

Investigación preliminar sobre la ecología y comportamiento de las ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de Corcovado, Chile

por

Alessandro Bocconcelli¹, Leigh Hickmott^{2,3}, Rafaela Landea Briones⁴,
Gloria Howes⁴ y Laela Sayigh¹

Septiembre 2014



Fotografía: Daniel Casado

- (1) Woods Hole Oceanographic Institution, 266 Woods Hole Road, Woods Hole, Massachusetts 02543-1050, EEUU. Correo electrónico: abocconcelli@whoi.edu, lsayigh@whoi.edu
- (2) Open Ocean Consulting, 2 Borough House, 72 Borough Road, Petersfield, Hampshire, GU32 3LF, Reino Unido. Fono: +44 (0)1730 233231, correo electrónico: leighhickmott@theopenocean.co.uk
- (3) Scottish Oceans Institute, East Sands, University of St Andrews, St Andrews, Fife, KY16 8LB, Reino Unido. Correo electrónico: leighhickmott@st-andrews.ac.uk
- (4) Centro MERI, Av. Kennedy 5454, Of. 1002, Vitacura, Santiago, Chile. Correo electrónico: rafaela@centromeri.cl, gloria@centromeri.cl

Informe técnico

Financiado por el Centro de Investigación de Ecosistemas de Melimoyu (MERI)
Aprobado para su publicación; distribución ilimitada.

WHOI-2014-05

**Investigación preliminar sobre la ecología y comportamiento de las ballenas azules
(*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de Corcovado, Chile**

por

Alessandro Bocconcelli¹, Leigh Hickmott^{2,3}, Rafaela Landea Briones⁴,
Gloria Howes⁴ y Laela Sayigh¹

- (1) Woods Hole Oceanographic Institution, 86 Water Street, Woods Hole, Massachusetts 02543-1041, EEUU. Correo electrónico: abocconcelli@whoi.edu lsayigh@whoi.edu
- (2) Open Ocean Consulting, 2 Borough House, 72 Borough Road, Petersfield, Hampshire, GU32 3LF, Reino Unido. Fono: +44 (0)1730 233231, correo electrónico: leighhickmott@theopenocean.co.uk
- (3) Scottish Oceans Institute, East Sands, University of St Andrews, St Andrews, Fife, KY16 8LB, Reino Unido. Correo electrónico: leighhickmott@st-andrews.ac.uk
- (4) Centro MERI, 15.312.010-2 Av. Kennedy 5454, Of. 1002, Vitacura, Santiago, Chile. Correo electrónico: rafaela@centromeri.cl

Septiembre 2014

Informe Técnico

Financiado por el Centro de Investigación de Ecosistemas de Melimoyu (MERI)

Este informe debe citarse de la siguiente manera: Informe Técnico WHOI-2014-05.
Aprobado para su publicación; distribución ilimitada.

Aprobado para su distribución:

John Trowbridge, Director

Departamento de Física e Ingeniería Oceánica Aplicada
Institución Oceanográfica de Woods Hole (*Woods Hole Oceanographic Institute*, WHOI)

Resumen

Un esfuerzo conjunto entre el Instituto WHOI y el Centro MERI tuvo como objetivo tratar de comprender de mejor manera a una población de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de Corcovado, Chile. Un crucero realizado en el mes de marzo de 2014 tuvo como resultado la instalación de 5 dispositivos DTAG, que son etiquetas de registro acústico y de orientación en miniatura que se fijan por medio de ventosas. Se lograron instalar cinco etiquetas en cuatro ballenas individuales, y se registró un total de 21 hrs. y 11 min. de grabación. Las inmersiones fueron en su mayoría entre los 10 y los 50 metros (m) de profundidad, con un máximo de 139 m. Se conservaron muestras de heces y de tejido dérmico hallado en las ventosas de las etiquetas recuperadas para utilizarlas posteriormente en análisis genéticos, dietarios y de contaminantes. La información acústica de las etiquetas reveló numerosas llamadas de ballenas azules distantes y se registró un aparente intercambio de llamadas entre un juvenil marcado y un ejemplar distante. Se obtuvieron imágenes de foto-identificación y registros acústicos de todas las especies de mamíferos marinos encontradas cada vez que fue posible; estas especies incluyeron ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), delfines australes (*Lagenorhynchus australis*), delfines chilenos (*Cephalorhynchus eutropia*) y delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*). Continuar con este trabajo colaborativo es esencial para poder proporcionar información a los legisladores del país con respecto a la manera de proteger los hábitats únicos de esta región.

Leyenda de la figura de la portada:

Fotografía de una etiqueta acústica digital (DTAG) fijada a ventosas, siendo instalada en una ballena azul utilizando un bastón de fibra de carbono desde un zódiac en el Golfo de Corcovado, Chile, durante el mes de marzo de 2014. Fotografía tomada por Daniel Casado, autorizada por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, bajo el permiso de investigación PINV 38-2.014 Ballena Azul, Golfo Corcovado.

Tabla de Contenidos

1.	
Introducción.....	1
2. Personal del Proyecto y Embarcación Mayor.....	3
3. Métodos de campo	3
3.1 Seguimiento, recolección de datos visuales y foto-identificación	4
3.2 Marcado.....	4
3.3 Muestras genéticas.....	4
3.4 Registros oportunistas	5
4. Resultados.....	5
4.1 Foto-identificación.....	6
4.2 Esfuerzo de marcado	11
4.3 Muestras genéticas	13
4.4 Registro acústico oportunista.....	14
5. Impacto y trabajo futuro	16
6. Agradecimientos.....	17
7. Referencias.....	18
Apéndice I. Instrucciones para la recolección de datos sobre el comportamiento de la ballena azul	20

Lista de Figuras

Figura 1. Mapas con la ubicación de la región de estudio	2
Figura 2. Imágenes de las etiquetas y su método de instalación	2
Figura 3. Embarcación mayor <i>Centinela</i>	3
Figura 4. Área de estudio y trayectorias de la embarcación	5
Figura 5. Ubicación de los lugares de avistamiento de cetáceos	6
Figura 6. Imágenes de foto-identificación de ballenas azules	8
Figura 7. Imágenes de foto-identificación de ballenas jorobadas	10
Figura 8. Perfiles de inmersión de cuatro ballenas azules marcadas	12
Figura 9. Espectrogramas de sonidos registrados en las etiquetas de los presuntos madre y juvenil	12
Figura 10. Espectrograma de sonidos de delfines nariz de botella	15
Figura 11. Espectrograma de sonidos de delfines australes.....	15
Figura 12. Espectrograma de sonidos de delfines chilenos	16
Figura A1. Hoja de datos con las observaciones en el comportamiento de ballenas marcadas....	21

Lista de Tablas

Tabla 1. Especies de cetáceos avistadas	6
Tabla 2. Especies de mamíferos marinos documentados mediante foto-identificación	7
Tabla 3. Encuentro con ballenas azules y resúmenes de foto-identificación	7
Tabla 4. Latitudes y longitudes de los lugares donde se foto-identificaron ballenas azules y jorobadas	9
Tabla 5. Encuentro con ballenas jorobadas y resúmenes de foto-identificación	10
Tabla 6. Resúmenes de instalación de etiquetas en ballenas azules	11
Tabla 7. Información resumida de ocho muestras genéticas	13
Tabla 8. Detalles relativos a los registros acústicos oportunistas.....	14

1. Introducción

Las ballenas azules son conocidas principalmente por dos cosas muy distintas; en primer lugar, por ser el animal más grande que ha existido en la Tierra y, segundo, por haber sido cazadas hasta casi su extinción durante la época de la caza de ballenas en el siglo XX. Durante esta época, más de cuatro mil ejemplares fueron capturados sólo en aguas chilenas (Williams et al. 2011). La especie ha tardado en recuperarse de su casi total aniquilación, de ahí la importancia de un valioso descubrimiento hecho en el año 1993, cuando se encontró una pequeña población de 232 individuos en el Golfo de Corcovado, en la Ecorregión Chiloense al sur del país (Hucke-Gaete et al. 2004). Estudios morfométricos, acústicos y genéticos indican que estas ballenas son parte de una población más grande que habita en el Pacífico Sudeste distinta a las subespecies de ballenas azules antárticas (*B. musculus intermedia*) y pigmeas (*B. musculus breviceauda*) (Branch et al. 2007, Buchan et al. 2014, Torres-Florez et al. 2014). Se requiere de más investigaciones para establecer el grado de aislamiento de la población y la salud y viabilidad de los individuos que la integran. Saber esto es de vital importancia ya que permitirá a los legisladores en Chile tomar decisiones de manejo informado con respecto a la conservación de esta población.

Este estudio se propuso obtener datos sobre la ecología, la búsqueda de alimento y el comportamiento acústico de ballenas azules individuales en y alrededor del Golfo de Corcovado, Chile (Fig. 1), a través de la instalación de etiquetas acústicas digitales fijadas a ventosas (DTAGs; Fig. 2). Los dispositivos DTAGs son pequeñas etiquetas capaces de registrar sonido y orientación que han sido desarrolladas en WHOI (Johnson y Tyack, 2003). Contienen un transmisor de alta frecuencia utilizado para realizar un seguimiento de la ballena marcada durante la instalación de la etiqueta y para recuperarla después de ser liberada. Estos dispositivos registran sonido en la ballena, así como profundidad, información del magnetómetro y aceleración tridimensional, por lo tanto proporcionan información sobre el perfil de inmersión, movimiento y vocalización de los ejemplares. La etiqueta se fija con cuatro ventosas por medio de un bastón de fibra de carbono de ocho metros de largo (foto de portada, Fig. 2), y se puede programar para desprenderse después de hasta 24 horas. El objetivo principal de este trabajo fue lograr que las ballenas portaran las etiquetas durante varias horas y así obtener seguimiento visual, radial y foto-identificación. Un objetivo secundario fue complementar y dar continuidad a un proyecto anterior del Centro MERI iniciado el año 2012 que involucra el monitoreo acústico pasivo de ballenas azules en el Golfo de Corcovado (Fig. 1). Estos esfuerzos combinados buscan comprender de mejor manera el uso del hábitat y establecer estimaciones de abundancia en el área de estudio. El mes de marzo fue elegido para llevar a cabo el esfuerzo de campo, esto basado en avistamientos históricos de ballenas azules, detecciones acústicas y datos meteorológicos del lugar.

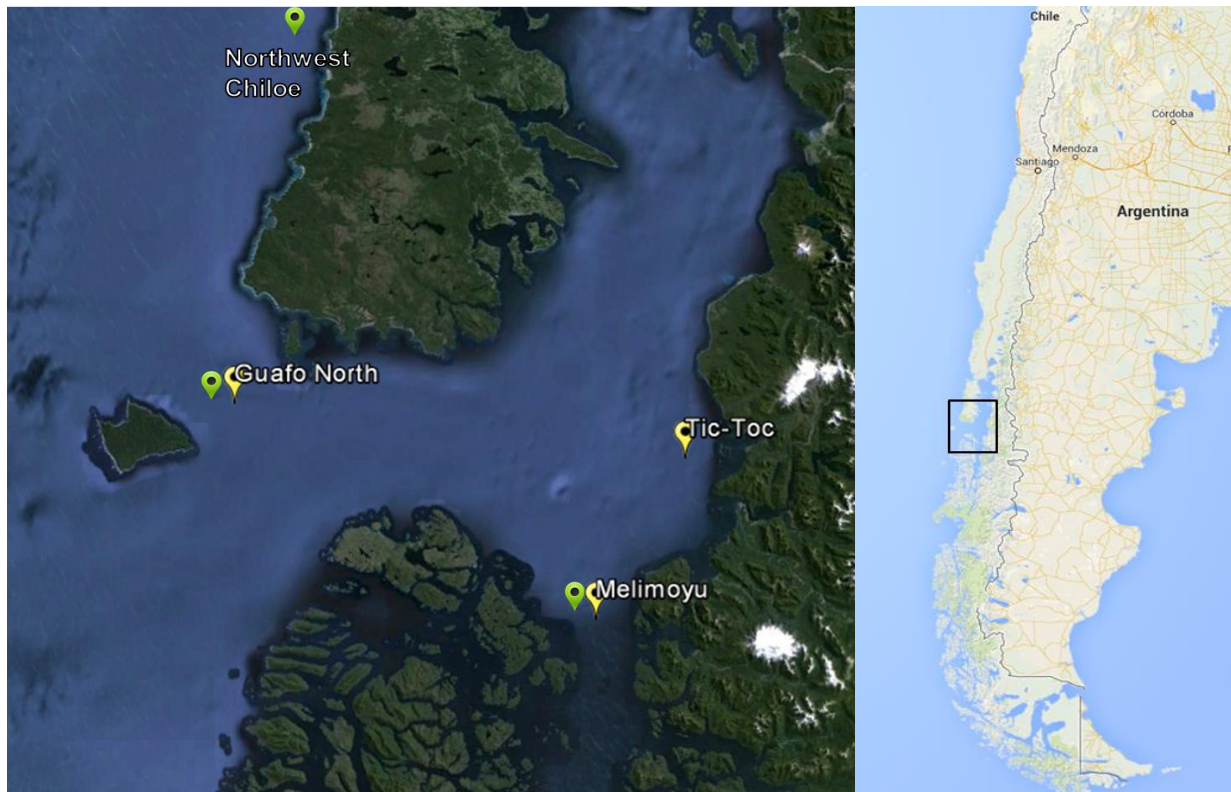


Figura 1. Mapas con la ubicación de la región de estudio en la costa de Chile (cuadrado negro a la derecha) A la izquierda se puede apreciar esta área con mayor detalle, así como los sitios donde se encuentran las estaciones de monitoreo acústico pasivo. Estos lugares fueron considerados como las principales áreas de búsqueda de alimento en las cuales buscar y detectar ballenas azules en el Golfo de Corcovado (Hucke-Gaete y Buchan, 2012)



Figura 2. La etiqueta (DTAG, esquina inferior izquierda) y su método de instalación mediante un bastón manual (esquina superior izquierda); las imágenes de la derecha muestran la etiqueta fijada a una ballena azul con sus cuatro ventosas y el tamaño de ésta, pequeño en relación al tamaño del animal.

2. Personal del proyecto y embarcación mayor

El personal del crucero estuvo integrado por Alessandro Bocconcelli (WHOI), quien estuvo a cargo de las operaciones de campo, Leigh Hickmott (Consultor de Open Ocean Consulting y de la Universidad de St. Andrews), que estaba encargado de la recolección de datos y Rafaela Landea (MERI), que organizó la logística local incluyendo la obtención de permisos de investigación y a otros observadores. Gloria Howes (MERI) contribuyó con la logística de campo. Personal de campo adicional incluyó a Tessa Roorda (monitoreo visual) y Daniel Casado (quien tomó fotografías y grabó videos). Laela Sayigh (WHOI) ayudó con el análisis de datos fuera de la embarcación principal. Un barco de pesca artesanal de 18,6 metros, llamado *Centinela*, fue empleado como la embarcación de estudio principal, y resultó ser ideal para los requerimientos experimentales del estudio (Fig. 3). Esta motonave fue capaz de albergar una tripulación científica de 8 personas, de transportar un bote para la instalación de etiquetas de 4,2 m (un zódiac con un motor de cuatro tiempos y 25 caballos de fuerza) y de proporcionar una plataforma de observación visual adecuada.



Figura 3. La embarcación mayor *Centinela*

3. Métodos de trabajo de campo

Todos los días, si lo permitían las condiciones climáticas y el estado del mar, los esfuerzos de búsqueda visual para detectar mamíferos marinos comenzaban al amanecer en la motonave. Todos los avistamientos de cetáceos se registraron en el programa computacional Data Logger (véase Seguimiento, recolección de datos visuales a continuación y Apéndice I), y se recopilaban imágenes de foto-identificación cada vez que fue posible. Una vez que se detectaban ballenas, se evaluaba la posibilidad de marcarlas y, si las condiciones eran favorables, se daba inicio al proceso de marcado.

3.1 Seguimiento, recolección de datos visuales y foto-identificación

Para comenzar con la búsqueda visual de animales para marcar y observar su comportamiento durante el proceso de marcado y el seguimiento, se instaló una plataforma de observación de mamíferos marinos en la cubierta del puente volante del *Centinela*. Los observadores escaneaban

a simple vista y con binoculares con aumentos de 7x50. Esta plataforma estaba equipada con un computador en el que operaba el programa Data Logger (que graba información como tipo de especie, tamaño del grupo, comportamiento, latitud, longitud, etc.; véase el Apéndice I) y con un sistema digital de radiogoniometría de alta frecuencia para rastrear la etiqueta. Se recopilaban fotografías digitales y/o de videos para registrar las especies y cualquier marca identificadora cada vez que fue posible.

3.2 Marcado - El personal del zódiac estuvo compuesto por un piloto (Bocconcelli), un fotógrafo (Daniel Casado) y un etiquetador (Hickmott), encargado de instalar la etiqueta usando el bastón manual de fibra de carbono. Se intentó etiquetar a todas las ballenas de un grupo cuando éstas parecían estar coordinadas y eran propensas a permanecer juntas, minimizando así el riesgo de pérdida de etiquetas.

Los observadores visuales en el *Centinela* ayudaron a dirigir el zódiac hacia los animales, monitorearon los acercamientos y aseguraron el cumplimiento del permiso del proyecto. Las hojas de datos y los registros de datos de computadora se mantuvieron en ambas embarcaciones, y se detallan ahí todos los acercamientos para conseguir el marcado. Si éste resultaba ser infructuoso después de varios intentos, se suspendían los esfuerzos. Durante estas horas de esfuerzo, se recopilaban fotografías digitales de 35 mm y de videos siempre que fue posible, y se recolectaron muestras fecales y de tejido dérmico (véase Muestras Genéticas a continuación).

Una vez que la ballena resultaba ser marcada con éxito y se recogían todos los datos relevantes, el zódiac regresaba a la motonave, la que posteriormente se utilizaba para realizar un seguimiento y mantener los esfuerzos visuales y de foto-identificación el tiempo que duraran las observaciones de comportamiento y el seguimiento (a excepción de las horas nocturnas). Por la noche, se utilizó la antena receptora de alta frecuencia principal de la motonave para el seguimiento radial de la ballena o ballenas marcadas (el *Centinela* podía rastrear más de un animal usando conjuntos de antenas separados). Los intentos de marcado continuaban durante las horas del día y un día sólo estaba completo cuando se recuperaban todas las etiquetas y ya no había suficiente luz para continuar con el marcado. Las etiquetas se recuperaban con una red de mano desde la motonave. La información del marcado se descargó a bordo de la motonave, y también se recargaron y esterilizaron las etiquetas para su uso posterior.

3.3 Muestras genéticas - Se recogieron muestras de tejido dérmico y de heces cada vez que fue posible para realizar análisis genéticos (por ejemplo, determinación de sexo, parentesco y estudios de población), dietéticos y de contaminantes. Estos restos de tejido dérmico se hallaron en las ventosas de las etiquetas y las muestras fecales se tomaron con una red de plancton cada vez que se pudieron observar. Todas las muestras fueron almacenadas adecuadamente en una solución de DMSO al 20% súper saturada con NaCl y congelada, y fueron dejadas en el Centro MERI para ser analizadas por el Dr. Gustavo Chiang (Universidad de Concepción, Chile), como

parte del estudio: "Biomagnificación y Potenciales Efectos de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) y Metales Traza en la Trama Trófica Acuática de la Península Antártica y Patagonia"

3.4 Registros oportunistas - Se hicieron registros acústicos oportunistas cuando se estuvo en presencia de otras especies de mamíferos marinos. Durante estos encuentros, las etiquetas fueron puestas en el agua para que flotaran cerca de los animales o fueron fijadas al bastón de marcado y situadas bajo el agua para registrar sonidos.

4. Resultados

Se llevó a cabo un crucero de trece días (desde el 15 al 27 de marzo de 2014), que partió desde Dalcahue en la isla de Chiloé, Chile (Fig. 4). Los días 15 y 16 se utilizaron para preparar la embarcación, los equipos y llegar al área principal de estudio. Del día 17 al 27, los esfuerzos de búsqueda se centraron en el Golfo de Corcovado, desde Dalcahue en el lado oriental de la isla de Chiloé, hasta Melinka, Melimoyu y la salida norte del canal Moraleda (Fig. 4). Durante 11 días de trabajo, se recorrieron más de 682 millas náuticas (mn) y se completaron más de 118 horas de registro acústico. Este esfuerzo tuvo como resultado 48 avistamientos de seis especies de cetáceos (Tabla 1 & Fig. 5), todos los cuales se ubicaron dentro de la región de hábitat conocida y destacada por el estudio acústico pasivo anterior (Figs. 1 y 5). Además, hubo abundantes avistamientos de dos especies de otarios, el león marino de uno (*Otaria flavescens*) y dos pelos (*Arctocephalus australis*), y se pudo observar también a un chungungo (*Lontra felina*). No obstante, las ballenas azules fueron el foco principal del crucero y los esfuerzos de búsqueda se centraron en localizar a esta especie.

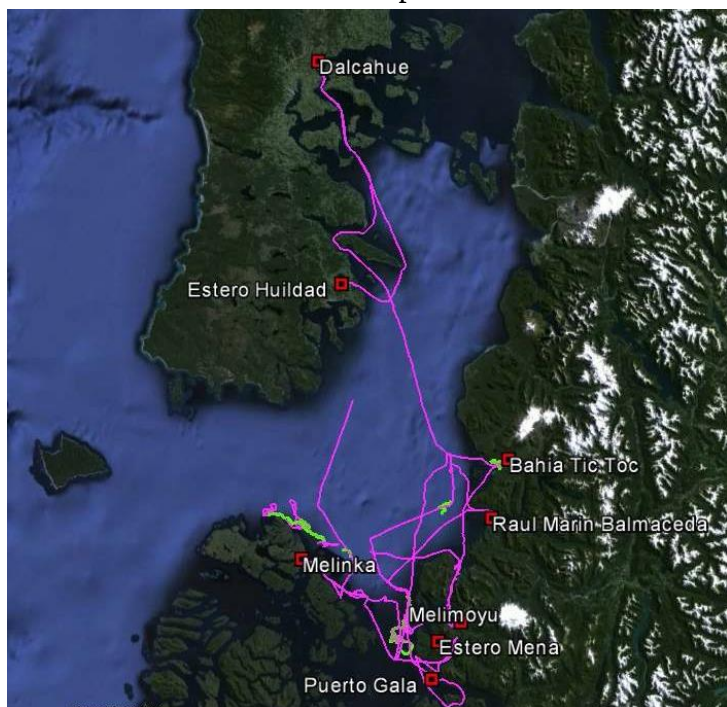
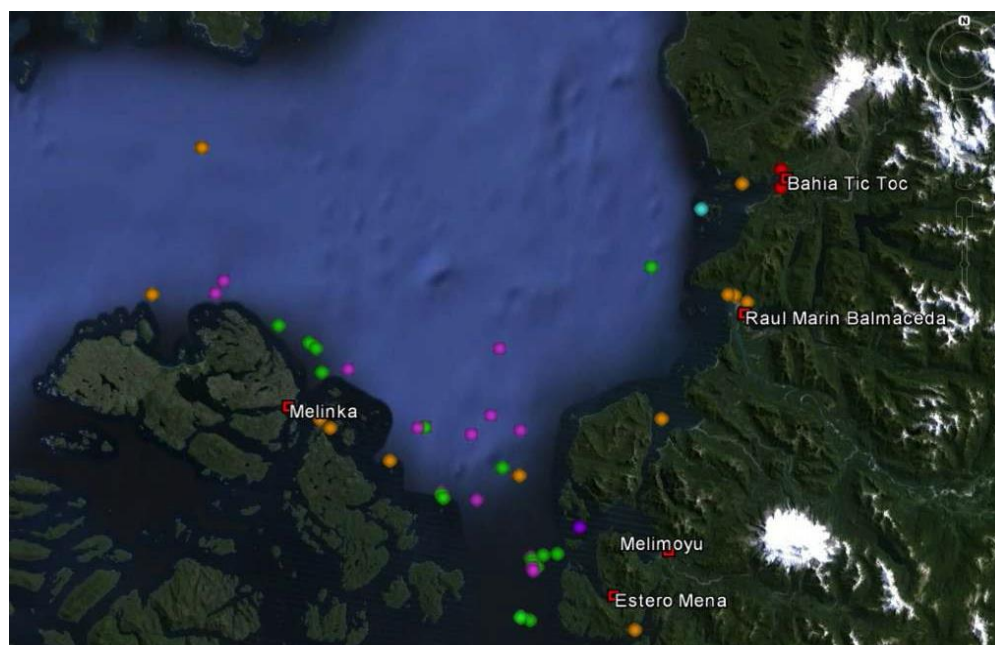


Figura 4. Área de estudio y recorridos de las embarcaciones (rosado= *Centinela*, verde= *zódiac*)

Tabla 1. Cetáceos avistados con el número de avistamientos por especie, tamaño medio del grupo, desviación estándar (SD) y distancia

Nombre científico	Nombre común (español)	Nombre común (inglés)	Número de avistamientos	Tamaño medio del grupo, SD (distancia)
<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul	Blue whale	16	1.1, 0.3 (1 - 2)
<i>Megaptera novaeanglinae</i>	Ballena Jorobada	Humpback whale	14	1.7, 0.8 (1 - 3)
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín nariz de botella	Bottlenose dolphin	2	45, 7 (40 - 50)
<i>Lagenorhynchus australis</i>	Delfín austral	Peale's Dolphin	13	3.8, 3 (1 - 12)
<i>Cephalorhynchus eutropia</i>	Delfín chileno	Chilean dolphin	2	5, 4 (2 - 8)
<i>Orcinus orca</i>	Orca	Killer whale	1	1, NA (1)



Leyenda

Verde = Ballena azul
Rosado = Ballena jorobada
Amarillo = Delfín austral
Azul = Delfín nariz de botella
Púrpura = Orca
Rojo = Delfín chileno

Figura 5. Lugares de todos los avistamientos de cetáceos

4.1 Método de foto-identificación - Se recopilaron 12.605 imágenes correspondientes a siete especies de mamíferos marinos durante 30 encuentros, tal como se resume en la Tabla 2. Diez grupos de ballenas azules fueron foto-documentados en ocho días de estudio, entre los días 17 y 24 de marzo (Tablas 3 y 4), al igual que cinco individuos diferentes (Fig. 6). Todos estos encuentros fueron con animales individuales, a excepción de un par de ballenas (Bm004 y Bm005) avistadas el 23 de marzo, lo que dio como resultado un tamaño de grupo promedio de

1,1 animales (SD 0,3). El ejemplar Bm001 fue visto en seis oportunidades entre los días 17 y 22 de marzo. El ejemplar Bm003 lo fue en dos ocasiones, los días 23 y 24 de ese mes. Las tres ballenas azules restantes fueron vistas sólo una vez.

Tabla 2. Especies de mamíferos marinos documentados mediante foto-identificación, con el número de encuentros por especie

Nombre Científico	Nombre Común	Número de encuentros
<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul	10
<i>Megaptera novaeanglinae</i>	Ballena jorobada	10
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín nariz de botella	1
<i>Lagenorhynchus australis</i>	Delfín austral	4
<i>Cephalorhynchus eutropia</i>	Delfín chileno	2
<i>Otaria flavescens</i>	Lobo marino de un pelo	1
<i>Arctocephalus australis</i>	Lobo marino de dos pelos	2

Tabla 3. Encuentro con ballenas azules y resúmenes de foto-identificación

Fecha	Hora (local)	Tamaño del grupo	IDs	Clase etaria
17-Mar-14	12:18	1	Chile14_Bm001	Adulto
18-Mar-14	10:55	1	Chile14_Bm001	Adulto
19-Mar-14	10:51	1	Chile14_Bm001	Adulto
20-Mar-14	15:50	1	Chile14_Bm001	Adulto
21-Mar-14	09:10	1	Chile14_Bm001	Adulto
21-Mar-14	18:12	1	Chile14_Bm002	Juvenil/ Sub-adulto
22-Mar-14	15:37	1	Chile14_Bm001	Adulto
23-Mar-14	08:32	1	Chile14_Bm003	Adulto
23-Mar-14	12:49	2	Chile14_Bm004 Chile14_Bm005	Adulto Sub-adulto
24-Mar-14	08:31	1	Chile14_Bm003	Adulto

	
Chile14_Bm001 (Aleta dorsal izquierda)	Chile14_Bm001 (Aleta dorsal derecha)
	
Chile14_Bm002 (Aleta dorsal izquierda)	Chile14_Bm002 (Aleta dorsal derecha)
	
Chile14_Bm003 (Aleta dorsal izquierda)	Chile14_Bm003 (Aleta dorsal derecha)
	
Chile14_Bm004 (Aleta dorsal izquierda)	Chile14_Bm004 (Aleta dorsal derecha)
	
Chile14_Bm005 (Aleta dorsal izquierda)	Chile14_Bm005 (Aleta dorsal derecha)

Figura 6. Imágenes de cinco ballenas azules foto-identificadas durante el crucero.

Tabla 4. Latitudes y longitudes de todos los sitios donde se foto-identificaron ballenas azules (Bm) y jorobadas (Mn)

Fecha	ID de la ballena	Latitud	Longitud
17-Mar-14	Chile14_Bm001	44.174	73.3451
	Chile14_Mn001	44.0955	73.3271
	Chile14_Mn002	44.0955	73.3271
18-Mar-14	Chile14_Bm001	44.0927	73.3056
19-Mar-14	Chile14_Bm001	43.9786	73.3768
20-Mar-14	Chile14_Bm001	44.013	73.4839
21-Mar-14	Chile14_Bm001	44.0184	73.4799
	Chile14_Bm002	43.7159	73.1169
	Chile14_Mn002	44.0206	73.3816
	Chile14_Mn003	44.0104	73.4836
	Chile14_Mn004	44.0206	73.3816
	Chile14_Mn005	44.0206	73.3816
22-Mar-14	Chile14_Bm001	43.9262	73.5117
	Chile14_Mn004	43.9249	73.6454
	Chile14_Mn006	43.8229	73.3816
	Chile14_Mn007	43.8229	73.3816
	Chile14_Mn008	43.9103	73.3966
	Chile14_Mn009	43.9266	73.5243
23-Mar-14	Chile14_Bm003	43.8537	73.6915
	Chile14_Bm004	43.8225	73.7013
	Chile14_Bm005	43.8225	73.7013
	Chile14_Mn009	43.8499	73.6454
24-Mar-14	Chile14_Bm003	43.7925	73.7666
	Chile14_Mn008	43.7499	73.8764
	Chile14_Mn009	43.7499	73.8764
	Chile14_Mn010	43.7337	73.8618
	Chile14_Mn011	43.7337	73.8618

Se observaron grupos de ballenas jorobadas en diez ocasiones durante cinco días de estudio, entre el 17 y el 24 de marzo (Tablas 4 y 5). Se logró foto-identificar a once individuos: nueve animales adultos, dos de los cuales (supuestamente hembras) estaban acompañados por sus juveniles (Tabla 5, Figura 7). El tamaño medio del grupo fue de 1,7 individuos (SD 0,8). De los once animales, el ejemplar Mn009 fue el que se avistó en más oportunidades, en tres días distintos, el 22, 23 y 24 de marzo. El ejemplar MN002 fue visto en dos ocasiones, los días 17 y 21 de marzo, y en esas dos oportunidades se encontraba con diferentes individuos. Los ejemplares Mn004 y Mn008 también se lograron avistar dos veces cada uno, el Mn004 los días 21 y 22 de marzo y el Mn008, los días 22 y 24 de marzo. Los otros siete ejemplares se observaron en sólo una oportunidad.

Tabla 5. Encuentros con ballenas jorobadas y resúmenes de foto-identificación

Fecha	Hora (local)	Tamaño del grupo	IDs	Clase etaria
17-Mar-14	12:14	3	Chile14_Mn001 Chile14_Mn002	Adulto Adulto
21-Mar-14	09:50	1	Chile14_Mn003	Adulto
21-Mar-14	10:19	3	Chile14_Mn004 Chile14_Mn005 Chile14_Mn002	Adulto Adulto Adulto
22-Mar-14	11:13	2	Chile14_Mn006 Chile14_Mn007	Adulto Juvenil
22-Mar-14	12:01	1	Chile14_Mn008	Adulto
22-Mar-14	14:55	1	Chile14_Mn009	Adulto
22-Mar-14	15:09	1	Chile14_Mn004	Adulto
23-Mar-14	09:07	1	Chile14_Mn009	Adulto
24-Mar-14	16:49	2	Chile14_Mn008 Chile14_Mn009	Adulto Adulto
24-Mar-14	17:00	2	Chile14_Mn010 Chile14_Mn011	Adulto Juvenil

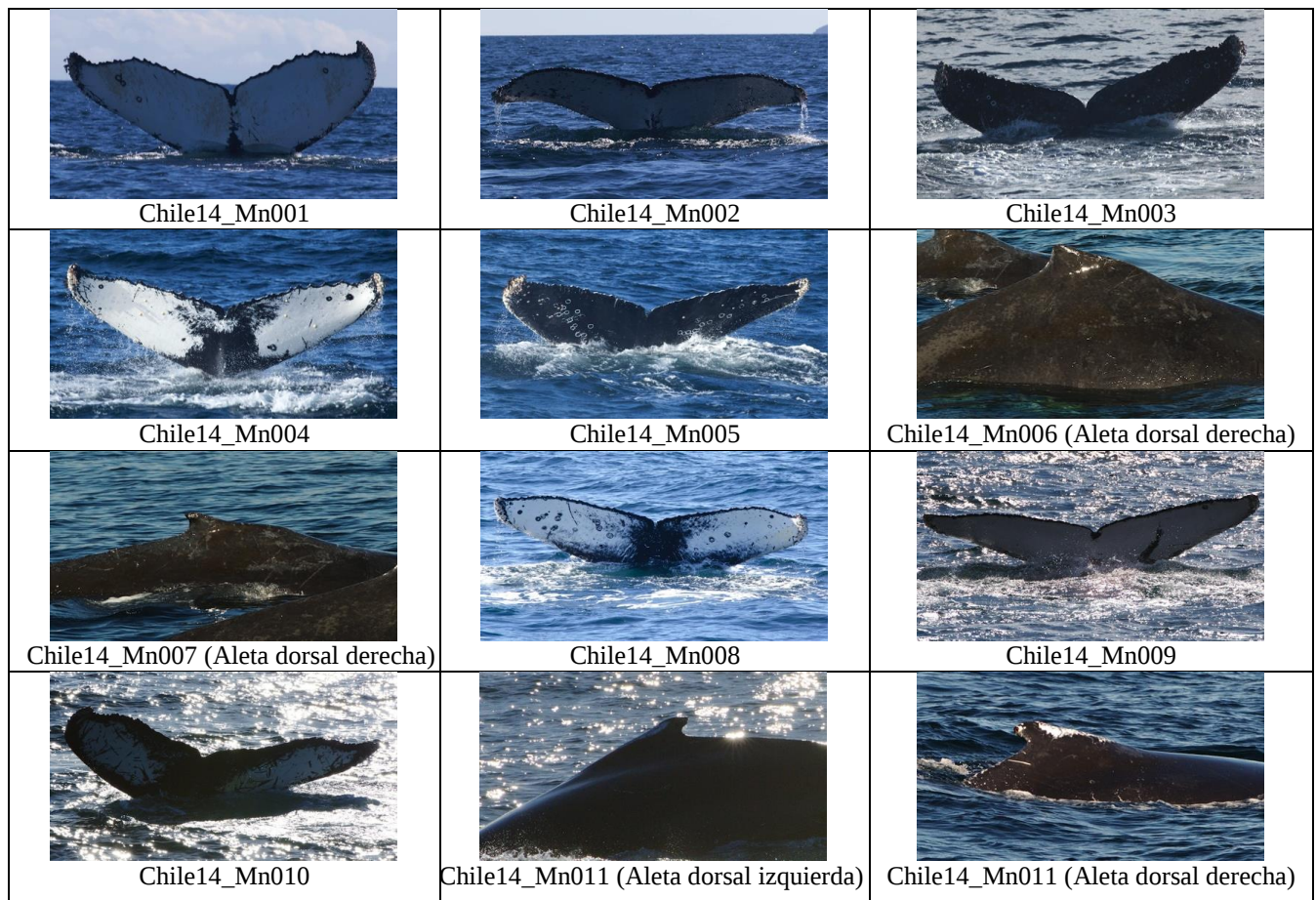


Figura 7. Imágenes de las 11 ballenas jorobadas foto-identificadas durante el crucero

4.2 Esfuerzos de marcado– El zódiac se lanzó en seis ocasiones para intentar llevar a cabo el marcado, y cubrió más de 93 mn durante los seguimientos focalizados y los esfuerzos de marcado. Se recopiló un total de 21 horas 11 minutos de información relativa a ballenas azules, que correspondió a cinco instalaciones de etiquetas en cuatro individuos (Tabla 6). El tiempo promedio de duración de la instalación de la etiqueta fue de 4,5 horas (SD 4,3), la instalación que tuvo mayor duración fue una de 10 horas 08 minutos. En las ventosas de todas las etiquetas recuperadas se encontró tejido dérmico; las altas tasas de desprendimiento de tejido dérmico podrían haber sido la causa de que algunas etiquetas se desprendieran antes de tiempo. Las inmersiones de las ballenas fueron en su mayoría poco profundas, entre los 10 y 50 metros de profundidad (Fig. 8). Se registraron inmersiones más profundas en algunas ocasiones, con una profundidad máxima de 139 m. El hecho de que las inmersiones fueran constantemente poco profundas sugiere que a esta profundidad se encuentra el alimento. Las etiquetas funcionaron de manera correcta en todas las instalaciones, y registraron información acústica y de movimiento durante los períodos de desplazamiento y búsqueda de alimento. El audio de la etiqueta se sometió a muestreo a 500 kHz y otros sensores a 50 Hz. Se logró una instalación doble simultánea de una presunta madre y su juvenil (Tabla 6).

Tabla 6. Resúmenes de instalación de etiquetas en ballenas azules

Fecha	ID del animal	Clase de edad	ID de la instalación	Duración de la instalación (Hrs. min.)	Hora (local) y lugar de instalación
17-Mar-14	Bm001	Adulto	bm14_076a	0 hrs. 07 min.	13:15 - 44.13916°S 73.34236°O
17-Mar-14	Bm001	Adulto	bm14_076b	5 hrs. 53 min.	18:36 - 44.09475°S 73.32693°O
23-Mar-14	Bm004	Adulto	bm14_082a	3 hrs. 46 min.	13:00 - 43.78268°S 73.74951°O
23-Mar-14	Bm005	Juvenil/ Subadulto	bm14_082b	1 hra. 18 min.	13:59 - 43.80112°S 73.72539°O
24-Mar-14	Bm003	Adulto	bm14_083a	10 hrs. 07 min.	13:22 - 43.75878°S 73.88860°O

Los datos acústicos en las etiquetas revelaron numerosas llamadas débiles (no focales) por parte de las ballenas azules, típicas de aquellas descritas anteriormente en esta área por Cummings y Thompson (1971) y Buchan et al. (2010, 2014). Además, en la instalación simultánea de etiquetas en una presunta madre (bm082a) y juvenil (bm082b), se observó un aparente intercambio de llamadas entre el juvenil y un animal más distante (Figura 9). Podemos confirmar que la llamada no la produjo la madre ya que el sonido en la etiqueta de ésta era más bajo que en la etiqueta del juvenil (Figura 9). Otra confirmación de esto es una señal de los acelerómetros de la etiqueta, que se muestrearon a una frecuencia lo suficientemente alta (50 Hz) como para detectar llamadas a o bajo los 25 Hz. Este método de identificación de llamadas

producidas por ballenas barbadas que producen llamadas de baja frecuencia, como por ejemplo la ballena azul y el rorcual común, fue descrito recientemente por Goldbogen et al. (2014).

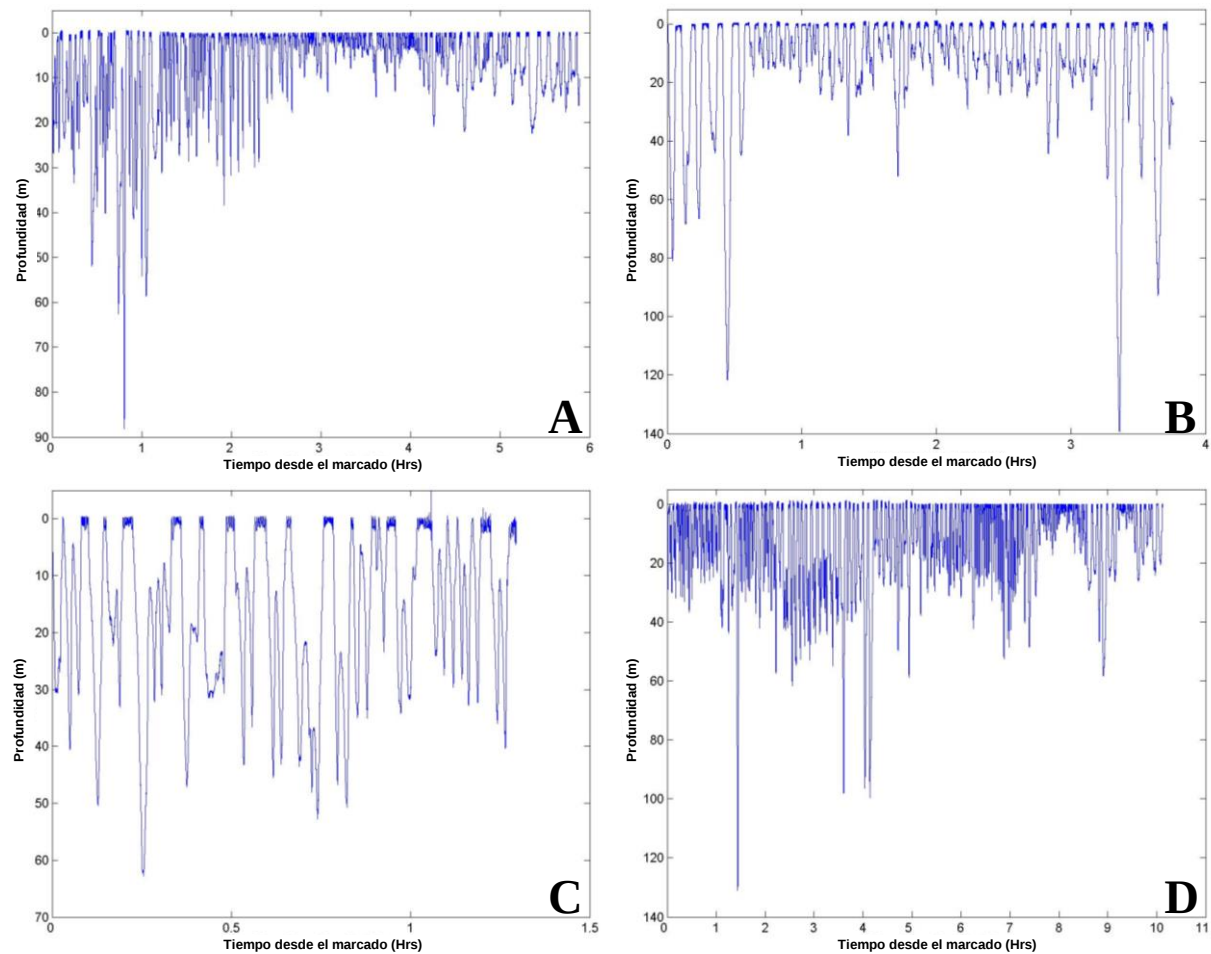


Figura 8. Perfiles de inmersión de cuatro ballenas azules etiquetadas: A= bm14_076b (Bm001), B= bm14_082a (Bm004), C= bm14_082b (Bm005), D= bm14_083a (Bm003)

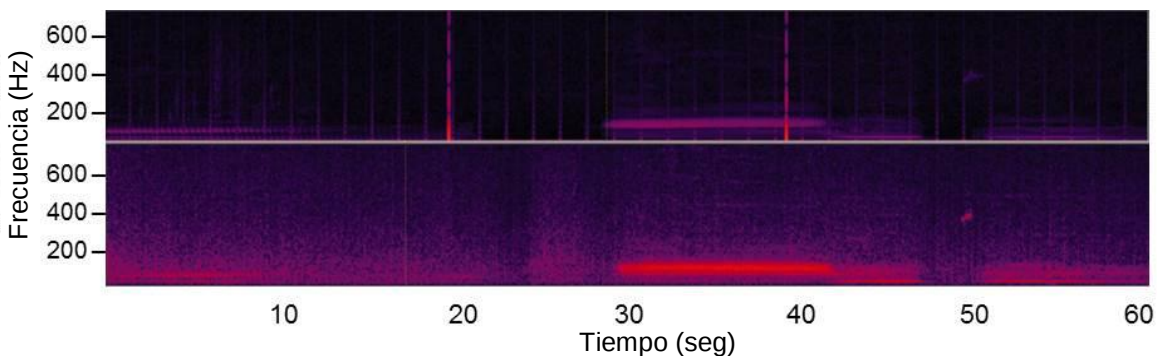


Figura 9. Espectrogramas (gráficos de Frecuencia versus Tiempo) de sonidos grabados en las etiquetas de los presuntos madre (Bm004, espectrograma superior) y juvenil (Bm005, espectrograma inferior). Nótese que la llamada es más fuerte en la etiqueta del juvenil; esto se confirma porque se detectó en los acelerómetros de la etiqueta de este espécimen (véase el texto). Este tipo de llamadas es característico de aquellos descritos para las ballenas azules en esta área; éstas tienen un componente de frecuencia más alta (aproximadamente 400 Hz), la que se puede apreciar cerca de los 50 segundos. Las tenues líneas verticales en el espectrograma superior corresponden al ecosonda de la motonave, y las dos líneas más notorias visibles aproximadamente en los segundos 20 y 40 son de origen desconocido.

4.3 Muestras genéticas - Durante el trabajo de campo se recogieron muestras genéticas tanto de ballenas azules como de jorobadas cada vez que se presentó la oportunidad (Tabla 7). Se obtuvieron cinco muestras de tejido dérmico que estaban presentes en las ventosas de las etiquetas de cuatro ballenas azules diferentes (BM001, BM003, Bm004 y Bm005). Los ejemplares Bm004 y Bm005 eran compañeros cercanos que fueron etiquetados de manera simultánea y presuntamente corresponden a una madre y un juvenil; los resultados genéticos de estas muestras confirmarán o refutarán esta hipótesis. Se recolectaron tres muestras de heces durante el crucero, dos de ballenas azules (BM003 y Bm005) y la tercera restante de una ballena jorobada (Mn004). En las dos muestras procedentes de las ballenas azules se identificaron claramente restos de exoesqueletos de krill.

Tabla 7. Información resumida de ocho muestras genéticas procedentes de ballenas azules y jorobadas; todas las muestras se almacenaron en DMSO/NaCl y serán analizadas por el Dr. Gustavo Chiang Rojas en la Universidad de Concepción, como parte de un proyecto conjunto entre el Centro MERI y WHOI.

Fecha	Especie	Tipo de muestra	Clase etaria	Hora (local) y ubicación de la recolección	ID del animal
17-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Tejido dérmico	Adulto	13:22 - 44.13746°S 73.34933°O	bm14_076a
17-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Tejido dérmico	Adulto	23:40 - 44.11875°S 73.31979°O	bm14_076b
22-Mar-14	Ballena jorobada (Mn)	Heces	Adulto	15:13 - 43.9249°S 73.5104°O	Chile14_Mn004
23-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Tejido dérmico	Juvenil/ subadulto	15:21 - 43.77053°S 73.77253°O	bm14_082b - presunto juvenil del ejemplar bm14_082a
23-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Tejido dérmico	Adulto	17:01 - 43.7462°S 73.7764°O	bm14_082a - presunta madre del ejemplar bm14_082b
23-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Heces	Juvenil/ subadulto	13:59 - 43.80112°S 73.72539°O	bm14_082b
24-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Heces	Adulto	10:27 - 43.7889°S 73.79484°O	bm14_083a
24-Mar-14	Ballena azul (Bm)	Tejido dérmico	Adulto	23:30 - 43.79589°S 73.75749°O	bm14_083a

4.4 Registros acústicos oportunistas - En cinco ocasiones se llevaron a cabo registros acústicos de otras especies (Tabla 8): delfines australes (*Lagenorhynchus australis*), delfines chilenos (*Cephalorhynchus eutropia*), delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y lobos marinos de dos pelos (*Arctocephalus australis*), con un total de 3,2 horas de grabación. En la noche del día 26 de marzo, una etiqueta sumergida en el agua se dejó durante toda la noche atada al *Centinela* (desde las 20:45 hasta las 07:27 hrs. del día 27), en un intento de registrar sonidos de *Cephalorhynchus eutropia*, que había sido observado en la zona.

Tabla 8. Detalles relativos a registros acústicos oportunistas de otras especies encontradas

Especie	Fecha	Lugar del registro	Duración del registro	Frecuencia del registro	Comportamiento observado
<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Arctocephalus australis</i>	21/03/14	43.6379° S 73.06° O	31 min.	240 kHz	Delfines nariz de botella (50+) y lobos marinos de dos pelos socializando en la superficie
<i>Lagenorhynchus australis</i>	26/03/14	43.9112° S 73.1136° O	1 hra. 20 min.	500 kHz	5 delfines buscando alimento a aproximadamente 600 m de distancia del zódiac, tranquilos y moviéndose lentamente
<i>Cephalorhynchus eutropia</i>	26/03/14	43.6156° S 72.9102° W	20 min.	500 kHz	2 ejemplares nadando en la orilla, cerca del zódiac
<i>Lagenorhynchus australis</i>	26/03/14	43.6057° S 72.9591° W	19 min.	500 kHz	12 delfines socializando y buscando alimento cerca del zódiac
<i>Cephalorhynchus eutropia</i>	26/03/14	43.5978° S 72.8882° O	43 min.	500 kHz	8 animales buscando alimento cerca del zódiac
* No identificado	26/03/14	43.6126° S 72.8918° O	10 hrs. 48 min.	240 kHz	Se ató una etiqueta a la motonave para llevar a cabo un registro durante la noche en una zona donde se habían observado delfines chilenos

Todos los registros contenían sonidos producidos por la especie de interés, a excepción del registro nocturno. La grabación realizada a delfines nariz de botella y lobos marinos de dos pelos contiene numerosos silbidos característicos de estos delfines (Sayigh et al., 2007); un segmento de esta grabación se muestra en la Figura 10. Clics de delfines australes (*Lagenorhynchus australis*) y delfines chilenos (*Cephalorhynchus eutropia*) se muestran en las Figuras 11 y 12, respectivamente. Ambas especies producen clics de banda estrecha y frecuencia alta con características muy similares (Gotz et al. 2010, Kyhn et al. 2010), por lo que son

difíciles de diferenciar; las atribuciones hechas aquí se basan en qué especies se vio que estuvieran presentes en la zona cuando se llevaron a cabo los registros.

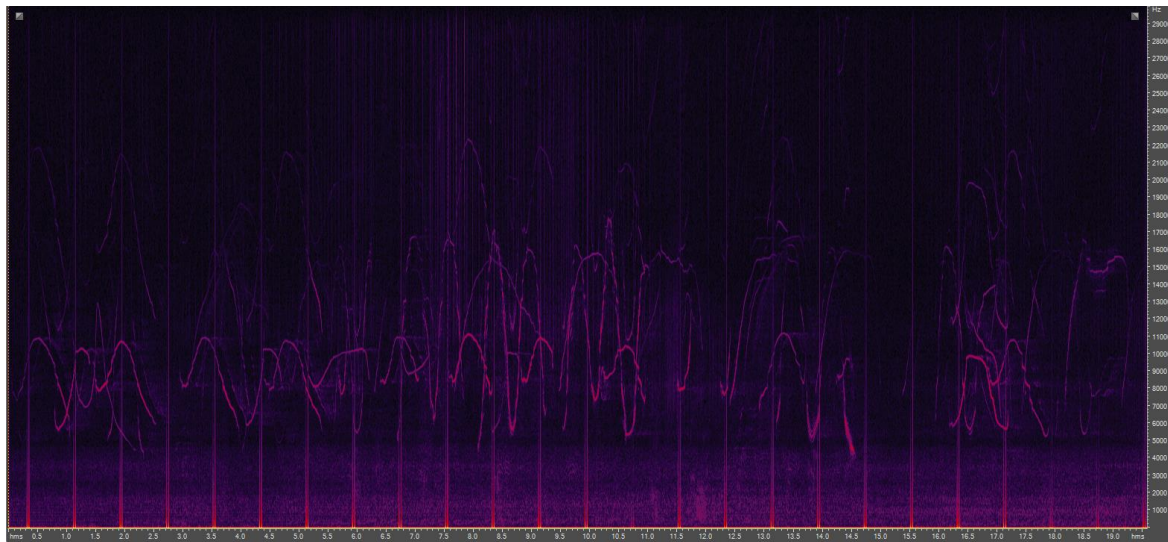


Figura 10. Espectrograma de un segmento de una grabación hecha por una etiqueta que flotaba cerca de un grupo de delfines nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y lobos marinos de dos pelos (*Arctocephalus australis*). Contornos estereotipados típicos de los silbidos propios de estos delfines resultan evidentes (eje Y: frecuencia en Hz, eje X: tiempo en segundos); las líneas verticales corresponden a la ecosonda de la motonave.

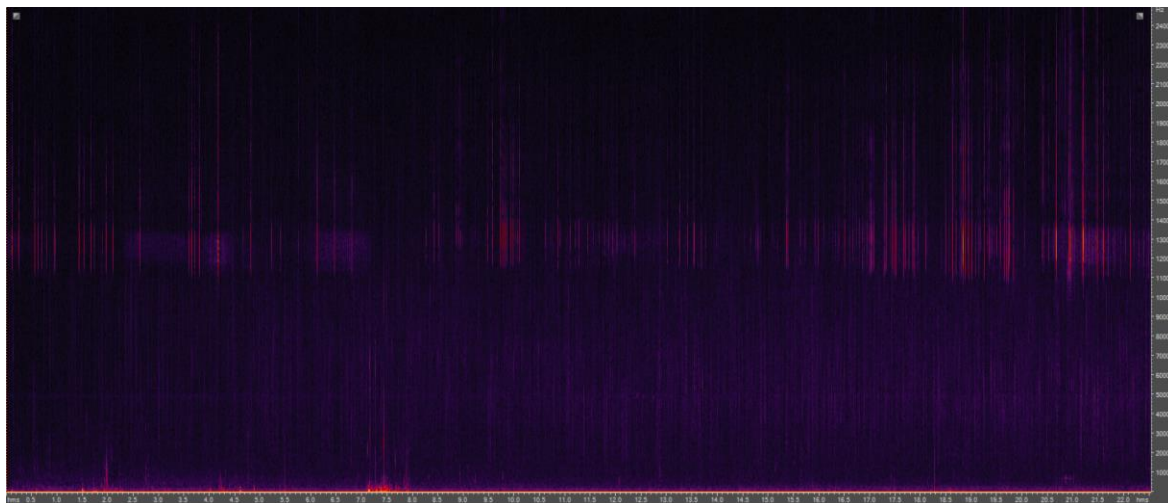


Figura 11. Espectrograma de un segmento de una grabación hecha por una etiqueta en un bastón de fibra de carbono mantenido en el agua, mientras un grupo de cinco delfines australes se encontraba dentro de un rango de 600 metros del zódiac (eje Y: frecuencia en Hz, eje X: tiempo en segundos); clics son evidentes entre los 110.000 y 200.000 Hz, aproximadamente.

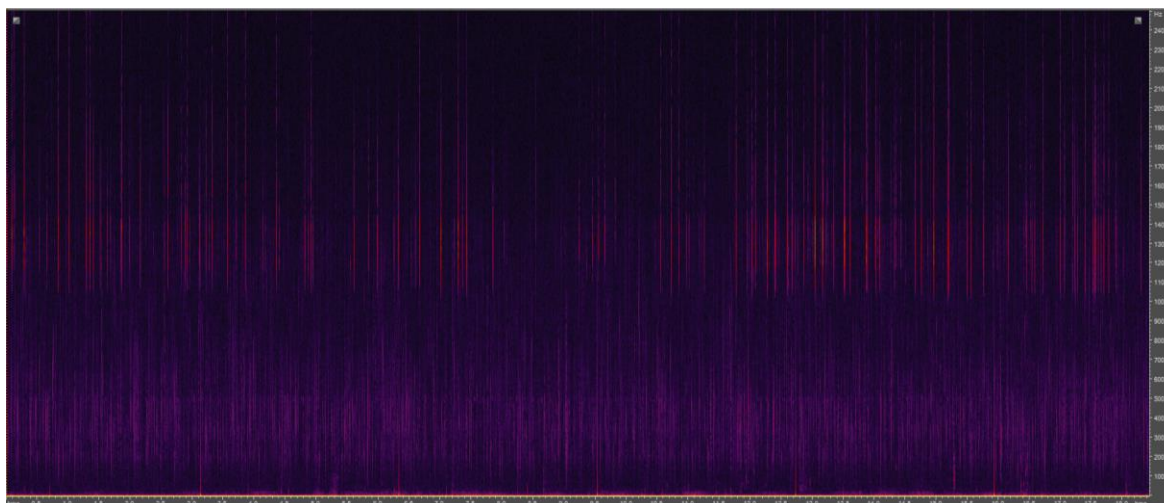


Figura 12. Espectrograma de un segmento de una grabación hecha por una etiqueta en un bastón de fibra de carbono mantenido en el agua, mientras un grupo de ocho delfines chilenos buscaban alimento cerca del zódiac (eje Y: frecuencia en Hz, eje X: tiempo en segundos); clics son evidentes entre los 110.000 y 200.000 Hz, aproximadamente.

5. Impacto y trabajo futuro

Este crucero de exploración resultó ser un gran éxito y se estableció un sólido trabajo de cooperación entre los equipos de trabajo del Centro MERI y WHOI. La instalación de las cinco etiquetas corresponde al primer registro de movimientos detallados y de comportamiento alimentario de ballenas azules en el Golfo de Corcovado. El enfoque y las técnicas empleadas por el equipo funcionaron bien en este lugar tan remoto. El sitio de campo demostró ser de un potencial excelente para futuras investigaciones sobre la ballena azul, así como de otras especies. La combinación única de los hábitats del Golfo y de los fiordos le permitió al equipo ser muy productivo, ya que se logró trabajar en el golfo cuando las condiciones lo permitían y en los fiordos durante los períodos de viento intenso.

El trabajo futuro que se ha planificado incluye un curso de una semana de duración sobre la Biología de Mamíferos Marinos, que se impartirá en Chile e incluirá antecedentes sobre la biología, ecología y comportamiento de mamíferos marinos, y se centrará en las especies presentes en la Bahía de Corcovado. Los asistentes a este curso serán llevados en una embarcación del Centro MERI para ser entrenados en técnicas de recolección de datos de mamíferos marinos y del medio ambiente marino, las que incluyen registros acústicos, foto-identificación, toma de muestras de plancton y de agua, que a su vez incluyen conductividad, temperatura y profundidad (CTD), salinidad y prueba de turbidez. Laela Sayigh y Alessandro Bocconcelli serán los encargados de impartir las clases. El Centro MERI se encargará de difundir localmente este curso mediante conferencias y el desarrollo de materiales educativos.

Además, se distribuirán boyas equipadas con monitores acústicos pasivos (MAPs) en las zonas de hábitat crítico. Alessandro Bocconcelli realizará las instalaciones iniciales y capacitará a investigadores de MERI para recuperarlas y volver a instalarlas de manera periódica. Laela Sayigh analizará los datos acústicos recolectados. Ya se han recibido los primeros aportes para este estudio por parte del *Marine Mammal Center* del WHOI. Por último, se realizará el marcado continuo de ballenas azules junto con mediciones fotogramétricas de la condición corporal mediante fotografías aéreas tomadas con una hexacóptero. También se ha recibido financiamiento inicial para este trabajo por parte del programa *Access to the Sea* del Centro WHOI (Michael Moore, IP). En este esfuerzo de campo, se obtendrán biopsias de todos los animales que sean marcados así como de otros animales, siempre que sea posible, con el fin de obtener información sobre el sexo y relaciones genéticas entre los animales, así como sobre la dieta por medio del análisis de isótopos estables, y acerca de los parámetros de salud por medio de análisis de contaminantes. Los datos acústicos recogidos de las etiquetas proporcionarán tasas de llamadas individuales necesarias para hacer estimaciones de densidad a partir de los registros de los MAPs (Marques et al. 2013). Los datos del sensor de las etiquetas se pueden utilizar para reconstruir los movimientos tridimensionales y los comportamientos de alimentación de las ballenas utilizando el programa Trackplot (Ware et al., 2006) y otros métodos (Goldbogen et al. 2014).

En general, esta nueva relación que se establece entre MERI y WHOI tiene el potencial de ampliar enormemente lo que se conoce en la actualidad sobre la biología, ecología y comportamiento de las ballenas azules, así como de varias otras especies de mamíferos marinos, en el Golfo de Corcovado. Este trabajo también ofrecerá una visión acerca de la manera en que las ballenas azules utilizan el área de estudio y proporcionará información importante a los legisladores con respecto a la mejor manera de proteger los hábitats únicos que existen en el Golfo de Corcovado.

6. Agradecimientos

El presente trabajo se llevó a cabo bajo el permiso de investigación chileno denominado PINV 38-2014 Ballena Azul, Golfo Corcovado, autorizado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Agradecimientos al capitán y la tripulación del *Centinela*: Néstor España (capitán), Thomas Montt (primer oficial), Nicanor Montaña (ingeniero) y José Bahamontes (personal de cubierta). Agradecimientos especiales también a Frants Jensen por su colaboración en el análisis de los datos del marcado.

7. Referencias

Branch, T. A., Abubaker, E. M. N., Mkango, S. and Butterworth, D. S. (2007). Separating southern blue whale subspecies based on length frequencies of sexually mature females. *Marine Mammal Science*, 23(4), 803–833. doi:10.1111/j.1748-7692.2007.00137.x

Buchan, S. J., Rendell, L. E. and Huckle-Gaete, R. (2010). Preliminary recordings of blue whale (*Balaenoptera musculus*) vocalizations in the Gulf of Corcovado, northern Patagonia, Chile. *Marine Mammal Science*, 26: 451–459. doi: 10.1111/j.1748-7692.2009.00338.x

Buchan, S., Huckle-Gaete, R., Rendell, L. and Stafford, K. (2014). A new song recorded from blue whales in the Corcovado Gulf, Southern Chile, and an acoustic link to the Eastern Tropical Pacific. *Endangered Species Research*, 23(3), 241–252. doi:10.3354/esr00566

Cummings, W. C., and Thompson, P. O. (1971). Underwater sounds from the blue whale, *Balaenoptera musculus*. *Journal of the Acoustical Society of America* 50:1193–1198

Goldbogen, J. A., Calambokidis, J., Friedlaender, A. S., Francis, J., DeRuiter, S. L., Stimpert, A. K., Falcone, E., and Southall, B. L. (2013). Underwater acrobatics by the world's largest predator: 360° rolling manoeuvres by lunge-feeding blue whales. *Biology Letters*, 9(1), 20120986

Götz, T., Antunes, R., and Heinrich, S. (2010). Echolocation clicks of free-ranging Chilean dolphins (*Cephalorhynchus eutropia*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(2), 563-566

Kyhn, L. A., Jensen, F. H., Beedholm, K., Tougaard, J., Hansen, M., and Madsen, P. T. (2010). Echolocation in sympatric Peale's dolphins (*Lagenorhynchus australis*) and Commerson's dolphins (*Cephalorhynchus commersonii*) producing narrow-band high-frequency clicks. *The Journal of experimental biology*, 213(11), 1940-1949

Goldbogen, J. A., Stimpert, A. K., DeRuiter, S. L., Calambokidis, J., Friedlaender, A. S., Schorr, G. S., Moretti, D. J., Tyack, P. L., and Southall, B. L. (2014). Using accelerometers to determine the calling behavior of tagged baleen whales. *The Journal of Experimental Biology*: jeb-103259

Huckle-Gaete, R. and Buchan, S. (2012). Passive acoustic monitoring of blue whales throughout the Chiloense Ecoregion, Chile. A progress report to the Melimoyu Ecosystem Research Institute

- Hucke-Gaete, R., Osman, L. P., Moreno, C. A., Findlay, K. P., and Ljungblad, D. K. (2004). Discovery of a blue whale feeding and nursing ground in southern Chile. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(Suppl 4), S170-S173
- Johnson, M. P., and Tyack, P. L. (2003). A digital acoustic recording tag for measuring the response of wild marine mammals to sound. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 28(1), 3-12
- Marques, T. A., Thomas, L., Martin, S. W., Mellinger, D. K., Ward, J. A., Moretti, D. J., Harris, D. and Tyack, P. L. (2013). Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews* 88: 287–309. doi: 10.1111/brv.12001
- Sayigh, L., Esch, C., Wells, R. and Janik, V. (2007). Facts about bottlenose dolphin signature whistles. *Animal Behaviour* 74:1631-1642
- Torres-Florez, J. P., Hucke-Gaete, R., Rosenbaum, H. and Figueroa, C. C. (2014). High genetic diversity in a small population: the case of Chilean blue whales. *Ecology and Evolution*, 4(8), 1398–1412. doi:10.1002/ece3.998
- Ware, C., Arsenault, R., and Plumlee, M. (2006). Visualizing the underwater behavior of humpback whales. *IEEE Computer Graphics and Applications* 26(4):14–18
- Williams, R., Hedley, S. L., Branch, T. a, Bravington, M. V, Zerbini, A. N. and Findlay, K. P. (2011). Chilean blue whales as a case study to illustrate methods to estimate abundance and evaluate conservation status of rare species. *Conservation Biology : The Journal of the Society for Conservation Biology*, 25(3), 526–35. doi:10.1111/j.1523-1739.2011.01656.x

Apéndice I

Instrucciones para la recolección de datos sobre el comportamiento de ballenas azules

Los datos del comportamiento deben ser recopilados en muestras puntuales de 3 minutos utilizando una alarma que puede configurarse para sonar repetidamente cada 3 minutos. Cuando suena la alarma, se recolectan los datos del siguiente avistamiento del ejemplar marcado. Si éste no es visible en 2 minutos, éste será un "punto perdido". En cuanto el animal sea avistado después de que suene la alarma, se debe obtener una coordenada desde el GPS. Esto permitirá sincronizar los datos del programa (LOGGER), del comportamiento y de las etiquetas. A continuación, se debe obtener la distancia y rumbo de la brújula hacia el animal, lo que permitirá la reconstrucción de los movimientos propios de las ballenas. Por último, se deberá recolectar información de todas las categorías restantes, tal como se detalla a continuación.

Categorías en la hoja de datos (Véase Figura A1):

- 1) Hora: Tiempo real de la observación
- 2) Wpt: Número de coordenadas (*waypoints*) del GPS
- 3) Distancia/rumbo: distancia estimada en metros al animal marcado y rumbo usando una brújula
- 4) Tamaño del grupo: Número de ejemplares en el grupo actual
- 5) Tipo de agrupación: Véase las categorías descritas al final de la hoja (Figura A1). Éstas no serán relevantes si hay sólo una ballena.
- 6) Sincronía: Véase las categorías al final de la hoja (Figura A1). Éstas no serán relevantes si hay sólo un animal.
- 7) Comportamiento: Seleccione la actividad predominante cada 3 minutos: Desplazándose, Buscando alimento, Probablemente buscando alimento, Descansando, Socializando, Otro/ Desconocido. Si hay otras actividades que deban añadirse según las observaciones, no dude en hacerlo.
- 8) Nivel de Actividad: Véase las categorías al final de la hoja (Figura A1). Éstas son útiles para saber si el animal se está moviendo rápidamente, lentamente, etc.
- 9) Distancia del NN (BL): Esta es la distancia del vecino más cercano en largos de cuerpo (BL). No es relevante si hay sólo un animal presente.
- 10) ID del NN: Esta es la identificación del vecino más cercano, y requerirá que los animales sean lo suficientemente distintivos como para asignarles nombres descriptivos, tales como los que se observan en la parte inferior de la hoja en la Composición del Grupo, por ejemplo, MA si es un macho adulto o B si es un ballenato (Figura A1). Esto no es relevante si hay sólo un animal presente.
- 11) Comentarios: cualquier categoría adicional que no encaje en las otras casillas. Esto incluye números de marco de fotos importantes, cualquier información sobre la geometría o composición del grupo, identificaciones (es decir, 1 macho adulto, 2 hembras adultas, 2 ballenatos, etc.; véase los códigos en la parte inferior de la hoja (Figura A1)), si es que hay o no otras ballenas azules en el área y a qué distancia, si es que existen otras especies visibles y a qué distancia, el estado del

mar según la Escala de Beaufort (ya que afecta las condiciones de avistamientos), distancia, número y tipo de embarcaciones en la zona, así como cualquier otra información que pudiera ser relevante o útil.

[illegible]

Figura A1: Hoja de datos con las observaciones en el comportamiento de ballenas etiquetadas