



Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias  
Escuela de Biología Marina

**PROFESOR PATROCINANTE:  
DR. ROBERTO SCHLATTER  
INSTITUTO DE ZOOLOGÍA  
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

**PROFESOR CO-PATROCINANTE  
MS CS. HERNÁN DÍAZ M.  
UNIVERSIDAD DE CHILE  
DR. (C) UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE**

**“ Dimetil sulfuro como señal olfativa:  
Un experimento con el pingüino de Humboldt  
en la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt,  
III Región, Chile”**

Tesis de Grado presentada como  
parte de los requisitos para optar al  
**Título de Biólogo Marino.**

**JUAN GERARDO HARRIES MUÑOZ**

**VALDIVIA – CHILE**

**2004**

*A mis Padres y Hermanos*  
*A mis Hermanos Bunkerianos*  
*A mi chiquitita*

Quisiera comenzar estos agradecimientos a quienes han esperado pacientemente y con mucho esfuerzo la finalización de mi carrera. A quienes confiaron y apoyaron mi decisión de venir a Valdivia a estudiar. A los que en el día de mi partida desde Santiago no pudieron aguantar las ganas de subir al bus, a quienes me motivaron, sin querer, a conocer el mar. Por todo esto y mucho mas quisiera agradecer a toda mi familia, Danny, Ely, Hernán, Papá y Mamá (sin olvidar a la tuga y a la perlita) por todo el apoyo que he sentido, y que seguiré sintiendo en cualquier parte que esté.

Solo falta que ustedes me den las gracias, por no llegar a contratar un abogado a salir de aquí.....Gracias por la paciencia!!!

El Gera.

Le toca el turno al Juan...

Al concluir mi tesis, quisiera agradecer muy sinceramente a mi profesor patrocinante Don Roberto Schlatter, quien financió y me dio la oportunidad de desarrollar mi propio proyecto de tesis, el cual genero una preocupación mucho mayor por parte mía. También le agradezco el haberme dejado errar, para que a porrazo limpio haya logrado aprender la elaboración de un proyecto y la aplicación de metodologías de estudio.

A mi profesor co-patrocinante Don Hernán Díaz por también financiar a través de la Sociedad Planeta Vivo el proyecto y apoyar con la logística en terreno de todo el proceso de experimentación. También agradezco toda la ayuda entregada en la elaboración de esta tesis. Muchas Gracias.

A mi profesor informante que a pesar de el poco tiempo trabajado colaboró activamente en el orden de la tesis y me convirtió en un conejillo de Indias, aplicando un criterio lejano y quizás errado experimentado en nuestra Universidad.

Al profesor Don Carlos Cabezas y su laboratorio de química quien guió la manipulación del dimetil sulfuro.

Al profesor Don Humberto González, quien debí seguir su consejo y esperar aplicar esta tesis en un Doctorado.

Muy agradecido de recibir la ayuda de las Doctoras Gabrielle Nevitt y Patricia Matrai, que desde el Hemisferio Norte aportaron las bases fundamentales para la puesta en marcha de esta tesis. También gracias por el apoyo y la preocupación por compartir los detalles de las metodologías utilizadas y los protocolos de manipulación del dimetil sulfuro.

También quisiera agradecer al Dr. Guillermo Luna-Jorquera que facilito y aconsejo las logísticas a utilizar en terreno, además de todo el conocimiento entregado sobre el pingüino de Humboldt.

A Alejandro Simeone quien siempre respondió a mis consultas y que mediante mi profesor patrocinante me hizo llegar literatura muy importante en esta tesis.

No puedo olvidar a quien siempre me ayudó de una forma u otra a alivianar mi paso por la Universidad. A Usted Señora Rosita, muchas gracias por toda la ayuda entregada.

Aquí es donde entra mi promo....

Pero mas que mi promo mi familia y agradezco a cada uno de ellos en especial a aquellos que me apoyaron en mi tesis dándome animo y mostrando interés en el tema.

Muchas gracias hermanita Caro, Pancho, Chelo, Danny, Lolo, Ely (aunque estés lejos), Vero, Angélica, a todos ustedes con quienes la mayoría he compartido el mismo techo y nos reunimos alrededor de unos cachos y chanchos.....gracias por confiar en mi.

A Ustedes también Chilote, Chulon, Ulises, Chano, Calambre, gracias por todos los momentos compartidos, humor, carretes y confianza compartida.

Gracias por la hermandad por la unión, la confianza y por todo el tiempo que compartimos juntos, a ustedes Elías, Keno, Tote, no olvidare todo los momentos compartidos.

Gracias a todo el Bunker y sus geishas en donde conocí a grandes amigos, Gusti, Mauro, Claudio, Pato puñala, Pelao, Margarita, Gina, inolvidables noches de truco y chalchaleros, corderos y chelas.....Quiero!!

Mucha gente se me queda en el tintero, pido disculpas...

Prima Paula! Gracias por todas las preocupaciones que junto a Elías nos han dado, gracias por la compañía.....Suerte a los dos!!

Muchas gracias a todo el equipo que trabajo en terreno desarrollando esta tesis, especialmente a la colaboración de Javiera Castro y Daniel Harries a Sociedad Planeta Vivo por el apoyo logístico, a los pescadores de Caleta Chañaral, en especial la colaboración de Patricio Ortiz (el Pato), y a CONAF por haber permitido realizar esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a la inspiración en esta tesis, a quien me ayudó a ponerme de pie, a quien continuamente me entrego su apoyo, su confianza, su amistad, su amor. A mi chiquitita, Bárbara, te agradezco el haber aparecido en mi vida, y quedarte con ella. También te agradezco por la ayuda entregada para terminar mi tesis y por las noches de mucho sueño en preparar mi presentación. ....muchas gracias....

Nuevamente Muchísimas gracias a todos!!!

Ah! Tote, Keno.....terminen!!! H.C.L

Juan Gerardo Harries Muñoz.

## INDICE

<b>1.</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
	<b>SUMMARY.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
	<b>2.1 Fundamento y formulación del problema.....</b>	<b>11</b>
	<b>2.2 Hipótesis.....</b>	<b>13</b>
	<b>2.3 Objetivo general.....</b>	<b>14</b>
	<b>2.4 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
	<b>3.1 Área de estudio.....</b>	<b>15</b>
	<b>3.1.1 Distancia y camuflaje.....</b>	<b>21</b>
	<b>3.1.2 Tipo de playas.....</b>	<b>22</b>
	<b>3.1.2.1 Playa Pingüino.....</b>	<b>23</b>
	<b>3.1.2.2 Playa Ventana.....</b>	<b>24</b>
	<b>3.1.2.3 Playa Chica.....</b>	<b>25</b>
	<b>3.1.3 Número de pingüinos.....</b>	<b>26</b>
	<b>3.2 Material olfativo.....</b>	<b>27</b>
	<b>3.3 Equipo de trabajo.....</b>	<b>28</b>
	<b>3.4 Método utilizado para la inyección del DMS en el mar.....</b>	<b>29</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>38</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>55</b>
	<b>8.1 Características de la especie.....</b>	<b>55</b>
	<b>8.2 Hábitat y rango de distribución.....</b>	<b>55</b>
	<b>8.3 Dieta.....</b>	<b>55</b>
	<b>8.4 Reproducción.....</b>	<b>56</b>
	<b>8.5 Estatus.....</b>	<b>56</b>
	<b>8.6 Población.....</b>	<b>57</b>

## INDICE TABLAS Y FIGURAS

### FIGURAS:

<b>Figura 1.-</b>	<b>Uso de señales olfatorias en aves.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 2.-</b>	<b>Diagrama producción DMS.....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 3.-</b>	<b>Mapa Isla Chañaral.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4.-</b>	<b>Fotografía isla Chañaral.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5.-</b>	<b>Acantilados, isla Chañaral.....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 6 a.-</b>	<b>Esmeraldano.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 6 b.-</b>	<b>Copao.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 7.-</b>	<b>Nido de pingüinos.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 8.-</b>	<b>Campamento base, acceso isla Chañaral.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 9.-</b>	<b>Lugar de observación (Blind).....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 10.-</b>	<b>Playa Pingüino.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 11.-</b>	<b>Playa Ventana.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 12.-</b>	<b>Playa Chica.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 13.-</b>	<b>Gráfico, subidas y bajadas de los pingüinos.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 14.-</b>	<b>Gráfico, ida y retorno al mar.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 15.-</b>	<b>Grafico, comparación conducta normal / DMS.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 16.-</b>	<b>Gráfico, medias de la conducta de ida (normal / DMS).....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 17.-</b>	<b>Patrón de circulación oceánica global (surgencias).....</b>	<b>57</b>

### TABLAS:

<b>Tabla 1.-</b>	<b>Estrategias de forrajeo.....</b>	<b>4</b>
<b>Tabla 2.-</b>	<b>Totales promedios, playas observadas.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 3.-</b>	<b>Análisis estadístico. Test de Mann-Whitney.....</b>	<b>36</b>

## RESUMEN

Durante Febrero del 2003, en isla Chañaral III Región, Chile, se propuso evaluar si el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) reconoce el dimetil sulfuro (DMS) como una clave de orientación hacia lugares de alta productividad en el mar. El DMS es un compuesto sulfurado de origen natural que se produce principalmente por la lisis celular del fitoplancton.

Para evaluar esta hipótesis, se expuso a individuos de pingüinos de Humboldt ubicados a la orilla de la playa, a la esencia de DMS. Los parámetros observados en la playa, fueron registrados según el tipo de desplazamiento que normalmente realizan los pingüinos en tierra. Aquellos parámetros fueron: si bajan a la playa (Bajan), si suben de la playa a la colonia (Suben), si se van al mar (Ida) y si vuelven del mar (Retorno).

Estos resultados comparados con un registro previo de la conducta normal de los pingüinos, arrojó diferencias significativas en solo la "ida", siendo este el parámetro que más puede explicar una conducta de forrajeo. De acuerdo a este resultado se concluye que el DMS puede estar jugando un rol importante en la orientación de los pingüinos para ubicar áreas de alta producción primaria.

Junto con estos resultados, se propone una nueva metodología que considera factores físicos tales como temperatura ambiental, dirección y velocidad del viento, aumento del tiempo experimental, que servirá para obtener un contraste más amplio entre las comparaciones.

## SUMMARY

During February 2003 we studied on Chañaral island (III Region Chile) if the Humboldt penguin population there do recognizes Dimethyl sulfide (DMS) as an orientation/navigation clues for sites with higher productivity offshore. DMS is a sulfate compound of natural origin which is produced by cellular phytoplankton lyses.

To evaluate our hypothesis we exposed penguins on sea shore to DMS essence. Parameters observed on the shore where registered according to movement types which birds normally perform in that habitat on land. Those parameters were: when going down to the shore (going down), when climbing up to the breeding colony (going up), when going offshore (going) or when returning from the sea (return).

Our results compared with previous registered normal behavior did give significant differences only for going, being these parameters the one which at best can explain foraging behavior. According to this result we conclude that DMS may be having an important role for the orientation of penguins to locate areas at sea with higher primary production.

Together with this result we propose a new methodology which considers physical factors like environmental temperature, wind direction and speed, increase the experimental timing and thus help to get better contrasting figures for comparisons.



## 2 INTRODUCCIÓN

Para las aves marinas ubicar el alimento en alta mar no es una tarea fácil, las presas suelen ser pequeñas y dispersas. Para lograr con éxito esta tarea se deben conjugar una serie de características, tanto en el mar como de la propia ave. Mientras más desarrolladas sean las habilidades del ave y más evidentes las señales que el mar le ofrece, la probabilidad de una captura exitosa es mayor.

A lo largo de la evolución las aves han desarrollado diversos métodos para la búsqueda y captura de presas (Tabla 1).

Aves con un radio mayor de envergadura como los albatros, dependen de vientos fuertes para emprender el vuelo y localizar las áreas de alimentación. Una vez localizada el área, las presas son capturadas en la superficie (Schreiber, 2002; Ballance *et al.*, 2001). Por el contrario, aves de envergadura menor como pequeños petreles, poseen más habilidad para agitar las alas y emprender el vuelo, la captura se realiza tanto en la superficie como a profundidad, inclusive llegando a la persecución de peces (Schreiber, 2002). Las familias Alcidae y Pelecanoididae han desarrollado sus alas para alcanzar mayor profundidad en sus buceos, aún más, la familia Spheniscidae y algunos representantes de la familia Phalacrocoracidae han desarrollado el buceo y la captura de las presas para este grupo de aves se realiza por persecución o colecta de invertebrados en el fondo del mar (Stonehouse, 1975, Hennemann, 1984).

Dentro de las estrategias más comunes (Tabla 1) se encuentran la persecución durante el buceo, la captura en superficie, la inmersión, el pataleo en superficie, la zambullida con buceo, el cleptoparasitismo y el carroñerismo (Schreiber, 2002).

Familia	Persecución y buceo	Captura en superficie	Inmersión	Pataleo en superficie	Zambullida con buceo	Cleptoparasitismo	Carroñerismo
Spheniscidae	X						
Diomedidae		X				X	
Procellariidae	X	X	X	X		X	X
Oceanitidae		X	X	X			
Pelecanoididae	X						
Phaethontidae					X		
Pelecanidae		X			X	X	
Sulidae	X				X		
Phalacrocoracidae	X						
Fregatidae			X			X	
Chionidae						X	X
Stercorariidae			X			X	X
Laridae (Gaviotas)		X	X			X	X
Laridae (Golondrinas)			X		X	X	
Alcidae	X						

**Tabla 1.-** Estrategias mas comunes usadas para el forrajeo en 14 familias de aves marinas (Schreiber, 2002)

Si bien las aves marinas han desarrollado variadas estrategias de captura de las presas, la localización de las áreas de alimentación requiere una identificación de los patrones de circulación oceánica global. Estos patrones se encuentran caracterizados por una diversidad de factores tales como: temperatura, salinidad, corrientes, áreas de alta producción, áreas convergencias,

los cuales delimitan la distribución de las aves marinas en el mundo (Ballance *et al.*, 2001).

Para reconocer patrones los cuales indiquen la presencia de alimento, las aves marinas deben distinguir cuales de estos patrones les ofrece una señal más clara. Esta asociación que el ave marina debe hacer, lo logra a través del aprendizaje o bien de manera innata.

El aprendizaje en aves marinas se puede desarrollar principalmente bajo las categorías de la habituación y condicionamiento (Nevitt 2004a). Por ejemplo, un ave marina puede asociar grandes grupos de aves en altamar con la presencia de alimento, siempre y cuando este grupo de aves refuerce el estímulo a través de conductas propias de un forrajeo, o puede asociarse a conductas de alimentación en mamíferos marinos, ambos ejemplos de aprendizajes se realizan a través del sentido de la vista (Nevitt 2004a).

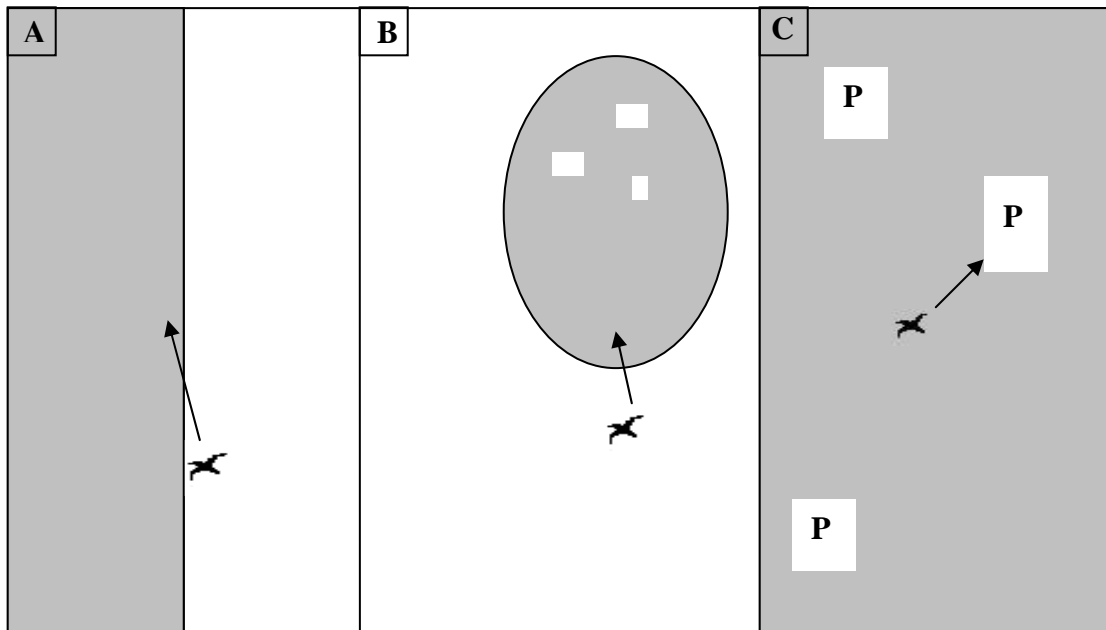
El olfato en algunas aves marinas es de primordial importancia en el aprendizaje. Se ha comprobado que puede ser utilizado tanto para volver a su propia área de nidificación (imprinting) (Nevitt 2004b), como para el reconocimiento de señales olfatorias provenientes de sitios con una alta concentración de recursos alimenticios (Nevitt, 2003).

Existe evidencia de que señales olfatorias juegan un rol en la orientación y en la navegación de palomas, pichones y presumiblemente en otras especies de aves (Walraff, 1981).

Según Nevitt (2000) las aves pueden usar las señales olfatorias de tres maneras (Fig. 1):

1. A gran escala (Fig. 1-A), quiebres continentales u otras características batimétricas pueden entregar señales olfatorias que proveen información hacia donde volar.
2. A meso escala (Fig. 1-B), las señales olfatorias pueden indicar un área de alta productividad con diferentes parches de presas.
3. A micro escala (Fig. 1-C), las aves pueden rastrear las presas usando el olfato y probablemente agudizan su conducta de forrajeo utilizando señales visuales.

Según Bang (1971) y Healy & Guilford (1990), las aves marinas con un importante desarrollo del sistema olfativo son: Petrel de las nieves (*Pagodroma nivea*), Petrel de las tormentas (*Oceanodroma leucorhoa*), Petrel de Wilson (*Oceanites oceanicus*), Fardela pacífica (*Puffinus pacificus*), Fardela capirotada (*Puffinus gravis*) y Albatros (*Diomedea nigripes*).



**Figura 1.-** Tres formas en que las aves marinas pueden utilizar señales olfatorias. (A) A gran escala, las señales olfatorias pueden indicar cual es la dirección en que se encuentran las mayores concentraciones de recursos (B) A meso escala, el olfato guía al ave a las zonas de alta producción. (C) A pequeña escala, usa el olfato para rastrear los parches de presa. Para cada diagrama la señal olfatoria esta pintada en gris. En B y en C los cuadrados blancos representan parches de presa (según Nevitt 1995).

Las aves marinas también han reconocido que existen otras señales no ambientales que pueden indicar una fácil captura de alimento. La actividad pesquera proporciona alimento a través de la carnada que es arrojada, los peces que son capturados y por los desperdicios que estas embarcaciones arrojan. Esta conducta aprendida es la más peligrosa para el ave, ya que, continuamente se

registran enmallamientos y enganches en las artes de pescas, provocando muchas muertes de aves (CCAMLR 1996).

En Chile el enmallamiento y enganche se ha descrito en el sur principalmente para la familia Procellariiformes, en la zona norte y central de Chile el pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*), lile (*Phalacrocorax gaimardi*) y guanay (*P. bougainvillii*) registran a menudo enmallamientos en redes. Sin embargo, el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) registra la tasa mas alta de mortalidad incidental a causa de los enmallamientos (Simeone *et al.*, 1999).

La distribución del pingüino de Humboldt concuerda con los parámetros de circulación oceánica global (Anexo 1), abarcando toda una franja de permanentes surgencias costeras localizadas en el lado Sur del Pacifico (Culik and Luna-Jorquera, 1997b; Pagès *et al.*, 2001). Esta zona abundante en nutrientes es altamente explotada económicamente, esto no solo significa peligro de muerte incidental, sino de competencia por los mismos recursos para todas las especies que habitan en esta zona que corresponde a la corriente de Humboldt.

El pingüino de Humboldt y en general toda la familia Spheniscidae durante el periodo de crianza tienden a ubicarse cerca a las áreas de forrajeo, debido a que los pollos son alimentados en el sitio de anidación y los adultos están forzados a forrajear en áreas relativamente cercanas a la colonia (Culik, 2001, Simeone 2002). Por ejemplo, durante la misma época de crianza el 90% de la población de pingüino de Humboldt se encuentra en un radio de 35 km. de su colonia (Culik, 2001).

El pingüino de Humboldt, tiende a ser sedentario quedándose cerca de a sus lugares de crianza todo el año (Croxall and Davis, 1999).

La población de pingüino de Humboldt se ubica en un ambiente muy delicado debido a características climáticas y oceanográficas poco estables. El factor climático que más incidencia tiene sobre las colonias de pingüinos, es la lluvia nortina, que provoca una serie de colapsos en los nidos, lo que interfiere en las épocas de postura y crianza (Simeone *et al.*, 2002). Oceanográficamente los eventos de El Niño y La Niña, mantienen una inestabilidad en la temperatura del agua, lo cual induce a una serie de cambios en las poblaciones (Culik *et al.*, 2000). Esta inestabilidad se manifiesta como un efecto cascada, ya que las primeras poblaciones en ser afectadas son los recursos presa de los pingüinos, tales como la anchoveta, la cual migra buscando condiciones ambientales más favorables (Culik *et al.*, 2000). Otro elemento que se suma a la inestabilidad de este sistema, es la explotación de recursos marinos. El área costera del Norte de Chile y Perú, es una de las zonas más ricas en el mundo, gracias a la presencia de grandes surgencias (Anexo 1 -Fig. 17) y aguas frías traídas por la corriente de Humboldt (Pagès *et al.*, 2001). La demanda por recursos marinos en esta zona es una de las más altas, provocando una disminución en la disponibilidad de alimento para la fauna (Culik and Luna-Jorquera, 1997b).

El pingüino de Humboldt, frente a estas inestabilidades humanas y ambientales, debe buscar las técnicas apropiadas para lograr un exitoso forrajeo.

Culik y Luna-Jorquera, (1997b) han realizado monitoreos con equipos remotos, que permiten seguir las rutas frecuentes de forrajeo en condiciones normales y Niño. Esta investigación revela las características de forrajeo propias

del pingüino de Humboldt, como por ejemplo, la velocidad de nado y buceo, el tiempo de buceo y su profundidad, la dirección de forrajeo, muchas de las cuales pueden ser aumentadas en tiempo, distancia y profundidad en presencia de un Niño.

De acuerdo a estas características de forrajeo reconocidas por Culik y Luna-Jorquera (1997b), una de las preguntas que se abre frente a la alta oscilación en el hábitat de los pingüinos de Humboldt es: ¿Existen señales ambientales que los pingüinos puedan reconocer en tierra y usarla para guiarse a sus áreas de forrajeo?

Estudios sobre la búsqueda de las señales ambientales que las aves marinas reconocen para forrajear, han sido ampliamente estudiadas en aves marinas antárticas, principalmente Procellariiformes. Nevitt (1999 y 2000), ha conducido experimentos en los cuales ha logrado determinar que la presencia de aves marinas en áreas de forrajeo, se puede relacionar a la presencia de un compuesto aromático llamado Dimetil sulfuro (DMS) (Nevitt *et al.*, 1995; Nevitt, 1999 y 2000; Nevitt and Haberman, 2003).

En este estudio se utilizarán las técnicas recomendadas por Nevitt, en búsqueda de alguna respuesta conductual relacionada con el forrajeo y el DMS, tal como sugirió Boris Culik, después de la experimentación con pingüinos de Humboldt en cautiverio.



## 2.1 Fundamentos y formulación del problema

Enfocados en los mecanismos que el pingüino de Humboldt debe utilizar para localizar áreas de alta producción, ricas en alimento, en este trabajo se ha determinado comprobar si estas aves pueden asociar señales olfatorias naturales a un comportamiento de forrajeo.

El fundamento principal de este trabajo surge de las investigaciones realizadas por Culik (2001), que apoya la posibilidad de que exista una señal olfatoria que estaría jugando un rol en la orientación de los pingüinos en el mar. Esta señal sería arrastrada por los vientos, y estaría asociada a áreas de alta producción. Culik (2001) observó que dos de los cinco pingüinos monitoreados, dirigieron su trayectoria justo en contra la dirección del viento y ambos llegaron a zonas de alta concentración de clorofila a.

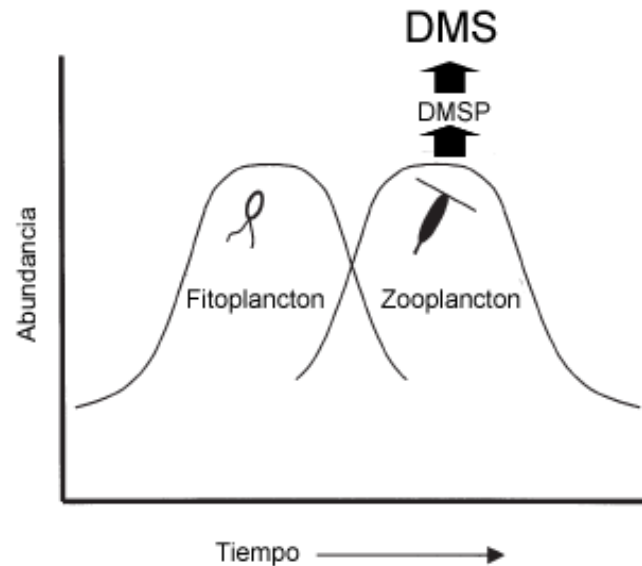
Nevitt (2000), en tanto, comprobó que algunos procellariiformes en la Antártica, pueden asociar el dimetil sulfuro (DMS), compuesto aromático de origen natural, a zonas de alta producción. Ya que el DMS es transferido a la atmósfera, puede ser esta una señal molecular que guíe a las aves marinas a localizar y explotar áreas ricas de zooplancton (Nevitt, 2000).

La producción de DMS ha sido asociada a la presencia de Krill (Simó *et al.*, 1995) y también en áreas donde la productividad primaria es regularmente alta (McTaggart and Burton, 1992). Los estudios de Nevitt muestran una significativa asociación entre este compuesto natural y el ave marina.

El DMS, Según Matrai, (com pers) es un importante gas traza atmosférico contenedor de sulfuro de origen biogénico producido por algunas clases de

fitoplancton. Este DMS proviene del dimetil-sulfoniopropano (DMSP) el cual es liberado a la atmósfera por efecto del pastoreo ejercido por el zooplancton en episodios de florecimiento (Fig. 2).

Sobre la base de las observaciones de Nevitt *et al* (1995), Culik (2001) condujo un experimento en donde condiciono a pingüinos de Humboldt al DMS. Después de tres semanas de este acondicionamiento experimental, se analizó el comportamiento de las aves, concluyendo que: El DMS es, entre otros factores, un potencial elemento de ayuda olfatoria en la navegación de los pingüinos en el mar (Culik, 2001).



**Figura 2.-** Diagrama conceptual de la dinámica del zoo y fitoplancton y el efecto en la producción de DMS. Extraído de Tang *et al*, 2000.

Culik (2001) finalmente sugiere que para comprobar sus resultados sería ideal testear en terreno el comportamiento de los pingüinos de Humboldt.

Siguiendo las recomendaciones de Nevitt y Matrai (con pers), se expuso colonias de pingüino de Humboldt a una concentración tal de DMS, similares a las que se encuentran en el mar durante un florecimiento algal. Además, se registró simultáneamente, si existe alguna variación conductual en las colonias de pingüinos de una manera tal que sea posible asociarlo con la presentación del estímulo olfativo.

## **2.2 Hipótesis de trabajo**

H<sub>0</sub>: No existe una respuesta conductual significativa por parte de pingüinos de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) en función de la presencia de dimetil sulfuro (DMS).

H<sub>1</sub>: Existe una respuesta conductual significativa por parte de pingüinos de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) en función de la presencia de dimetil sulfuro (DMS).

### 2.3 Objetivo general

Evaluar si el Dimetil sulfuro (DMS) activa una respuesta conductual de forrajeo en el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*).

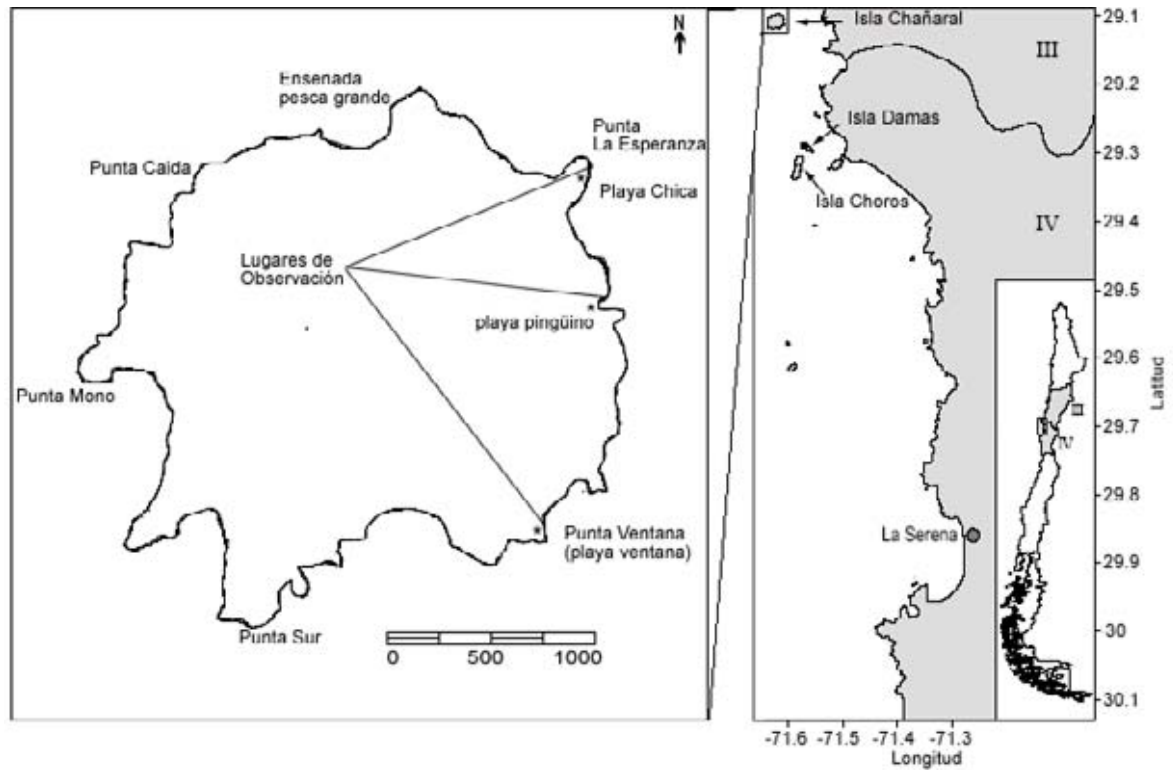
### 2.4 Objetivos específicos

- Determinar patrones de movimiento y conducta en *S. humboldti* cercanos a la playa.
- Identificar patrones de desplazamiento relacionados con la ida al mar para forrajear.
- Registrar los comportamientos de desplazamiento encontrados frente a la exposición artificial de DMS.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudio

La Isla Chañaral (29°02'S – 71°34'O) se ubica en la III Región de Chile, a 10 Km de la línea de costa (Fig. 3 y 4). Es la isla más grande que forma parte de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, junto con la Isla Damas e Isla Chorros. Esta Reserva fue creada por el Decreto Supremo N° 4, el 3 de Enero de 1990 y es administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) (CONAF, 2004). La isla Chañaral está declarada como recurso intangible por CONAF y solo se autoriza el ingreso con fines científicos. Esta isla posee una superficie de 655 ha; su geografía se caracteriza por acantilados que rodean la isla y que alcanzan los 30 metros de altura. Planicies y cerros conforman parte de la geografía de esta isla que alcanza los 130 metros de altura s.n.m (Fig. 5).



**Figura 3.-** Ubicación geográfica de Isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile. Asteriscos indican sitios de observación y muestreo

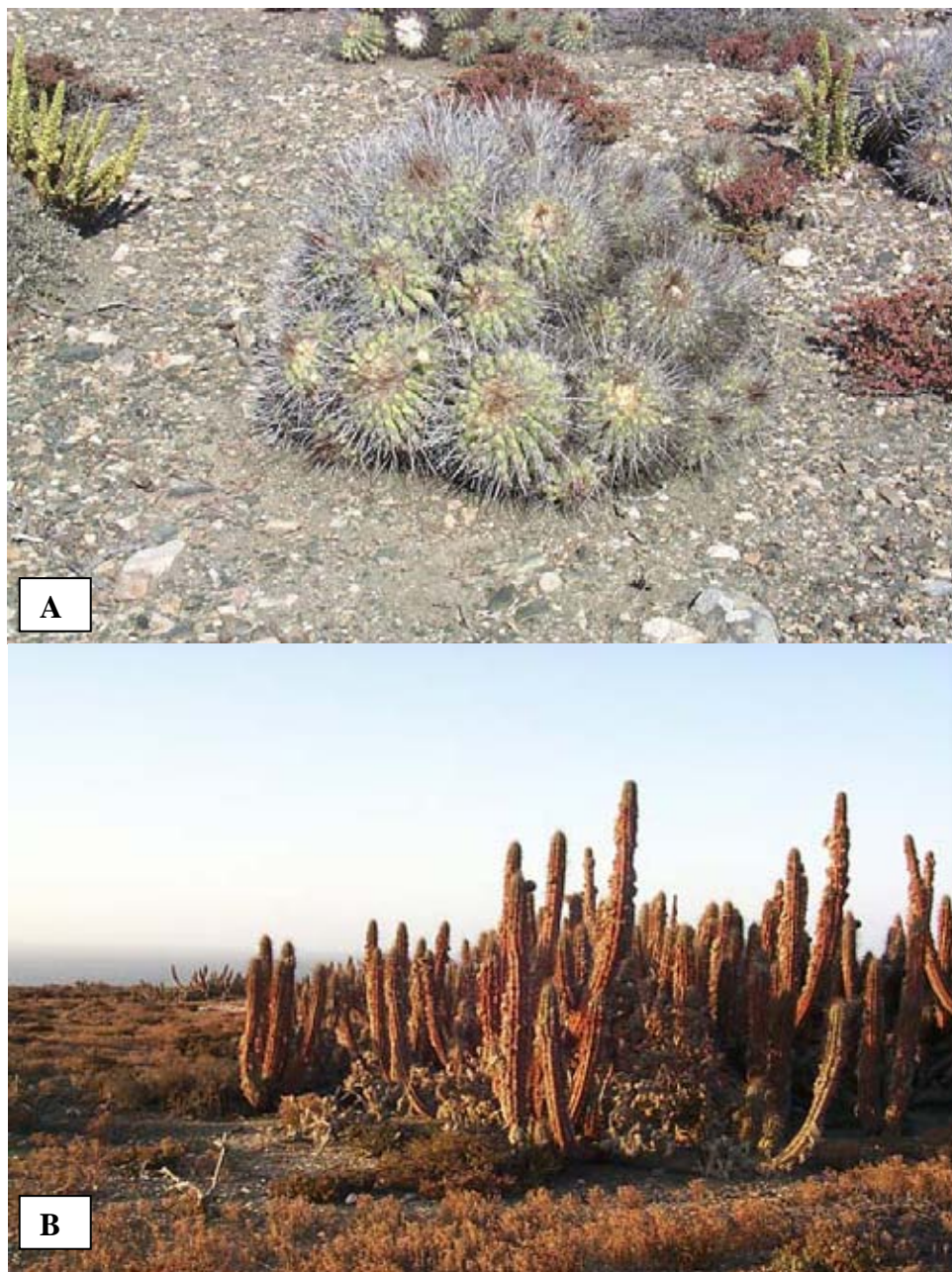


**Figura 4.-** Vista de la isla Chañaral desde Caleta Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile.



**Figura 5.-** Acantilados ladera sur, isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile.

La flora que más predomina en esta isla es el cactus Esmeraldano (*Neoporteria esmeraldana*) (Fig. 6a) y el Copao (*Eulychnia breviflora*) (Fig. 6b). Estos cactus aportan con agua dulce a pequeñas aves y mamíferos terrestres y también sirven de protección para el Pingüino de Humboldt quien excava en medio de las raíces de estas plantas para localizar sus nidos (Fig. 7) (Díaz and Rozas, 2002).



**Figura 6.-** (A) Esmeraldano (*Neoporteria esmeraldana*), (B) Copao (*Eulychnia breviflora*). Isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile.





**Figura 7.-** Nido de pingüino de Humboldt entre los cactus. Isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile.

La fauna que esta isla alberga se compone de aves y mamíferos tanto marinos como terrestres. Los mayores porcentajes de abundancia de aves corresponden al Pingüino de Humboldt, Piquero (*Sula variegata*), Gaviota Dominicana (*Larus dominucanus*), Jote de cabeza negra y colorada (*Cathartes aura*, *Coragyps atratus*) y el pelícano (*Pelacanus tagus*.) Los mamíferos terrestres que habitan en la isla son: el Conejo (*Oryctolagus cuniculus*) y un pequeño marsupial, la Yaca (*Thylamys elegans*). Los mamíferos marinos que tienen directa relación con la isla son Lobos marinos (*Otaria byronia*) y el chungungo (*Lontra felina*). Los delfines (*Tursiops truncatus*) han frecuentado

últimamente la isla con una mayor frecuencia que años anteriores y durante este trabajo se les pudo observar diariamente. Otros Cetáceos como Delfines oscuros, Orcas, Ballenas de aleta, Ballenas jorobada y Ballenas azules se les pueden ver desplazándose cerca de las costas de la isla (Capella *et al.*, 1999).

La permanencia humana en la isla Chañaral se realiza en una de las dos playas en que es posible llegar en bote. Ambas están ubicadas en el lado norte de la isla con acantilados de aproximadamente 30 mt. altura (Fig. 8).



**Figura 8.-** Lugar del campamento base, Isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile.

Para encontrar un patrón de conducta diaria de los Pingüinos de Humboldt, se seleccionaron playas en las que fuese posible una adecuada y amplia observación desde una posición en altura. Entre las consideraciones que se establecieron para asegurar un adecuado muestreo de las conductas están: distancia y camuflaje, tipos de playa y número de pingüinos observados.

### **3.1.1 Distancia y camuflaje:**

La distancia escogida en este estudio fue de 30, 70 y 100 metros para playa chica, playa ventana y playa pingüino respectivamente. Estas distancias facilitaron la observación de los pingüinos que se encontraban con o sin muda. Además, permitían diferenciar las actividades que los pingüinos realizaban en el agua a orillas de la playa. Playas con distancias de observación superiores a 200 metros fueron descartadas en este estudio por la dificultad que presentaban para el censo.

El camuflaje también fue un importante elemento a considerar. Una simple malla rache instalada como carpa (Fig. 9) permitió ocultar nuestra actividad en los puntos de observación.



**Figura 9.-** Lugar de observación camuflado. Diseñado para no perturbar la conducta de los pingüinos. Isla Chañaral, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile.

### 3.1.2 Tipo de playas:

Una de las características que debió presentar cada una de estas playas, era poder diferenciar claramente las actividades de los pingüinos, dentro de las aguas cercanas a la orilla de la costa. Muchas veces los pingüinos sólo salían al mar con la intención de acicalar sus plumas o termorregular (Simeone *et al.*, 2004). Otra característica muy fundamental para este estudio, fue considerar que los vientos soplaran con una mayor frecuencia desde el mar a la playa, ya que esto facilitaría el transporte de aromas a la colonia allí presente. También se tuvo en cuenta que existieran caminos previamente delimitados por el continuo tránsito

de los pingüinos. Esto ayudó a tener una mejor observación del movimiento diario de ellos. Una salida clara hacia al mar, sin muchas rocas ni cordones de algas, fue fundamental para registrar a todos los pingüinos que salían al mar o regresaban de él.

Las playas de estudio presentaron las siguientes características:

#### **3.1.2.1 Playa Pingüino:**

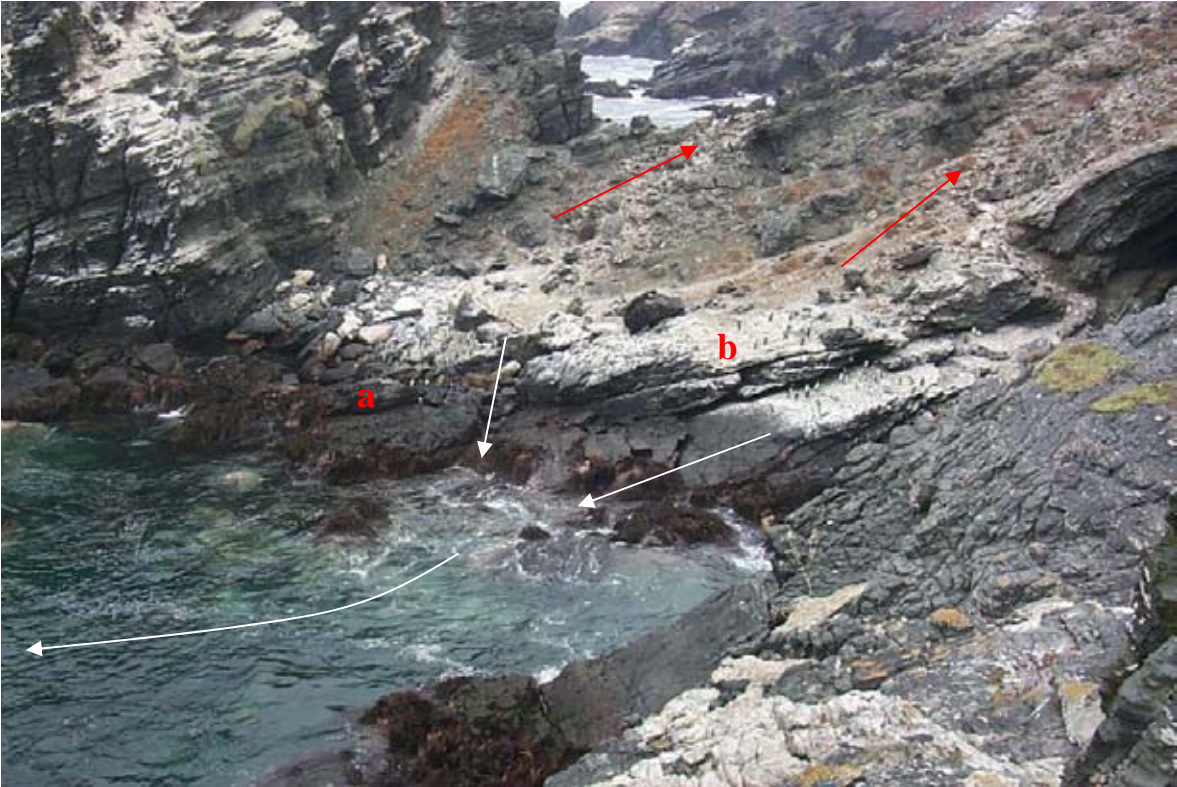
Esta playa se dividía en tres sectores: (Fig. 10 a) una playa de rocas bajas de menos de  $\frac{1}{2}$  metro de altura, en donde se formaban algunos pozones en marea baja; (Fig. 10 b) una playa de arena y un sector de roqueríos altos (Fig. 10 c) (mas de 1.5 metros de altura.) La mayor presencia de pingüinos se ubicó en la playa de arena (Fig. 10 b), luego la segunda mayoría prefirió estar en los roqueríos bajos (Fig. 10 a). En la playa de roqueríos altos se determinó un porcentaje mucho menor de pingüinos, promediando los nueve individuos diarios. Se identificaron dos caminos de uso frecuente (flechas rojas) (Fig. 10).



**Figura 10.-** Playa Pingüino, (a) roqueríos bajos, (b) playa de arena y (c) roqueríos altos. Las flechas indican los caminos que los pingüinos frecuentaban para bajar a la playa o subir a sus nidos. La flecha blanca en el mar indica la dirección frecuente de salida a mar afuera.

### 3.1.2.2 Playa Ventana:

Playa conformada en un 100% por roca. Una mitad de la playa presentaba dos niveles de altura, en donde los pingüinos debían saltar o rodear la roca para acceder al mar (Fig. 11 a). La otra mitad de la playa poseía un solo nivel de altura (Fig. 11 b), donde se pudo identificar que los pingüinos preferían salir al mar aprovechando una entrada de agua ubicada entre rocas (Flecha blanca). Aunque esta playa posee algunas algas en la orilla del mar, estas no interfirieron en la observación de la actividad diaria de los pingüinos. Aquí se identificaron dos lugares preferidos para la salida y entrada al mar. Los pingüinos contaban con dos caminos marcados de uso frecuente para subir o bajar de la colonia (Fig. 11).



**Figura 11.-** Playa Ventana, (a) roquerío bajo, (b) roquerío alto. Las flechas rojas indican los caminos de subida a los nidos y bajada a la playa. Las flechas blancas indican las vías frecuentes de salida a mar afuera.

### 3.1.2.3 Playa Chica:

Esta playa contaba con dos rocas grandes en el limite de marea (Fig. 12 a, b), éstas eran los lugares en donde el 90% de los pingüinos permanecían diariamente. Ambas rocas contaban con una salida al mar por los costados más bajos de la roca (flechas). No se identificó caminos, ya que por toda la playa se ubicaban lugares de anidación y no había forma de acceder a una zona superior, como en las dos playas anteriores (Fig. 12).



**Figura 12.-** Playa chica, (a y b) rocas en donde frecuentaban estar los pingüinos. Las flechas blancas indican las vías de salida al mar, en esta playa solo se registro salidas al mar para acicalarse.

### 3.1.3 Número de pingüinos:

El número de pingüinos también fue uno de los factores que se debió considerar en este estudio. Un número no mayor a 400-500 animales fue ideal para llevar un registro de las actividades. Este número se determinó al censar diversas playas de la isla.

Los intervalos de observación se definieron en cinco minutos de censo y 25 minutos de observación de la conducta. El protocolo de registro consistió en que al inicio de las observaciones, se procedía a realizar un censo de los pingüinos en la



playa, diferenciando y excluyendo a aquellos animales que estaban en muda. Luego del censo, se observó cualquier desplazamiento de los pingüinos, ya sea, subiendo a la colonia (Suben), bajando de ella (Bajan), saliendo (Ida) o volviendo del mar (Retorno). Tras la observación de conducta se procedió a realizar otro censo de la playa, así sucesivamente hasta terminar el día. Cada censo ayudó a corroborar el flujo de pingüinos en la playa. Las observaciones se realizaban en jornadas continuas aprovechando las horas de mejor iluminación.

Todas las observaciones de la conducta normal de los pingüinos se realizó entre las 08h00 y 19:00, salvo en ocasiones que el lugar de observación se encontraba muy lejos o que las condiciones ambientales no permitieron un adecuado registro.

### **3.2 Material Olfativo:**

El Dimetil sulfuro (DMS) cuya fórmula química es  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  fue enviado desde Alemania en una concentración de 13.65 mol/l por la empresa Merck S.A.

El DMS es un bioproducto de la descomposición metabólica del Dimetil sulfoniopropionato (DMSP) en el fitoplancton, más notablemente en *Phaeocystis pouchetii* (Matrai and Keller, 1993; Nevitt, 2000). Estudios en Laboratorio indican que hay un proceso muy acelerado de esta producción de DMS durante el pastoreo de zooplancton (Dacey and Wakeham, 1986; Gabric *et al.*, 1993; Matrai and Keller, 1993).

Para disolver el DMS a una concentración de 0.2 M necesaria para la experimentación en terreno (Nevitt con pers), se extrajeron 0.36 ml de DMS

original y se mezcló con ½ litro de aceite vegetal. El uso de aceite vegetal fue recomendado por Nevitt como el solvente de la esencia en la superficie del mar. La preparación de la dilución se realizó en terreno, minutos antes de la liberación en el mar, ya que elementos externos como temperatura y contaminación producen una rápida degradación del DMS (Matrai, com pers). Para su dilución se ocupó un jeringa de 1 ml, guantes de goma y mascarilla según las recomendaciones de uso y mantenimiento en la hoja de seguridad publicada por Merck S.A (Merck, Chemical Database online 2004).

### **3.3 Equipo de Trabajo**

El equipo de trabajo se dividió en dos de acuerdo al procedimiento, la primera etapa trabajaron dos personas (equipo A) registrando toda la conducta de los pingüinos en relación a la playa. Este equipo registro los movimientos de los pingüinos desde la colonia a la playa (bajada), desde la playa al mar (Ida), desde el mar a la playa (Retorno) y desde la playa hasta sus colonias (Subida).

La segunda etapa se contaba con un número de seis personas, y se dividieron en dos equipos, uno en tierra (Equipo T) y otro en el mar (Equipo M). El equipo T, registraba los movimientos de los pingüinos. El equipo M en bote “zodiac”, se encargó de todas las operaciones de liberación del DMS mediante buceo.

### 3.4 Método utilizado para la liberación del DMS en el mar

El DMS se mezcló lentamente con el aceite vegetal y se guardó en una botella plástica sellada. Al llegar al lugar de experimentación en bote “Zodiac” desde el campamento, se procedió a bucear hasta lograr el acercamiento ideal a la playa, en donde se encontraban los pingüinos. La distancia elegida no debía perturbar la conducta de ellos en la playa, de esta manera el DMS fue liberado de una sola vez a una distancia de 60 Y 30 metros en playa pingüino y ventana respectivamente.

Debido a la escasa visión de los buzos, en la superficie del mar hacia la playa donde estaban los pingüinos, se utilizaron banderillas desde la zona de observación en tierra para indicar a los buzos si ellos estaban perturbando la actividad normal de los pingüinos. Una banderilla blanca indicaba que aún se estaba realizando el censo, antes de la exposición con DMS. El retiro de la banderilla blanca, se usó como señal a los buzos para que comenzaran con la tarea de depositar el DMS y los derivadores en el mar. La función de los derivadores fue otorgar a los observadores en tierra, una mejor visualización de hacia dónde se desplaza el núcleo de esencia con DMS. En caso de que los observadores en tierra alzaran una banderilla naranja, significaba que los buzos debían permanecer en la superficie del mar, manteniendo su posición con movimientos mínimos, para no perturbar en la colonia, hasta que esta banderilla fuera nuevamente retirada. Una vez logradas las condiciones para comenzar el experimento, en la misma posición de los buzos y a una profundidad de dos metros, se abrió la botella sellada; el aceite con DMS rápidamente subió a la

superficie. En este preciso instante, el segundo buzo libera los derivadotes. Terminada esta operación ambos se retiraban del lugar buceando hacia el bote.

Luego de esta operación, los buzos vuelven al campamento, mientras que los observadores en tierra observaban y registraban la conducta de los pingüinos. Una vez que los derivadores se alejaban de la zona de experimentación, los observadores permanecían por 30 minutos más observando y registrando los movimientos de las aves.

Una vez que el DMS era liberado en el mar, el viento lleva la esencia hacia los pingüinos. Con este procedimiento la concentración en el aire se aproxima a los valores máximos detectados en florecimientos algales, aproximadamente menor a  $10 \text{ nmol m}^{-3}$  (Bürgermeister *et al.* 1990, Kiene and Bates, 1990, Simó *et al.*, 2002, Matrai and Keller, 1993).

Los gráficos se realizaron con el programa SigmaPlot 2002 versión 8.0 para Windows. Los resultados se analizaron con el programa STATISTICA Edición 98 para Windows y se uso un test de Man-Whitney (U-test) con un nivel de confianza del 0.05 debido al no-cumplimiento con los supuestos de un análisis paramétrico.

#### 4 RESULTADOS

El esfuerzo de observación fue de 97 horas en 10 días con un equipo de dos personas (Equipo A). Luego se ocupó un período de experimentación con el DMS de 27 horas en 11 días, con un grupo de seis personas dividido en dos equipos (Equipos T y M).

La siguiente tabla (Tabla 2) muestra los porcentajes de animales en muda y el promedio total de la población de pingüinos de Humboldt, en las tres playas de estudio trabajadas. El N estudiado corresponde a los individuos que no se encontraban en muda. Debido a que en playa chica todos pingüinos observados, se encontraban en una etapa de emparejamiento y que el total de pingüinos fue muy bajo, no se utilizaron los datos de esta playa para los análisis posteriores.

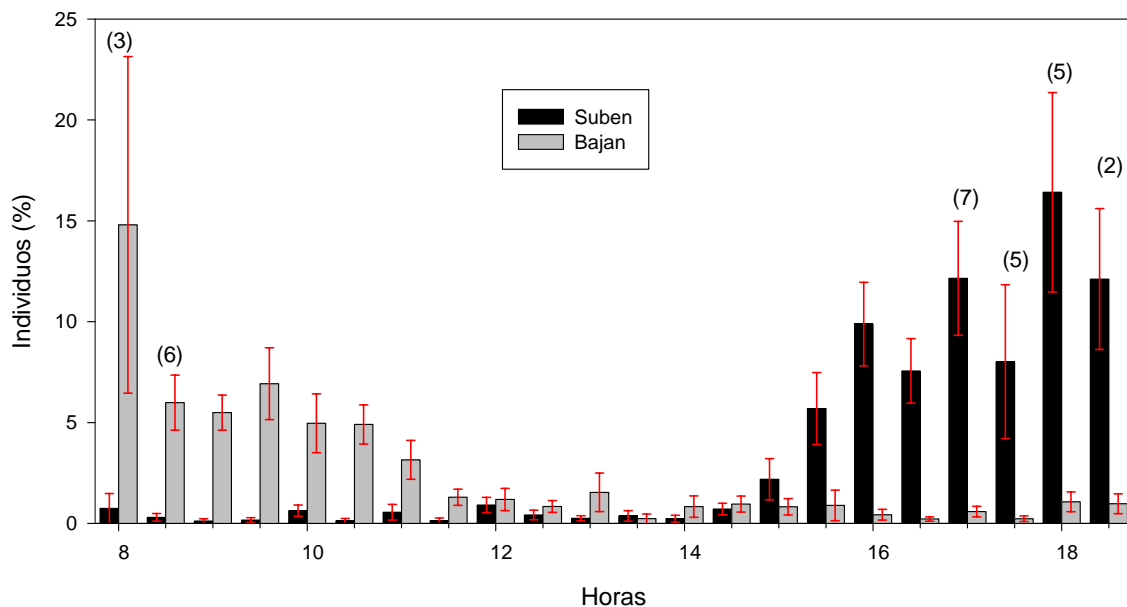
	Playa Pingüino	Playa Ventana	Playa Chica
TOTAL	406	333	27
N estudiado	289	229	18
Nº de individuos en muda	117 (29%)	104 (31%)	19 (34%)

**Tabla 2.** *Spheniscus humboldti*. Febrero 2003. Número total de pingüinos contabilizados y registrados en tres playas, isla Chañaral III Región, Reserva Nacional Pingüino de Humboldt. Los resultados se muestran en promedio con respecto a todos los días observados.

Tanto como para playa pingüino y playa ventana, se estimó la proporción de pingüinos para los cuatro parámetros obtenidos, con respecto al total de pingüinos que había cada media hora.

La Figura 13 grafica el ascenso y descenso de los pingüinos entre la playa y los sitios de nidos. Se observa un alto número de pingüinos en la subida en horas de la tarde y la bajada se realiza con mayor número en la mañana.

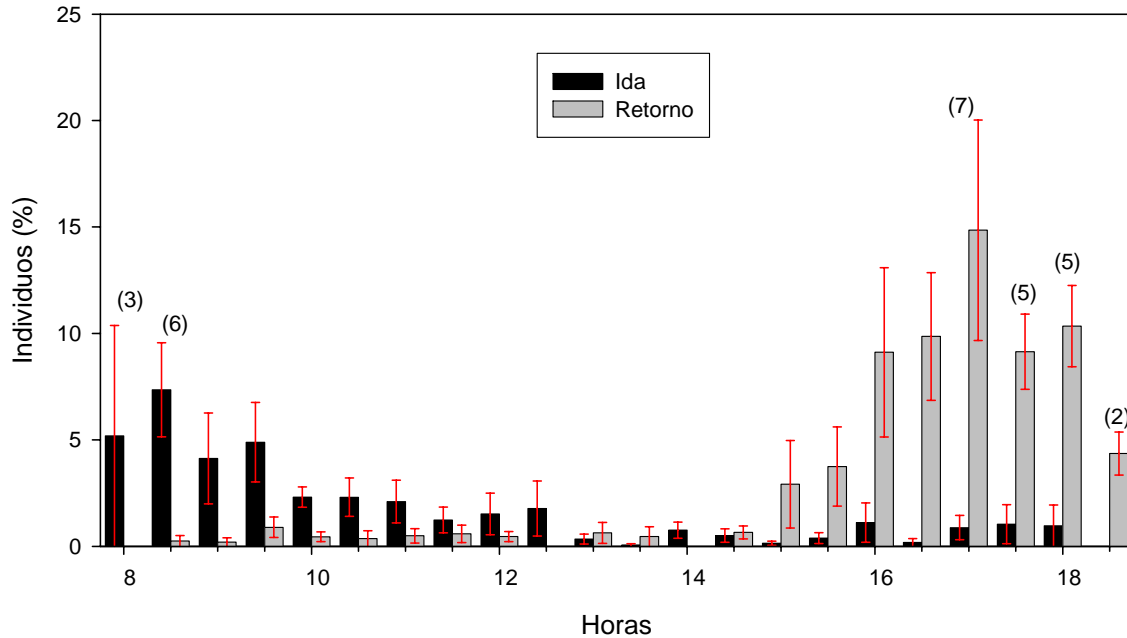
Un nivel de actividad mucho menor se registró para la subida en la mañana y para la bajada en la tarde.



**Fig. 13.-** *Spheniscus humboldti*. Isla Chañaral, Febrero 2003. Actividad poblacional de desplazamiento en relación con las horas del día. La actividad se grafica en intervalos de media hora, mostrando la proporción de individuos de acuerdo al total encontrado cada media hora. Los números sobre las barras corresponden al número de días observados. Las barras sin números asumen la

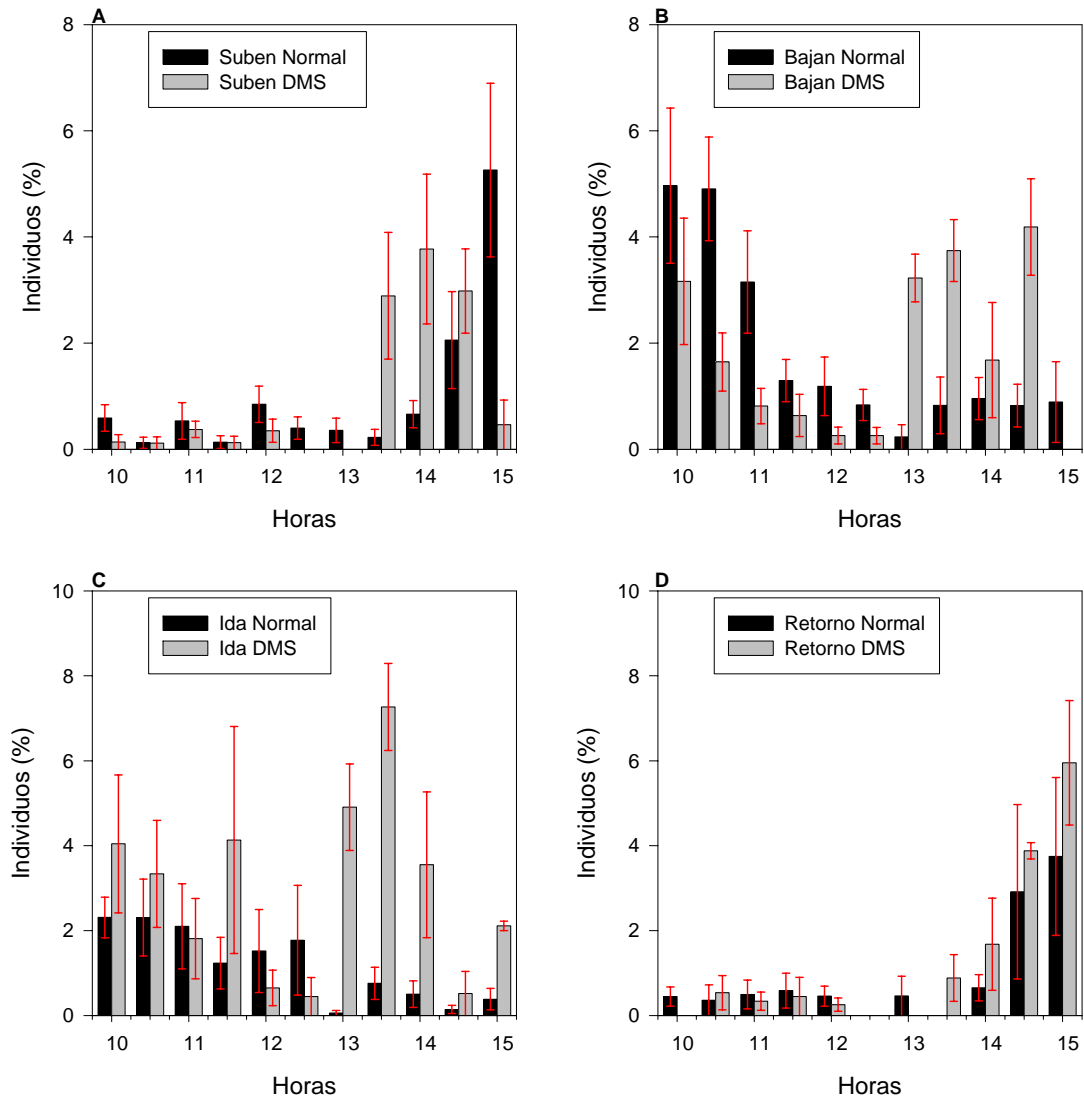
cantidad de ocho días de observación. Las líneas rojas sobre las barras indican el error estándar de cada una de las observaciones.

La Figura 14 grafica la ida y retorno al mar de los pingüinos.



**Fig. 14.-** *Spheniscus humboldti*. Actividad poblacional de desplazamiento en relación con las horas del día. La actividad se grafica en intervalos de media hora, mostrando la proporción de individuos de acuerdo al total encontrado cada media hora. (entrando y saliendo del mar). Los números sobre las barras corresponden al número de días observados. Las barras sin números asumen la cantidad de ocho días de observación. Las líneas rojas sobre las barras indican el error estándar de cada una de las observaciones.

La serie de gráficos (Fig. 15) muestran el experimento realizado en terreno, comparando la conducta normal de los pingüinos frente a la registrada durante la exposición a concentraciones de DMS.



**Figura 15.-** *Spheniscus humboldti*, Gráficos de comparación entre la conducta normal registrada (Barras negras) y la conducta expuesta a una concentración de DMS (Barras grises), cada barra posee su error estándar



calculado. Las barras poseen cinco y ocho días de observación para las barras negras y grises respectivamente.

Se observa conductas similares en los gráficos a (Fig. 15 a) y d (Fig. 15 d) (Suben y Retorno). En b (Fig. 15 b) y c (Fig. 15 c) (Bajan e Ida), se observa un aumento en el número de pingüinos con la presencia de DMS, que debe ser analizada estadísticamente.

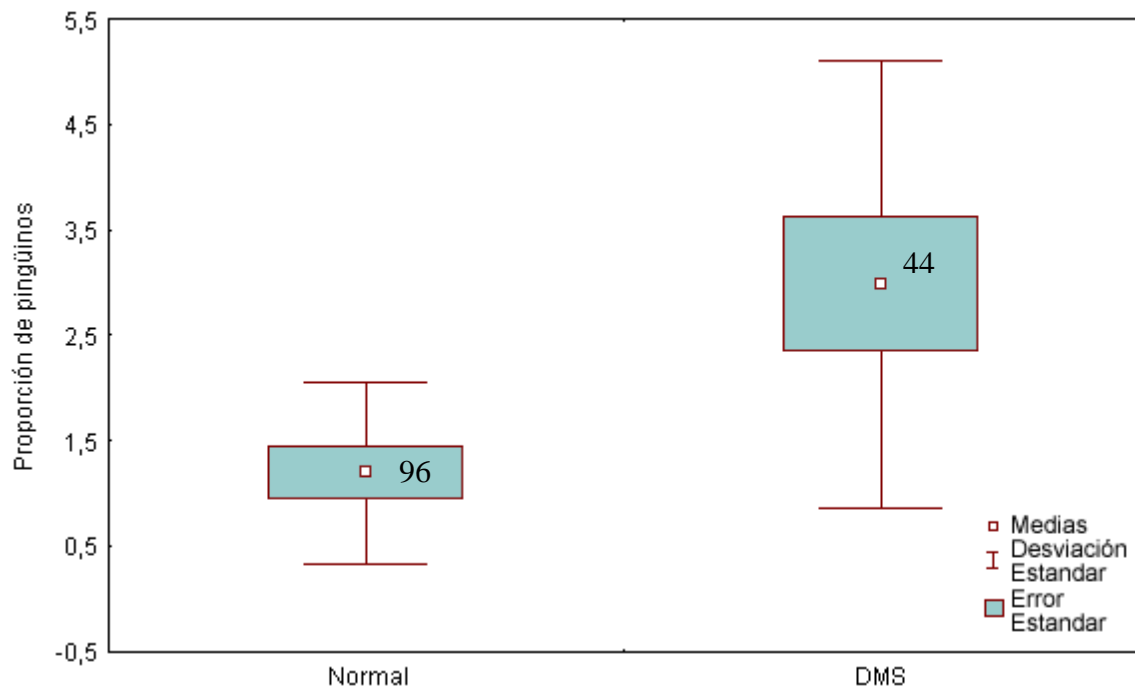
La tabla 3 resume el test de significancia (Mann-Whitney U test) entre la conducta normal de los pingüinos y la registrada durante la exposición de DMS. Se aprecia en estos resultados que de los cuatro test aplicados solo uno (Ida) arrojó diferencias significativas. El valor en rojo y asterisco (\*) indica que hubo diferencia significativa en la conducta de los pingüinos, con un valor de significancia de 0.05 comparando una situación de variables ambientales normales frente a una manipulada (DMS).

<b>Actividad</b>	<b>Z</b>	<b>p-Valor U-test</b> ( $\alpha=0.05$ )
Suben normal v/s Suben con DMS	1.018	0.309
Bajan normal v/s Bajan con DMS	0.295	0.768
Ida normal v/s Ida con DMS	-2.2	<b>0.02*</b>
Retorno normal v/s Reorno con DMS	0.165	0.869

**Tabla 3.** *Spheniscus humboldti*. Valores de “p” en test no paramétrico Mann-Whitney (U test.)

La figura 16 grafica el comportamiento de ida en ambas situaciones. Comprobando que en presencia de DMS, los pingüinos muestran una media de participación mayor que en condiciones normales sin DMS.

Los datos de la figura 16 son las proporciones de pingüinos en ambas playas agrupadas bajo la conducta de ida de los pingüinos, se comparan las dos situaciones experimentales; una normal en donde se registro la ida de los pingüinos desde la playa hacia el mar en condiciones ambientales normales, y la otra en condiciones ambientales normales mas la presencia de dimetil sulfuro.



**Figura 16.-** *Spheniscus humboldti*, comparación de medias observadas en la conducta de ida al mar, frente a dos situaciones distintas (Normal y DMS). Como lo indica en la simbología las medias están representadas por cuadrados blancos la desviación estándar por las líneas cafés y los cuadrados celestes representan el error estándar. El N de cada grupo se indica dentro de la caja que corresponde al error estándar.

## 5 DISCUSIÓN

La alta presencia de pingüinos de Humboldt en esta isla y las diferentes playas que la rodean, permitió encontrar lugares apropiados de observación e ideales para el desarrollo de este estudio. Los resultados de las observaciones muestran claros patrones en los movimientos que tienen los pingüinos en relación con la colonia, playa y mar (Fig. 13 y 14).

La bajada a la playa y la ida al mar, son mayores alrededor de las 08h00, pero seguramente el inicio de esta actividad se podría registrar aún más temprano. Cerca de las 11h00 estas actividades disminuyen (Fig. 13 y 14).

La llegada a la isla y la subida a la colonia (Fig. 13 y 14) comienzan aproximadamente a las 15h00, con una gran participación de individuos a las 18h00. El término de esta actividad probablemente se produce horas más tarde.

Se podría esperar en la Figura 14 que la relación entre los pingüinos en Ida y Retorno sea la misma, debido a que prácticamente son los mismos individuos. Sin embargo, esto no ocurre debido a que no todos los que regresan desde el mar vuelven a salir, esto se debe a que parte de los pingüinos que vuelven se quedan en las colonias para comenzar su muda y no volverán a bajar por lo menos en 12 a 14 días más (Otsuka *et al.*, 1998). Otro elemento importante a considerar en este flujo de pingüinos en la ida y retorno, es que normalmente los pingüinos que salen al mar a forrajear ocupan periodos cortos de solo horas en el día, influenciado principalmente por la demanda de alimento que requieren los polluelos (Taylor *et al.*, 2002). Sin embargo se han registrado forrajeos mas largos de dos días, asociados a una recuperación de energía por parte de los adultos en

el período de crianza (Taylor *et al.*, 2002). Esta conducta también puede explicar las variaciones entre ambas conductas de ida y retorno, ya que un adulto que se encuentre forrajeando para el mismo, demorara más, retardando su llegada a la colonia.

Los resultados de las observaciones de la conducta normal, indican que, entre las cuatro actividades diarias (Fig. 13 y 14), existe un espacio de tiempo en donde los pingüinos disminuyen su actividad en la isla (11h00 y 15h00). Esto puede sugerir que los pingüinos que se quedan en la playa, y no están en muda, prefieren disminuir sus actividades de desplazamiento durante las horas de mayor radiación solar aproximadamente a las 12h00.

A su vez, la salida temprana de pingüinos mar afuera, también se puede asociar a las horas de mayor temperatura y luminosidad.

Esta asociación se apoya en investigaciones realizadas por Culik (2000) las que indican que la mayoría de los buceos se realizan alrededor del mediodía, entre las 09h00 y 15h00 (Culik, 2000). Otras investigaciones (Luna-Jorquera and Culik, 1999) proponen la misma relación. De acuerdo a este trabajo, se señala que los pingüinos muestran una marcada actividad de buceo diurno ligado al ciclo de luminosidad.

La luminosidad no solo puede estar ayudando a los pingüinos a ver mejor sus presas, ya que la luminosidad también influye en la producción de DMS en el mar, generando un aumento en la concentración de dicho gas en horas de mayor iluminación (Vetter and Sharp 1993). Según este estudio, se puede relacionar que, los forrajes realizados en horas de mayor iluminación, podrían concordar con una alta concentración de DMS presente en el mar.

La diferencia encontrada en la conducta de “ida” (Tabla 3, Fig. 15 c, Fig. 16) podría reflejar una asociación por parte de los pingüinos, quienes pueden haber aprendido a relacionar el DMS con productividad, como por ejemplo, a la presencia de peces planctívoros.

La actividad de “ida” es el único patrón conductual que se altera con la presencia de DMS en el aire. Esta mayor participación de pingüinos en la “ida” al mar en presencia del estímulo aromático DMS (Fig. 16), sugiere una influencia positiva del DMS en la respuesta conductual de los pingüinos.

Sin embargo, para las otras tres conductas normales reconocidas y comparadas con los desplazamientos registrados en respuesta al estímulo presentado de DMS, no se observaron diferencias significativas (Tabla 3).

Se ha comprobado, en zonas antárticas que el DMS -en algunas especies de petreles y albatros- puede cumplir un rol de identificación de lugares con una alta concentración de alimentos (Nevitt *et al.*, 1995, Nevitt and Haberman, 2003). Sin embargo, esta asociación que logran hacer estas aves se debe principalmente a las características olfatorias propias de estas aves y muy probablemente, porque además son aves voladoras y pueden escanear el ambiente, no sólo olfativa sino también visualmente de una manera mucho más privilegiada que los pingüinos. Por otro lado, siendo el DMS un compuesto volátil, es más probable detectarlo más fácilmente en altura que a nivel del mar como están obligados de hacerlo las aves no voladoras (Díaz, com pers).

Se debe considerar en este estudio, un artefacto en las observaciones que influye directamente en el número de pingüinos y produce un error en explicar una respuesta conductual natural frente a un estímulo determinado.

El pingüino de Humboldt es una especie muy social de conducta agregada, tanto en tierra como en mar, salvo cuando éstos regresan a sus nidos en donde los individuos se reparten (Schlatter, com pers). Esta conducta de agregabilidad, se observo continuamente en este estudio y fue visto tanto en tierra como en mar. Por ejemplo, en los caminos delimitados por el continuo avance de los pingüinos, normalmente había individuos en la mitad de esta ruta detenidos, los cuales ya se habían registrado como “subiendo a la colonia”. Si estos se encontraban con otro grupo de pingüinos que venían bajando desde la colonia por el mismo camino, lo más probable y lo que se observó varias veces, era que todos los pingüinos se agrupan y bajen a la playa, desde donde venían. La misma conducta se registró tanto al subir como al bajar. En el mar también se observó esta conducta. Un grupo de pingüinos que sale a mar afuera y en el camino pasa cerca de otros pingüinos que solamente se están acicalando sus plumas a no más de 8 metros de la playa, lo que se observó continuamente es que más de un individuo se unía al grupo que salía mar afuera.

Estas observaciones indican que valores muy altos, en la participación de pingüinos en cualquiera de las cuatro actividades registradas, podría deberse a este tipo de conducta social y agregada que tienen los pingüinos. Además, si consideramos que estos pingüinos se les califica como los más tímidos dentro de sus pares (Ellenberg U. datos no publicados), se podría decir que éste es otro factor que favorece una conducta muy social y agregada.

Para dilucidar de mejor manera la habilidad de los pingüinos de Humboldt para captar señales olfatorias ambientales, es aconsejable incluir a futuro un análisis completo de su capacidad olfativa con un delicado estudio de los bulbos olfatorios.

Investigaciones anteriores como Bang y Cobb (1968) estudiaron la relación porcentual entre el diámetro de uno de los bulbos olfatorios con el diámetro de su respectivo hemisferio cerebral. Este estudio que incluyó a 108 especies de aves, sugiere que las aves con una relación porcentual mayor poseen un exitoso uso del sentido olfativo en comparación con aquellas aves de un bajo porcentaje. Entre las aves que poseen una alta relación porcentual la mayoría se encuentran en el Orden Procellariiformes (principalmente petreles), junto con ellos el Kiwi (*Apteryx australis*) del Orden Apterigiformes, también posee un porcentaje alto en esta relación (Bang & Cobb, 1968; Bang, 1971). Bang y Cobb (1968), indican que para explicar las razones de porqué estas aves poseen un porcentaje mayor, se deben hacer otros estudios con relación a la fisiología y etología de cada especie. Aún así, sugieren que las aves más relacionadas con el mar y pantanos, de acuerdo a los porcentajes obtenidos poseen un mayor uso del sentido del olfato.

Demostrando la relación existente entre la ecología y el desarrollo evolutivo Healy y Guilford (1990) profundizó los estudios de Bang y Cobb (1968) y Bang (1971), al extraer variables que causaban confusión en los resultados, tales como, el tamaño del cuerpo y del cerebro de cada especie. Healy y Guilford (1990) demostró que para las aves que tienen hábitos nocturnos existe un gran desarrollo del sentido del olfato y por ende de los bulbos olfatorios, no así las aves de hábitos diurnos (Healy & Guilford, 1990).



Todos estos resultados sugieren que de preferencia aves con hábitos marinos y nocturnos, pueden tener habilidades olfativas mucho más desarrolladas que las demás aves.

Taylor *et al.*, (2002) demuestran que el pingüino de Humboldt durante el forrajeo en el mar, prefiere realizar viajes durante la noche, con un porcentaje del 68.2% de todos los viajes de forrajeo. Este hábito de viajar de noche, se puede asociar a que los pingüinos prefieren utilizar el día para realizar los buceos así tener una visión mejor de sus presas y maximizar el tiempo de forrajeo (Luna-Jorquera and Culik, 1999; Culik, 2000; Taylor *et al.*, 2002). Los viajes nocturnos de los pingüinos que realizan para llegar a sus lugares de alta producción, requerirían de señales que les indiquen hacia dónde nadar. Durante la noche probablemente sea el olfato lo que guíe a estas aves a las áreas de alta producción en la búsqueda de alimento.

De acuerdo a estos estudios, y volviendo a la pregunta de la introducción, ¿Existen señales ambientales que los pingüinos puedan reconocer en tierra y usarla para guiarse a sus áreas de forrajeo? Al parecer, sí existe una señal que los pingüinos utilizan para guiarse en el mar, siendo el DMS un gatillador de la conducta de forrajeo.

Si bien este estudio, debido a la escasez de datos y la volatilidad del DMS, no pudo dar certeza cierta que el DMS es una señal olfativa para el pingüino de Humboldt, se propondrá un nuevo método para evaluar si el DMS -considerando todas las variables ambientales- juega un rol de señal para estos pingüinos.

Aunque se ha podido demostrar que bajo condiciones experimentales de condicionamiento clásico, el DMS es una potencial ayuda en la navegación de los pingüinos de Humboldt (Culik 2001), esto no demuestra que en la vida natural el pingüino de Humboldt relacione el DMS como señal olfatoria de mayor abundancia de peces.

Para tener una visión mas clara sobre este problema se debe investigar el nivel de desarrollo del sentido olfativo del pingüino de Humboldt. Para esto se aconseja coleccionar especímenes de toda el Orden Spheniscidae y comparar los bulbos olfatorios con el cerebro, en relación al tamaño y volumen, de la misma manera que lo realizó Bang y Cobb (1968) y Bang (1971). Además se deben incorporar las nuevas técnicas de Healy y Guilford (1990) quienes extraen las variables de tamaño corporal y cerebral para una mejor comparación entre especies. Junto con estos datos se debe adjuntar un estudio etológico y evolutivo para describir el hábito correspondiente de cada pingüino.

Conjeturando a partir de los resultados, probablemente el pingüino rey y el pingüino emperador debido a sus hábitos alimenticios y de desplazamiento (Ancel *et al.*, 1992) posea un mayor desarrollo en zonas cerebrales olfativas. Probablemente el pingüino de Humboldt, debido a su preferencia por los viajes de forrajeo nocturno también posea una nivel de desarrollo significativo.

Para mejorar el método utilizado en este experimento se deben incorporar algunos elementos que servirán para obtener una conclusión más firme de la relación entre el Pingüino de Humboldt y el DMS como estímulo olfativo natural, estos elementos son:

- a) Duración de la esencia de DMS en el ambiente
- b) Obtener variable ambientales como la temperatura ambiental y temperatura a nivel de los pingüinos
- c) Otros parámetros como, nubosidad, salida y puesta del sol, horas que el sol llega a la playa de estudio, radiación solar, velocidad del viento.

Todas las consideraciones anteriores apuntan para otorgar un mayor poder a nuestros resultados.

El fundamento para aumentar la duración de DMS en el ambiente, se observa en terreno y en el análisis. En terreno se pudo apreciar lo volátil de la esencia. A una altura de 30 metros, el DMS era fácilmente percibido por los observadores entre cinco a diez segundos después de la liberación del DMS en el mar. Aunque la esencia se pudo mantener por más tiempo gracias a la mezcla con aceite vegetal, las corrientes de la isla lograban diluir el núcleo de la esencia o simplemente la trasladarla hacia otras zonas, más lejanas de la playa de estudio. Aun así, esto daba un tiempo de observación entre tres a cuatro horas.

Preferentemente, un sistema tipo boya en donde en su interior posea un depósito en el cual se pueda contener DMS y lograr que este compuesto tenga

una liberación de su esencia durante las mismas horas de tiempo que se observó la conducta normal de los pingüinos, ayudaría a tener un contraste más amplio y por ende facilitar los análisis estadísticos.

Este sistema de boya, puede ser perfectamente observado desde esta isla. Aprovechando las características geográficas, se puede instalar un lugar de observación cerca de los acantilados con más de 30 metros de altura y así tener una visión amplia del experimento.

Distintos radios alrededor de esta boya, nos indicaría si existe alguna atracción de los pingüinos hacia el núcleo de la esencia de DMS

Idealmente para facilitar el análisis estadístico y a la vez otorgar un mayor poder al resultado, se debe comparar el día completo registrado como conducta normal con un día completo de exposición con DMS.

Las variables ambientales como la temperatura ayudarían a mantener un control en la calidad de DMS. A mayor temperatura el DMS se degrada mas rápidamente (Matrai, com pers), Considerando este punto, la anterior sugerencia de una boya debe estar protegida del sol o bien la boya debe mantenerse a media agua, para que la temperatura del DMS no aumente.

Los otros parámetros mencionados complementan la visión de la situación en terreno, probablemente se observen relaciones entre el desplazamiento de los pingüinos y la salida del sol, como también la radiación solar o las horas que el sol llega a la playa.

## 5.1 Proyección o pertinencia del trabajo

Frente a la actual situación que se vive en la zona, oceanográfica, social y económicamente, es preciso que se aumente el número de investigaciones enfocadas en esta área.

En lo que a esta investigación respecta, los resultados obtenidos aportan a dilucidar las hipótesis que proponen al pingüino de Humboldt, como una especie capaz de reconocer señales ambientales para el forrajeo, señales que si logran ser identificadas, serán de gran utilidad para establecer patrones de comportamiento del pingüino de Humboldt, tanto en condiciones favorables, como adversas como por ejemplo, frente a un evento de El Niño.

El estudio de los patrones de forrajeo del pingüino de Humboldt, la identificación de sus rutas de movimiento y su relación con las pesquerías permitirán evitar las zonas de potencial conflicto, principalmente relacionados con la mortalidad incidental en redes de pesca. Así al establecer lugares de mayor probabilidad de forrajeo para estas aves, se podrán crear áreas protegidas o por lo menos reguladas y evitar de esta manera más muertes de aves por pesca incidental.

Este trabajo toma en consideración las recomendaciones que el Workshop de Coquimbo del año 2000, establece para esta especie en el punto 4.

## 6 CONCLUSIONES

- Se deben realizar nuevas investigaciones enfocadas en el sentido olfativo de toda el Orden Spheniscidae.
- Futuros experimentos deben excluir la variable de conducta agregada de los pingüinos así obtener resultados referente a una conducta innata o aprendida que refleje una respuesta clara frente a un estímulo determinado.
- La volatilidad del Dimetil Sulfuro (DMS) impide la permanencia en el ambiente por un periodo de tiempo suficiente para un análisis pertinente. La utilización de un sistema de permanente liberación de esta esencia permitirá una mejor comparación de los resultados.
- Si bien se obtienen valores en donde el DMS puede estar interfiriendo en la conducta de los pingüinos, debido a la no exclusión de la variable de conducta de agregados, no se puede asociar esta respuesta únicamente al DMS.
- Sin embargo, de acuerdo a los resultados estadísticos de este estudio, se rechaza la hipótesis nula, para la conducta de Ida al mar. Y es aceptada para las conductas de “subida”, “bajada” y “retorno”.

## 7 LITERATURA CITADA

- Ancel, A., Kooyman, G., Ponganis, P., Gendner, J.-P., Lignon, J., Mestre, X., Huin, N., Thorson, P., Robisson, P. And Le Maho, Y. (1992) Foraging behaviour of emperor penguins as a resource detector in winter and summer. *Nature*, 360,336-339.
- Araya, B., Millie, G. And Bernal, M. (1996) Guía de campo de las aves de Chile. Séptima edición. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 405 pp.
- Ballance L., Ainley, D. And Hunt Jr. (2001) Seabirds foraging ecology. 2636-2644 in: Steele, J., Thorpe, S. And Turekian, K. *Encyclopedia of Ocean Science*, vol. 5, Academic Press, London.
- Bang, B. And Cobb, S. (1968) The size of the olfactory bulb in 108 species of birds. *Auk*, 85,55-61.
- Bang, B. (1971) Functional anatomy of the olfactory system in 23 orders of birds. *Acta Anatomica*, 79,1-76
- Bürgermeister, S., Zimmermann, R., Georii, H., Bingemer, H., Kirst, G., Janssen, M. And Ernst, W. (1990) On the biogenic origin of dimethylsulfide: relation between chlorophyll, ATP, organismic DMSP, phytoplankton species and DMS distribution in atlantic surface water and atmosphere. En *Journal of Experimental Biology*, 203,2311-2322 (Culik *et al.*, 2000)
- Capella, J., Vilina, Y. And Gibbons, J. (1999) Observación de cetáceos en isla chañaral y nuevos registros para el área de la reserva nacional pingüino de humboldt, norte de Chile. *Estudios oceanológicos*, 18,57-64

- CCAMLR, Comisión para la conservación de los recursos vivos marinos antárticos (1996) *Pesque en la mar no en el cielo*. Ed. CCRVMA, Australia.
- CONAF. (2004) Reserva Nacional Pingüino de Humboldt. (Disponible en <http://www.conaf.cl>. Consultado en: Septiembre 2004)
- Conservation breeding specialist group. (2000) Conservation workshop. *Spheniscus penguin*. Section 3. (Disponible en [http://www.cbsg.org/report/exec\\_sum/SpheniscusPenguin\\_HighRes.pdf](http://www.cbsg.org/report/exec_sum/SpheniscusPenguin_HighRes.pdf). Consultado en: Julio 2004)
- Croxall, J.P. And Davis, L.S. (1999) Penguins: paradoxes and patterns. *Marine Ornithology*, 27,1-12.
- Culik, B. And Luna-Jorquera, G. (1997a) The Humboldt penguins: a migratory bird? *Journal of Ornithology*, 138,325-330.
- Culik, B. And Luna-Jorquera, G. (1997b) Satellite tracking of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) in northern Chile. *Marine Biology*, 128,547-556
- Culik, B., Luna-Jorquera, G., Correa, H And Oyarzo. H. (1998) Humboldt penguins monitored via VHF-telemetry. *Marine Ecology Progress Series*, 162,279-288.
- Culik, B., Hennicke, J And Martin, T. (2000) Humboldt penguins outmanoeuvring El Niño. *Journal of Experimental Biology*, 203,2311-2322.
- Culik, B. (2001) Finding food in the open ocean: foraging strategies in Humboldt penguins. *Zoology Analysis of Complex Systems*,104,327-338
- Dacey, J.W.H. And Wakeham, S.G. (1986) Oceanic dimethylsulfide: Production during zooplankton grazing on phytoplankton. *Science*, 233, 1314-1316.



- Díaz H. And Rozas C. (2002) Sociedad Planeta Vivo 2002, El pingüino de Humboldt. (Disponible en: <http://www.planetavivo.org>. Consultado en: Septiembre 2004).
- Ellis, S. (1999) The penguin conservation assessment and management plan: A description of the process. *Marine Ornithology*, 27,163-169.
- Gabric, A., Murray, C.N, Stone, L. And Kohl, M. (1993) Modelling the production of dimethylsulfide during a phytoplankton boom. *Journal of Geophysical Research*, 98,22805-22816.
- Healy, S. And Guilford, T. (1990) Olfactory-Bulb size and nocturnality in bird. *Evolution*, 44, 339-346.
- Hennemann, W. (1984) Spread-winged behaviour of double-crested and flightless cormorant *Phalacrocorax auritus* and *P.harrisi*: win drying or thermoregulation?. *Ibis*, 126, 230-239.
- IUCN. (2003) 2003 IUCN Red List of Threatened Species. Downloaded on 17 November 2003
- Kiene, R. And Bates, T. (1990) Biological removal of dimethyl sulphide from sea water. *Nature*, 345,702-705.
- Luna-Jorquera, G. And Culik, B. (1999) Diving behaviour of humboldt penguins *Spheniscus humboldti* in northern Chile. *Marine Ornithology*, 27,67-76.
- Matrai, P. And Keller, M. (1993) Dimethylsulfide in a large-scale coccolithophore bloom in the Gulf of Maine. *Continental Shelf Research*, 13,831-843.
- Merck, (2004). Chemical Database-Online. Safety date sheet of Dimethyl sulfide. (Disponible en <http://chemdat.merck.de/documents>. (Consultado en: Octubre 2002) .

- McTaggart, A.R. And Burton, H. (1992) Dimethyl sulphide concentration in the surface waters of the Australasian Antarctic and Subantarctic Oceans during an austral summer. *Journal of Geophysical Research-Ocean*, 97,14.407-14.4
- Nevitt, G., Veit, R. And Kareiva, P. (1995) Dimethyl sulphide as a foraging cue for Antarctic procellariiform seabirds. *Nature*, 376,680-682.
- Nevitt, G. (1999) Foraging by seabirds on an olfactory landscape. *American Scientist*, 87,46-53
- Nevitt, G. (2000) Olfactory foraging by Antarctic procellariiform seabirds: Life at high Reynolds numbers. *Biol. Bull*, 198,245-253.
- Nevitt, G. and Haberman, K. (2003) Behavioral attraction of Leach's storm-petrels (*Oceanodroma leucorhoa*) to dimethyl sulfide. *Journal of Experimental Biology*, 206,1497-1501.
- Nevitt, G. (2004a) Mechanism of animal behavior. Material on-line. Curso NPB-102 Couse Web URL: <http://www.npb.ucdavis.edu/spring2004/102>
- Nevitt, G. (2004b) Seeing the world through the nose of a bird: New insights into the sensory ecology of Procellariiforms. Third International Albatross and Petrel Conference (IAPC). Resumen. Agosto 2004
- Otsuka, R., Aoki, K., Hori, H. And Wada M. (1998). Changes in circulating LH, sex steroid hormones, thyroid hormones and corticosterone in relation to breeding and molting in captive Humboldt penguin (*Spheniscus humboldti*) kept in an outdoor open display. *Zoological Science*, 15,103-109.
- Pagès, F., Gonzalez, H., Ramon, M., Sobrazo, M. And Gili, J. (2001) Gelatinous zooplankton assemblages associated with water masses in the Humboldt

- Current System, and potencial predatory impact by *Bassia bassensis* (Siphonophora: Calycophorae) *Marine ecology progress series*, 210, 13-24.
- Paredes, R., Zavalaga, C. And Boness, D. (2002) Patterns of egg laying and breeding success in Humboldt penguins (*Spheniscus Humboldti*) at Punta San Juan, Perú. *Auk*, 119,244-250.
- Paredes, R., Zavalaga, C. Battistini, G., Majluf, P. And McGill P. (2003) Status of the Humboldt penguins in Perú. *Waterbirds*, 26,129-138.
- Schreiber, E. And Burger, J. (2002) Biology of marine birds. Boca Raton, CRC. pp 772.
- Simeone, A. Y Hucke-Gaete, R. (1997) Presencia de pinguino de humboldt (*Spheniscus humboldti*) en isla Metalqui Parque Nacional Chiloé, Sur de Chile. *Boletín Chileno de Ornitología*, 4,34-36
- Simeone, A., Bernal, M. And Meza, J. (1999) Incidental mortality of Humboldt penguin *Spheniscus humboldti* in gill nets, central Chile. *Marine Ornithology*, 27,157-161.
- Simeone, A., Araya, B., Bernal, M., Diebold, E. N., Grzybowsky, K., Michaels, M., Teare, J. A., Wallace, R.S And Willis, M.J. (2002) Oceanographic and climatic factors influencing breeding and colony attendance patterns of Humboldt penguins *Spheniscus Humboldti* in central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 227,43-50.
- Simeone, A., Luna-Jorquera, G. And Wilson, R.P. (2004) Seasonal variations in the behavioural thermoregulation of roosting Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) in north-central Chile. *Journal of Ornithology*, 145, 35-40

- Simó, R., Grimalt, J., Pedros-Alio, C. And Albaiges, J. (1995) Occurrence and transformation of dissolved dimethyl sulfur species in stratified seawater (western Mediterranean Sea). *Marine Ecology Progress Series*, 127,291-299.
- Simó, R., Archer, S., Pedrós-Alió, C., Gilpin, L. And Stelfox-Widdicombe, C. (2002) Coupled dynamic of demethylsulfoniopropionate and dimethylsulfide cycling and the microbial food web in surface waters of the North Atlantic. *Limnol, Oceanogr*, 47,53-61.
- Stonehouse, B. (1975) The biology of penguins. University Park Press, Baltimore. U.S.A. pp 555.
- Taylor, S., Leonard, M., Boness, D. And Majluf P. (2002) Foraging by humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) during the chick-rearing period: general patterns, sex differences, and recommendations to reduce incidental catches in fishing nets. *Can J Zoology*, 80,700-707.
- Vetter, Y. And Sharp, J. (1993) The influence of light intensity on dimethylsulfide production by a marine diatom. *Limnology oceanographic*, 38, 419-425.
- Walraff, H. (1981) The olfactory component of pigeon navigation: steps of analysis. *Journal of Comparative Physiology*, 143,411-422

## 8 ANEXO

### 8.1 Características de la especie

Tamaño adulto: 50-60 cm.

Peso adulto: 3.5 – 4.5 Kg.

### 8.2 Hábitat y rango de distribución

El pingüino de Humboldt habita en climas cálidos, se le encuentra únicamente en las costas de Perú y Chile. La actual distribución del pingüino de Humboldt se extiende desde la isla Foca (5° 12 S) en Perú hasta las islas Puñihuil (42° 73 S) en Chile (Araya *et al.*, 1996). Suelen ser avistados en roqueríos o en playas. En la mayoría de los casos sus sitios de crianza se concentran en islas cercanas a la costa, fuertemente influidas por la fría Corriente de Humboldt, rica en nutrientes y de importante productividad (Fig. 17) (Culik and Luna-Jorquera, 1997; Pagès *et al.*, 2001; Simeone *et al.*, 2002).

### 8.3 Dieta

La dieta del pingüino de Humboldt esta constituida principalmente por peces en particular anchovetas (*Engraulis ringens*) y sardinas (*Sardinops sagas*) (Culik and Luna-Jorquera, 1997a). No son predadores bentónicos pero acostumbran bucear entre profundidades de 10 a 30 mt. Dependiendo de la hora del día se han podido registrar buceos de hasta 54 metros de profundidad (Culik *et al.*, 2000),

permaneciendo sumergidos en total por unas 9 a 13 horas por día (Culik *et al.*, 2000; Culik and Luna-Jorquera, 1997b). Los pingüinos cazan peces en forma activa alcanzando velocidades de nado de 1.7 m/s (Culik *et al.*, 1998).

#### **8.4 Reproducción**

El Pingüino de Humboldt es monógamo. Usualmente anida durante dos periodos en el año, entre los meses de agosto y enero, y abril y junio (Simeone *et al.*, 2002) Ponen uno a dos huevos en nidos contruidos normalmente en tierra, bajo la protección de arbustos o rocas. Es normal que ambos huevos sean exitosos y logren sobrevivir al ciclo de cría, que dura aproximadamente 4 meses (Paredes *et al.*, 2002; Croxall and Davis, 1999). La incubación dura alrededor de 40.7 días (Croxall and Davis, 1999). Los turnos de forrajeo de las parejas durante el período de crianza, son similares para ambos sexos (Taylor *et al.*, 2002). La única diferencia que se ha registrado entre las parejas durante este período, fue la profundidad de buceo, siendo los machos quienes registran una mayor profundidad (Taylor *et al.*, 2002).

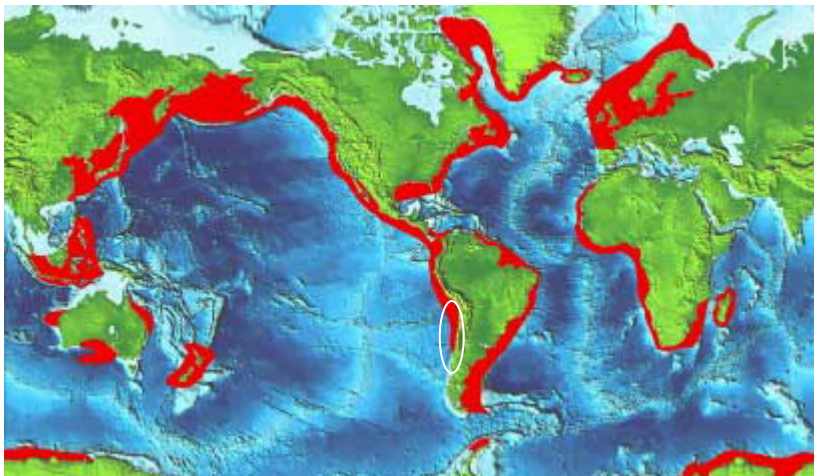
#### **8.5 Estatus**

El pingüino de Humboldt es una de las especies con mayor amenaza entre todos los pingüinos por muchas razones. El Guano, que es utilizado para fabricar los nidos, es aún utilizado algunas zonas del Perú para la fertilización de suelos (Paredes *et al.*, 2003). A esta situación se le debe agregar la constante disminución del alimento, debido a la pesca industrial y artesanal (Simeone *et al.*, 1999; Taylor *et al.*, 2002; Paredes *et al.*, 2003). La especie es considerada como

Vulnerable según la IUCN (2003), siendo incluida en el apéndice I de CITES. (Conservation Workshop, 2000; Ellis, 1999)

## 8.6 Población

Al mismo tiempo que esta investigación se estaba realizando, un equipo de la Universidad Católica del Norte realizaba un censo en la isla. Un total de 22.021 individuos fueron contabilizados. Este censo contó con una nueva metodología que acercó aun más al número real de pingüinos en la isla y que pone en duda del verdadero total de pingüinos que existe en toda la distribución (Mattern, datos no publicados). La nueva metodología de registro, incluyó la utilización de cuadrantes y un índice de pingüinos que se esconden en los nidos mientras se realiza el censo en tierra (Mattern, com pers).



**Figura 17.-** Surgencias mundiales. Uno de los patrones de circulación oceánica global. Las manchas rojas en el mapa indican las zonas de surgencias permanentes. El círculo blanco abarca aproximadamente, la zona en donde se distribuye en pingüino de Humboldt.