7
Crustaceans	9	1	11	13	10	14	30	28	50	31.8
Euphausiids	4	-	3	-	6	-	13	-	21.7	-
Amphipods	3	-	-	-	2	-	5	-	8.3	-
Mysids	0	-	-	-	1	-	1	-	1.7	-
Unidentified	2	1	8	13	1	14	11	28	18.3	31.8
Cephalopods	-	-	-	-	1	-	1	-	1.7	-
Unidentified items	2	3	2	13	1	25	5	41	8.3	46.6

Variación estacional de la comida de *F. tropica* investigada por regurgitación (R), fluidos estomacales (SF) y porcentaje de ocurrencia (%) dado en respecto a los ejemplos totales. Datos obtenidos de S. Hahn 1998.

Anexos de Datos

ANEXO B. Valores isotópicos para presas de *F. tropica* y *O. oceanicus* obtenidos en la literatura y en la campaña de terreno de 2009-2010. Se referencia la fuente en cada caso.

*El término Amphipoda corresponde a clase no a familia, ya que el dato corresponde a Amfípodos spp.

Predador	Presa	Familia	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Bibliografía
<i>Oceanites oceanicus</i>	<i>Euphausia superba</i>	Euphausiidae	-26,39	5,07	Este trabajo
	<i>Electrona Antártica</i>	Myctophidae	-27,1	7.5	Wada 1987
	<i>Eurythenes Gryllus</i>	Lysianassidae	-27.3 ± 1.1	8.5 ± 0.5	After Nyssen F, Brey T, Dauby P, Graeve M (2005)
	<i>Pleuragramma antarcticum</i>	Nototheniidae	-24.7 ± 0.4	10.6 ± 0.3	Cherel 2008
	<i>Thermisto gaudichaudii</i>	Hyperiididae	-25.5	4.5	Cherel 2002
<i>Fregetta tropica</i>	<i>Euphausia superba</i>	Euphausiidae	-26,39	5,07	Este trabajo
	<i>Electrona antarcticus</i>	Myctophidae	-27.1	7.5	Wada 1987
	<i>Eurythenes gryllus</i>	Lysianassidae	-27.3 ± 1.1	8.5 ± 0.5	After Nyssen F, Brey T, Dauby P, Graeve M (2005)
	<i>Chorismus antarcticus</i>	Hippolytidae	-24.0 ± 1.8	7.4 ± 1.3	Nyssen 2005
	<i>Amphipods spp</i>	Amphipoda*	-18 ± 0.5	1 ± 1	Kaehler 2000

ANEXO A

i. Valores de isótopos para *Fregetta tropica* (expresados en partes por millón). Se incluye además la ubicación en donde se colectó la muestra y el año de crecimiento del tejido (en todos los casos los valores provienen de análisis de plumas).

Especie	Año crecimiento del tejido	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Ubicación geográfica	Localización exacta
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-16,631	14,875	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-17,219	15,668	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-17,276	15,061	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-16,525	16,663	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-16,508	15,171	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-16,666	15,436	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1923	-15,964	14,736	South Shetland	Deception Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-18,377	14,874	South Shetland	Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1959	-16,886	15,281	South Shetland	N.W. Coast, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-16,496	14,581	South Shetland	N.W. Barclay Bay, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-20,575	12,975	South Shetland	Butlers Cave, Barclay Bay, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-16,519	14,061	South Shetland	Plymouth Bay, West Coast, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-18,097	14,989	South Shetland	Barclay Bay, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-22,661	12,378	South Shetland	Barclay Bay, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1958	-17,626	14,618	South Shetland	N.W. Barclay Bay, Livingston Island
<i>Fregetta tropica</i>	1994	-16,438	14,518	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta tropica</i>	1994	-15,768	14,282	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta tropica</i>	2009	-17,429	14,635	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta tropica</i>	2009	-17,395	14,873	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta tropica</i>	2009	-18,539	14,951	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta tropica</i>	2009	-17,219	15,151	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta</i>	2009	-18,201	12,795	South Shetland	King George Island

<i>tropica</i>					
<i>Fregetta tropica</i>	2009	-22,688	11,073	South Shetland	King George Island
<i>Fregetta tropica</i>	2009	-17,076	15,165	South Shetland	King George Island

ii. Valores de isotopos para *Oceanites oceanicus* (expresados en partes por millón). Se incluye además la ubicación en donde se colecto la muestra y el año de crecimiento del tejido (en todos los casos los valores isotópicos provienen del análisis de plumas).

Especie	Año crecimiento del tejido	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Ubicación geográfica	Localización exacta
<i>Oceanites oceanicus</i>	1957	-17,901	13,376	Antarctica	<i>No se describe una zona específica</i>
<i>Oceanites oceanicus</i>	1957	-17,333	14,067	Antarctica	<i>No se describe una zona específica</i>
<i>Oceanites oceanicus</i>	1921	-17,791	13,397	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1921	-18,681	14,493	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1921	-18,567	14,775	South Shetland	Wilhelmina Bay
<i>Oceanites oceanicus</i>	1921	-18,974	15,823	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1920	-16,673	13,097	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1920	-18,786	14,268	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1914	-18,059	15,699	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1920	-17,912	12,736	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1920	-17,972	14,674	South Shetland	Deception Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1934	-18,845	13,853	South Shetland	Yankee Harbour
<i>Oceanites oceanicus</i>	1959	-17,681	15,122	South Shetland	Barclay Bay, Livingston Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1959	-17,683	14,986	South Shetland	Barclay Bay, Livingston Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1959	-18,642	15,194	South Shetland	Barclay Bay, Livingston Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	1959	-18,640	14,383	South Shetland	Barclay Bay, Livingston Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,035	13,185	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,484	13,694	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites</i>	2009	-19,311	14,039	South Shetland	King George Island

<i>oceanicus</i>					
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-20,009	13,349	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,816	14,095	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,884	13,208	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-20,064	14,358	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-18,898	13,499	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-18,898	13,646	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,390	14,041	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-17,787	14,600	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,444	16,326	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,835	14,023	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,133	14,160	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,515	14,957	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,653	13,658	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-18,904	14,726	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,214	14,551	South Shetland	King George Island
<i>Oceanites oceanicus</i>	2009	-19,200	14,968	South Shetland	King George Island