

Análisis estructural de la canción de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*). Variación individual, temporal y geográfica en la Bahía de Banderas y alrededores de la Isla Socorro, México

T E S I S

que para obtener el grado académico de

**Maestra en Ciencias del Mar y Limnología
(Biología Marina)**

p r e s e n t a

Sandra Elizabeth Smith Aguilar

Director de Tesis: Dr. Luis Medrano González

Comité Tutorial: Dra. Tania Escalante Espinoza, Dr. Adolfo Navarro Sigüenza,
Dr. David Salas de León y Dr. Jorge Urbán Ramírez

México D.F., agosto de 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Dedico este trabajo con todo mi corazón
a María y Ana, porque sin su apoyo y todo lo que hicieron,
aun no habría terminado.*

*También es para los dos hombres de mi vida,
para Thomas, porque le hubiera encantado verlo concluido y
para Gustavo, porque ha estado siempre conmigo,
con todo y lo que nos ha costado llegar hasta aquí.*

Los amo.



“Ballena danzando”, Marianne B. Rosenzweig

...Dediqué largos años a aprender el orden y la configuración de las manchas [del jaguar]... Algunas incluían puntos; otras formaban rayas transversales en la cara interior de las piernas; otras, anulares, se repetían. Acaso eran un mismo sonido o una misma palabra...

No diré las fatigas de mi labor. Más de una vez grité a la bóveda que era imposible descifrar aquel texto. Gradualmente el enigma concreto que me atareaba me inquietó menos que el enigma genérico de una sentencia escrita por un dios. ¿Qué tipo de sentencia (me pregunté) construirá una mente absoluta? Consideré que aun en los lenguajes humanos no hay proposición que no implique el universo entero; decir *el tigre* es decir los tigres que lo engendraron, los ciervos y tortugas que devoró, el pasto de que se alimentaron los ciervos, la tierra que fue madre del pasto, el cielo que dio luz a la tierra...

-Jorge Luis Borges, *La escritura del Dios*-

Agradecimientos

Este proyecto de maestría ha sido una oportunidad para terminar un proceso que inicié en el 2003 cuando comencé mi trabajo con las ballenas jorobadas y su canción en Bahía de Banderas e Isla Socorro. En mi tesis de licenciatura no alcancé a abordar el análisis de la canción *per se*, ya que me enfoqué en la dinámica de la conducta de canto en el contexto del sistema de apareamiento de la especie. Cuando llegó el momento de decidir cuál sería el siguiente paso, mi padre fue el principal promotor de que continuara con el desmenuzamiento de mis grabaciones de ballena jorobada. Su interminable curiosidad, minuciosidad y amor por el saber, hizo que no parara de animarme para que analizara lo que él sabía que me apasionaba más de mis datos, los sonidos. En los últimos meses, él me animó para hacer un viaje que me permitió concluir este proyecto con el que tanto me ayudó discutiendo, escuchando, orientando. Desafortunadamente, ya no puedo agradecerle directamente todo su apoyo y amor, pero no quiero dejar de mencionar lo mucho que le debo en esta tesis y en la vida. Papá, siempre fuiste y seguirás siendo un ejemplo y una inspiración.



Thomas Cedric Smith Stark
1948-2009

María y Ana, me faltan las palabras donde me sobra la emoción. Siempre están ahí, siempre conmigo. Gracias.

Gustavo, a pesar de tantas olas en tantos mares tempestuosos, no has dejado de sujetar mi remo nunca, gracias.

Gracias a mi asesor, Luis Medrano, por su ayuda para realizar este proyecto, su orientación y todo el esfuerzo en tiempo y cerebro.

Gracias a Carmen Bazúa Durán, Tania Escalante Espinoza, Adolfo Navarro Sigüenza, David Salas de León y Jorge Urbán Ramírez por su tiempo, comentarios, contribuciones y enseñanzas durante el desarrollo y conclusión de este trabajo.

Gracias a Gabriela Almaraz, Guadalupe Godoy, Diana Juárez, Chantal Ruiz y Gloria Vilaclara, por el apoyo en cuestiones personales, académicas, administrativas, económicas y por el préstamo de equipo de cómputo y de espacio.

Gracias a todo el equipo de personas que colaboró en la colecta de los datos utilizados para la realización de este proyecto. Sin su esfuerzo conjunto, nada de esto podría ser.

Gracias a mis compañeros del Grupo de Mastozoología Marina de la UNAM, por su constante disposición a ayudarme y por compartir su experiencia, su sabiduría y su amistad conmigo.

Gracias a mis maestros y compañeros de la maestría, por sus enseñanzas y todo lo que compartimos estos tres años. Particularmente agradezco a Jimena Ramírez, por ofrecerme su amistad tan sinceramente.

Gracias al Troll y a Carlos por compartir el hogar y llenarlo de tantas charlas y café.

Gracias a la familia Nieblas Olvera por su hospitalidad y cariño en Bahía Banderas y desde entonces.

Gracias a las personas que colaboraron con el préstamo de equipo para facilitar la colecta de los datos de este proyecto, particularmente, Jeff Jacobsen, Danielle Chollewiak, Oliver Velázquez, Omar Iturbe y Astrid Frisch.

Gracias a la Armada de México, en particular al Sub-Sector Naval Isla Socorro, por permitirnos y facilitarnos el trabajo en Isla Socorro.

Gracias a CONACyT y a SPLASH por el financiamiento que permitió llevar a cabo este trabajo.

Gracias a la Secretaría de Gobernación y a SEMARNAT por expedir los permisos para trabajar en Bahía de Banderas y en Isla Socorro.

Gracias a la Universidad de Cornell por las facilidades para el uso del programa RAVEN

Gracias a todos mis amigos por mantenerme en sus corazones a pesar de los distanciamientos. Gracias por siempre estar al pendiente de mi y animándome. Gracias por la constante presencia y ayuda de tantas formas, especialmente durante el último año.

Contenido

Página

Índice de figuras y cuadros	3
Resumen	4
<i>Abstract</i>	5
Introducción	6
Antecedentes	10
Planteamiento de la investigación	15
Objetivos.....	15
Población de estudio.....	15
Sitios de estudio.....	17
Bahía de Banderas.....	17
Isla Socorro.....	19
Métodos	21
Obtención de datos.....	21
Análisis de datos.....	26
Descripción de las grabaciones.....	26
Medición de la variación.....	29
Espacio.....	32
Tiempo.....	33
Espacio y tiempo.....	34
Variación individual.....	34
Variación asociada al contexto social.....	35
Las unidades.....	35
Resultados	41
Descripción de la canción.....	42
Análisis de la variación.....	49
Variación espacial.....	58
Variación temporal.....	58
Variación individual.....	65
Variación asociada al contexto social.....	66
Las unidades.....	69

Discusión	75
Conclusiones	82
Referencias	84
Anexo 1 (especificaciones del equipo de grabación)	91
Anexo 2 (descripción de elementos de las sesiones de canto)	92
Anexo 3 (secuencias de temas)	96

Índice de figuras y cuadros

Índice de figuras	Pág.	Índice de cuadros	Pág.
Fig. 1 Canción de <i>M. novaeangliae</i>	11	Cuadro 1. Grabaciones utilizadas.....	22
Fig. 2 Distribución <i>M. novaeangliae</i>	15	Cuadro 2. Equipo de grabación.....	24
Fig. 3 Sitios de estudio.....	16	Cuadro 3. Recapturas 1.....	24
Fig. 4 Bahía de Banderas.....	18	Cuadro 4. Recapturas 2.....	24
Fig. 5 Isla Socorro.....	20	Cuadro 5. Contexto social.....	26
Fig. 6 Puntos de grabación.....	23	Cuadro 6. Representación de temas.....	29
Fig. 7 Contexto social.....	25	Cuadro 7. Sesiones transcritas.....	41
Fig. 8 Transcripción del canto.....	28	Cuadro 8. Secuencias predominantes.....	48
Fig. 9 Ficha de transcripción.....	29	Cuadro 9. ANOVA lugar-año.....	58
Fig. 10 Digrama.....	30	Cuadro 10. ANOVA espacial.....	60
Fig. 11 Medición de unidades 1.....	37	Cuadro 11. ANOVA años.....	60
Fig. 12 Medición de unidades 2.....	37	Cuadro 12. ANOVA espacio-temporal.....	62
Fig. 13 Representación de unidades.....	38	Cuadro 13. ANOVA meses BB.....	64
Fig. 14 Secuencias de frases BB.....	43	Cuadro 14. ANOVA meses IS.....	64
Fig. 15 Secuencias de frases IS.....	44	Cuadro 15. ANOVA individuos 1.....	65
Fig. 16 Diagramas de conectividad.....	45	Cuadro 16. ANOVA individuos 2.....	66
Fig. 17 “Rutas” de la canción.....	46	Cuadro 17. ANOVA contexto social.....	66
Fig. 18 $D_{xy}T$ vs, $D_{xy}F$	50	Cuadro 18. Sesiones muestreadas.....	69
Fig. 19 Árbol de similitud $D_{xy}T$	52	Cuadro 19. ANOVA hidrófonos.....	74
Fig. 20 Árbol de similitud $D_{xy}F$	53		
Fig. 21 Árboles: lugar, año y contexto.....	54		
Fig. 22 Relaciones lugar-año.....	56		
Fig. 23 Variación lugar-año.....	57		
Fig. 24 Variación espacial.....	59		
Fig. 25 Variación temporal años.....	61		
Fig. 26 Variación temporal meses.....	63		
Fig. 27 Variación individual.....	67		
Fig. 28 Variación y contexto social.....	68		
Fig. 29 Clasificación unidades 1.....	70		
Fig. 30 Clasificación unidades 2.....	72		
Fig. 31 Frecuencia promedio.....	73		

Resumen

La canción de la ballena jorobada es un conjunto cíclico de sonidos que cambia a lo largo del tiempo, conociéndose poco sobre los procesos que rigen dichos cambios. Se ha visto que el estudio de la variación de las señales puede servir para entender la dinámica que las ha modelado. A partir de esto, se describió y analizó la variación de 70 sesiones de canto de ballena jorobada obtenidas en Bahía de Banderas (15) e Isla Socorro (55), entre enero de 2003 y abril de 2005. Para hacerlo, se describieron las grabaciones a partir de la transcripción y clasificación auditiva y visual de los sonidos, basada en el sistema jerárquico de componentes repetitivos (unidades, frases y temas), planteado por Payne y McVay en 1971. También se hizo un ejercicio de clasificación de las unidades a partir de mediciones espectrales. Se desarrolló un análisis que permitió medir la diferencia entre sesiones de canto a partir de la ocurrencia de pares de componentes estructurales de la canción, particularmente las frases y los temas. Este método permitió observar y comparar la variación temporal, geográfica e individual entre las sesiones de canto, además de la variación asociada al contexto social. Los resultados indicaron que el uso de distintas formas de unidades y frases varió en cada lugar y año, junto con los temas y el orden en que aparecieron. La presencia constante de sub-ciclos de la canción indicó que su definición debe tomar en cuenta las variantes de mayor uso en determinado periodo y lugar. La variación temporal en el uso de temas y frases fue mayor con el aumento en la separación anual y se antepuso a las diferencias geográficas, indicando que la evolución de la canción no fue independiente en las dos localidades. Además, la variación en las secuencias de frases sugirió que hay características locales que influyen la redundancia de manera distinta en los dos sitios. También se encontró que la variación en la repetición de frases puede tener un componente individual ya que fue menor entre un mismo individuo que entre individuos distintos. La medición de las características espectrales no produjo una clasificación que fuera de utilidad para complementar el análisis de la variación de la canción, pero los datos de frecuencia promedio sugieren que ésta característica puede estar asociada a diferencias individuales y/o regionales.

Abstract

The song of the humpback whale is composed of a series of sounds repeated cyclically, forming a sequence which changes through time, but little is known about the processes that govern such changes. The study of the variation of a signal has proven useful for understanding the dynamics that have modeled it. Based on this, I described and analyzed the variation in 70 song sessions recorded in Bahía de Banderas (15) and Isla Socorro (55), both in the Mexican Pacific, between January of 2003 and April 2005. I produced a visual and auditory-based transcription and classification of the recordings, using the hierarchical system of repetitive elements (units, phrases and themes) proposed by Payne and McVay in 1971. I also attempted to produce a classification of the units based on spectral measurements. Differences between song sessions were measured using the occurrence of pairs of elements of the song, particularly phrases and themes. This method allowed the observation and comparison of temporal, geographical and individual variation between songs as well as variation associated with the social context. The results indicated that the use of different forms of units and phrases varied in each place and year, together with the themes and the order in which they appeared. The constant presence of sub-cycles in the song suggests that an appropriate definition should include the main variants used in a specific period and place. Temporal variation in the use of themes and phrases increased with the number of years between the sessions and was greater than the geographical variation, suggesting that the evolution of the song wasn't independent in the two study sites. The variation in the use of phrases also indicated that there might be local characteristics that result in differences in redundancy between the island and the bay. In addition, the results show that variation in the repetition of phrases might have an individual component, since the variation was less between song sessions of one individual than between sessions of different individuals. Although the spectral measurements of the units produced no useful classification to complement the analysis of the song, the average frequency data obtained, suggests that this trait might be associated to individual and/or regional differences.

Introducción

Actualmente, uno de los problemas ambientales que recibe mayor atención mediática, es el cambio climático. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), muchos de los sistemas naturales del mundo se están viendo afectados por cambios en el clima a nivel regional asociados al aumento, a nivel global, de las temperaturas promedio del aire y los océanos. Sin embargo, es posible que las consecuencias más preocupantes del cambio climático se deban a que es sólo una más de las presiones, de origen tanto natural como antropogénico, que están afectando conjuntamente al planeta, resultando en lo que se conoce como el “Cambio Global” (IPCC, 2001). Algunas de estas presiones se originan del aumento en la demanda de recursos, la explotación o destrucción selectiva de especies, cambios en el uso y cobertura del suelo, la tasa acelerada de deposición de nitrógeno antropogénico, la contaminación de suelos, agua y aire, la introducción de especies exóticas, la alteración de los sistemas hidrológicos para uso agrícola y urbano, la fragmentación y unificación del paisaje y la urbanización e industrialización (Gitay *et al.*, 2002). Estas presiones afectan a los ecosistemas resultando en alteraciones que han llegado a provocar pérdidas en la biodiversidad (Satia y Bartley, 1997; Sanz y Grajal, 1998; Camphuysen, *et al.*, 1999; Pounds *et al.*, 2006).

En el ámbito marino, se ha planteado que no queda ningún área en el mundo libre del efecto de las actividades humanas (Halpern *et al.*, 2008). Uno de los grupos de especies afectados por esta situación son los mamíferos marinos, ya que sus ciclos de vida están parcial o totalmente ligados al mar. Además, algunas características fisiológicas y ecológicas, asociadas a la adaptación a la vida acuática, hacen de estos animales particularmente susceptibles a fuentes de perturbación como la exposición a químicos tóxicos. Dado que muchas de estas sustancias son lipofílicas, tienden a acumularse en las gruesas capas de grasa que sirven de aislamiento a los mamíferos marinos (Tanabe

et al., 1994; Berta, *et al.*, 2006). Por ejemplo, estudios hechos en más de 70 especies distintas (incluyendo cetáceos, carnívoros y sirenios) indican que se puede esperar encontrar acumulación de químicos organoclorados¹ en todos los mamíferos marinos del planeta (O'Shea y Tanabe, 2003). La contaminación por ruido es otra fuente de presión que podría afectar particularmente a los mamíferos marinos, ya que éstos explotan el hecho de que el sonido es un excelente canal para el transporte de información bajo el agua, utilizándolo para explorar el medio, para la localización y captura de presas, para comunicarse con conespecíficos y para identificar depredadores (Richardson *et al.*, 1995; Tyack y Miller, 1999). Algunos ejemplos de la creciente evidencia del impacto del ruido antropogénico sobre poblaciones de mamíferos marinos incluyen modificación de sus vocalizaciones (Rendell y Gordon, 1999; Miller *et al.*, 2000; Foote *et al.*, 2004), evasión e interrupción de conductas como el forrajeo (Tyack, 2006) y posiblemente, barotraumas letales (Jepson *et al.*, 2003).

Desde hace varios años, México ha convertido la protección de los mamíferos marinos en emblema nacional, presumiendo el impulso de políticas de protección como la modificación a la Ley de Fauna Silvestre² (Congreso general de los Estados Unidos Mexicanos, 2008), el apoyo para la protección y creación de santuarios para ballenas y el rechazo a la “Declaración de St. Kitts y Nevis” (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2006)³. Además, el interés de México por la protección de los mamíferos marinos se puede asociar con la relevancia económica que han adquirido actividades como la observación de ballenas que, tan solo en Bahía Banderas en 1997, generó un ingreso diario directo mayor a los 100,000 dólares americanos (Ávila Foucat y Saad Alvarado, 1998).

El desarrollo de planes responsables de conservación requiere del estudio de la biología de las especies, pues es necesario conocer a los organismos y cómo interactúan con su medio y con otros

¹Estos compuestos incluyen pesticidas como el DDT (Fernández Bremauntz *et al.*, 2005). Se sabe que, entre otras cosas, pueden provocar parálisis del sistema nervioso (Barron, 2002).

²Modificación hecha en 2006 con la que se prohíbe cualquier aprovechamiento extractivo, ya sea de subsistencia o comercial, de mamíferos marinos en México.

³La declaración de St Kitts y Nevis fue un llamado a la Comisión Ballenera Internacional para retomar los planteamientos de la Convención Internacional para la Regulación de la Industria Ballenera (1946), que le dio origen y que buscaba la protección de los *stocks* balleneros para permitir el desarrollo sustentable y controlado de la industria ballenera (Comisión Ballenera internacional, 2006).

organismos, para saber cómo pueden ser afectados por cambios en sus ambientes. Por ejemplo, en un estudio realizado con cachalotes (*Physeter macrocephalus*), Rendell y Whitehead (2003) sugieren que la estructura de las poblaciones podría estar determinada, en mayor medida por aspectos culturales asociados con un tipo de vocalizaciones (las codas), que por factores geográficos o genéticos. Este planteamiento implica que se debe tomar en cuenta el componente cultural al pensar en la conservación o manejo “adecuado” de dicha especie en particular y resalta la importancia, en general, de los estudios de ecología poblacional y conductual.

En el caso de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), se ha propuesto que la canción es un despliegue asociado con la reproducción de la especie, ya que es una vocalización llevada a cabo por los machos, principalmente durante los meses de invierno, cuando parte de la población se encuentra realizando actividades reproductivas (ya sea de apareamiento o de crianza) en latitudes tropicales y subtropicales (Chittleborough, 1955; Dawbin, 1966; Nishiwaki, 1966; Baker *et al.*, 1986; Katona y Beard, 1991). Aunque la ocurrencia del canto se concentra en las zonas de estancia invernal, la conducta se ha registrado también durante la primavera y el otoño, a lo largo de las rutas de migración y, ocasionalmente, en las zonas de alimentación en el verano (Payne y McVay, 1971; Dawbin y Eyre, 1991; Norris *et al.*, 2001; Clark y Clapham, 2004). Posiblemente, se trate de una de las conductas más estudiadas de los cetáceos debido a la relativa facilidad para obtener grabaciones y por particularidades como el tipo de variación, que llevaron a Payne *et al.* (1983) a considerarla como única en el reino animal. Ante la posibilidad de que el canto pueda estar relacionado con el éxito reproductivo de los individuos de la especie, resulta de particular interés, para propósitos de conservación, entender cómo funciona y cómo puede ser afectado por factores como los cambios en la densidad de individuos en las zonas de agregación invernal o el incremento del ruido antropogénico proveniente del tráfico marino. En este caso, el trabajo de investigación que aquí se presenta, busca contribuir con el conocimiento sobre los aspectos básicos de la canción, particularmente, sobre la dinámica de la variación en su estructura.

Los trabajos en torno al canto de la ballena jorobada pueden dividirse fundamentalmente en dos rubros, aquellos que exploran el posible valor adaptativo del despliegue (Tyack, 1981; Baker y Herman, 1984; Mobley y Herman, 1985; Medrano-González *et al.*, 1994; Frankel *et al.*, 1995; Frazer y Mercado, 2000; Darling y Bérubé, 2001; Darling *et al.*, 2006) y los que se enfocan en aspectos estructurales como los patrones y fuentes de variación (Winn y Winn, 1978; Hafner *et al.*, 1979; Payne *et al.*, 1983; Cerchio *et al.*, 2001), la innovación (Hewleg *et al.*, 1990; Helweg *et al.*, 1998) y la transmisión cultural (Dawbin y Eyre, 1991; Noad *et al.*, 2000; Eriksen *et al.*, 2005). Pero, a pesar del amplio esfuerzo dedicado al estudio de esta conducta, son pocas las certezas en cuanto al papel del canto en la biología reproductiva de la especie y en cuanto al aprendizaje y dinámica del cambio en su estructura. En otras palabras, no se sabe cuándo se aprende el canto ni cómo se integran sonidos nuevos; tampoco si existen algunos cantores cuya rendición del canto les resulta en mayores ventajas que a otros y, si los hay, en qué consisten dichas ventajas.

La canción en el reino animal involucra la especialización de señales discretas y de reglas que dirigen su organización en secuencias (Smith, 1991). Ambos aspectos de la canción pueden presentar características filogenéticamente conservadas, pero también pueden verse afectados por factores como el tipo de hábitat (Van Buskirk, 1997), aislamiento geográfico (Risch, *et al.*, 2007) o selección sexual (Charlton *et al.*, 2007). Así, la combinación de elementos ambientales, sociales y evolutivos pueden modelar la variabilidad de la canción de una especie, por lo que los estudios de variación entre poblaciones, pueden llevar a entender la dinámica evolutiva que la modela (Riebel y Slater, 2003) y pueden mejorar el conocimiento sobre su función (Van Buskirk, 1997). Tomando esto en cuenta, la investigación realizada consistió en analizar y comparar la canción de la ballena jorobada, en dos agregaciones invernales distintas, para entender mejor la dinámica de los cambios temporales en estas vocalizaciones e identificar posibles patrones de variación intra e inter-agregación.

Antecedentes

Los primeros estudios sobre el canto de la ballena jorobada se pueden rastrear hasta Payne y McVay (1971) quienes describieron por primera vez la conducta en la revista *Science*. A partir de entonces, se ha establecido que la denominada “canción” de la ballena jorobada es una serie de sonidos sucesivos que conforman una secuencia con duración entre 5 y 20 minutos y que se repite cíclicamente (Payne y McVay, 1971; Winn y Winn, 1978; Silber, 1986). Se sabe que el canto es una vocalización producida únicamente por los machos (Winn y Winn, 1978; Silber, 1986), principalmente durante el invierno, cuando se concentran las actividades reproductivas de la especie (Payne *et al.*, 1983). Así, una de las características de las agregaciones invernales de estas ballenas es la constante presencia del sonido del canto. Este es emitido por un número cambiante de machos, principalmente solitarios, sin que exista evidencia de ningún tipo de sincronía entre ellos, aunque casi siempre se puede escuchar a más de un individuo cantando a la vez (Cato, 1991; Smith Aguilar, 2007). En cuanto a la estructura de la canción, Payne y McVay (1971) la describieron como secuencias de sonidos, denominados unidades, que conforman frases, las cuales se repiten un número variable de veces y constituyen temas (Figura 1); el conjunto de temas forma una canción y una serie ininterrumpida de canciones es una sesión. Dicha estructura jerárquica se ha corroborado por varios estudios utilizando tanto métodos cualitativos (Payne y McVay, 1971; Guinee *et al.*, 1983; Helweg *et al.*, 1990; Razafindrakoto *et al.*, 2001), como mediante análisis cuantitativos (Hafner *et al.*, 1979; Payne *et al.*, 1983; Walker *et al.*, 1996; Mercado III y Kuh, 1998; Maeda *et al.*, 2000; Mercado III *et al.*, 2003; Suzuki *et al.*, 2006; Miksis-Olds *et al.*, 2008). Se ha visto que el orden en el que se producen los temas es una de las características más estables de las canciones, permitiendo reconocer y predecir qué tema sigue a otro. Sin embargo, las omisiones de temas llegan a ser comunes, haciendo que la mayoría de las canciones no incluya todos los temas posibles (Winn y Winn, 1978; Payne *et al.*, 1983; Salinas Zacarías, 2000). Otro aspecto inestable de la canción es que la configuración precisa de algunas unidades y el número de frases por tema pueden

variar de un ciclo al siguiente. También se ha descrito la ocurrencia de frases transicionales entre dos temas, las cuales suelen combinar características de ambos y que, en ocasiones, sustituyen a uno o más temas que se omiten de la canción (Payne y McVay, 1971). Todo esto llevó a Payne *et al.* (1983) a considerar que la canción de la ballena jorobada es altamente organizada, pero lábil.

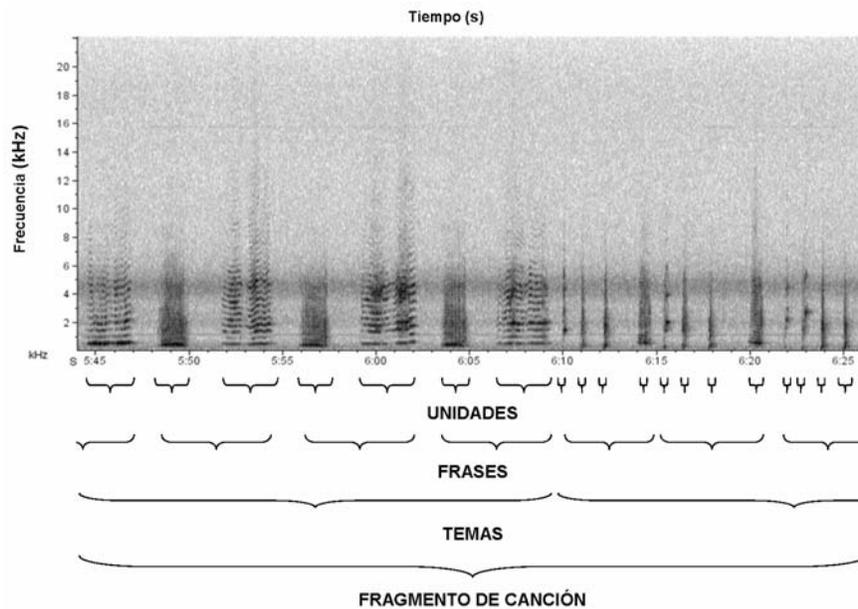


Figura 1. Espectrograma de un fragmento de canción de ballena jorobada mostrando la clasificación de sus componentes estructurales de acuerdo con Payne y McVay (1971): unidades, frases y temas. Cuando los machos cantan, pueden repetir la canción un número variado de veces. El conjunto de canciones continuas se denomina “sesión de canto”. Las zonas de color más oscuro en el espectrograma indican sonidos de mayor intensidad.

Se sabe que los machos que se agregan en una misma zona de estancia invernal cantan prácticamente la misma versión de la canción en un mismo momento (Guinee *et al.*, 1983). Dicha versión “compartida” de la canción evoluciona a lo largo del tiempo, haciendo que la canción de un lugar en un momento sea distinta a la de un momento anterior o posterior (Winn y Winn, 1978; Guinee *et al.*, 1983; Payne *et al.*, 1983; Helweg *et al.*, 1990; Cato, 1991; Dawbin y Eyre, 1991; Mednis, 1991; Helweg *et al.*, 1998; Noad *et al.*, 2000; Salinas Zacarías, 2000; Cerchio *et al.*, 2001; Mercado III *et al.*, 2003). Estudios tempranos (Payne y McVay, 1971; Winn y Winn, 1978; Payne *et al.*, 1983) partían de que las variaciones temporales se observaban en grabaciones de años distintos, lo que llevó a proponer que las diferencias entre años podían deberse a errores de “olvido” de los machos de un año al

siguiente, ya que prácticamente no cantan durante los meses de verano. Sin embargo, esta idea quedó descartada cuando Payne *et al.* (1983) encontraron que los cambios temporales se dan principalmente dentro del mismo invierno y de manera gradual. Se ha sugerido que puede haber un conjunto de reglas básicas que rigen los cambios en el canto, con un número limitado de posibilidades de cambio acotadas a un mismo modelo básico de canción (Payne *et al.*, 1983; Cerchio *et al.*, 2001); pero aun no se conoce cuáles son estas reglas. Se ha visto que los cambios que se dan a lo largo del tiempo involucran tanto a unidades, como frases y temas. Por ejemplo, Winn y Winn (1978) mencionan que los cambios anuales ocurren tanto en el tipo y número de unidades, como en el patrón de las mismas, afectando, por consiguiente, a las frases y temas. Se ha planteado que el cambio progresivo de la canción ocurre principalmente por la recombinación de las frases (Helweg *et al.*, 1990), pero también se ha encontrado un recambio de unidades y una tendencia de las frases a alargarse con el tiempo (Payne *et al.*, 1983). A nivel de los temas se observan tanto sustituciones como pérdidas y adiciones (Payne *et al.*, 1983; Cato, 1991). Se ha dicho que algunos patrones de sonidos son recurrentes a través de años y poblaciones (Mercado III *et al.*, 2003) y que la “biblioteca” de sonidos disponibles para los cantores se mantiene relativamente constante (Helweg *et al.*, 1990), pero también se ha registrado la aparición de sonidos nuevos, posiblemente resultado de transmisión cultural (Payne *et al.*, 1983; Noad *et al.*, 2000).

Además de la variación temporal, diversos trabajos han permitido establecer que existen diferencias geográficas en las canciones de distintas poblaciones, las cuales aumentan conforme aumenta la distancia entre las poblaciones (Winn y Winn, 1978; Winn *et al.*, 1981; Helweg *et al.*, 1990; Cato, 1991; Dawbin y Eyre, 1991; Noad *et al.*, 2000; Salinas Zacarías, 2000). Una manera de observar la similitud en las canciones de sitios distintos ha sido mediante la cantidad de temas compartidos (Helweg *et al.*, 1990), indicando que estas diferencias también involucran a unidades y frases. Incluso, un estudio que comparó las canciones de dos localidades relativamente cercanas (Bahía de Banderas con Isla Socorro, ambas en México, ubicadas en la zona del Océano Pacífico oriental), encontró diferencias significativas en el número de veces que se empleó cada tema, en la duración de las frases y

en el número de unidades por tema, aunque los temas y el orden en el que aparecían, era el mismo para los dos sitios (Salinas Zacarías, 2000).

Un tercer nivel de variación a considerar es el que se puede dar entre individuos de una misma agregación invernal. Chu y Harcourt (1986) propusieron que algunos aspectos estructurales de la canción, asociados con el orden de los temas y la frecuencia de respiración, pueden ser indicadores de la condición física de los individuos, lo cual debería reflejarse en diferencias individuales. El estudio de Hafner *et al.* (1979) plantea que existe información suficiente en ciertas unidades de la canción para discriminar entre los distintos individuos. El estudio utilizó una muestra de cinco individuos distintos con una grabación por individuo que fueron colectadas a lo largo de tres años en varias localidades. Considerando esto, resulta difícil discriminar la supuesta variación individual de los otros tipos de variación que ahora se conocen. Aunque otros trabajos mencionan la variación individual en la canción, generalmente se limitan a presentar suposiciones e hipótesis al respecto (Payne y McVay, 1971; Winn y Winn, 1978; Guinee *et al.*, 1983; Salinas Zacarías, 2000; Arraut y Vielliard, 2004). Una de las posibles razones de la falta de estudios sobre la discriminación de distintos individuos se debe a la dificultad para obtener identificaciones confiables de los cantores, ya sea porque su patrón conductual lo complica o porque los mecanismos utilizados para grabar son remotos. Pero, ante la existencia de distintos niveles de variación en la canción de la ballena jorobada (geográfica, temporal y posiblemente, individual) resulta importante encontrar maneras de distinguir si algunos de los cambios dependen únicamente de una de las variables involucradas y esto requiere entre otras cosas, de poder discriminar el efecto de la variación individual.

Otro problema mencionado por algunos autores en el estudio de los cambios en la canción de la ballena jorobada, es la falta de técnicas replicables para la descripción y clasificación de las vocalizaciones que permitan evaluar la similitud de los elementos de las canciones entre individuos de una misma agregación y entre individuos de agregaciones separadas en tiempo y espacio (Walker *et al.*, 1996; Mercado III y Kuh, 1998; Murray *et al.*, 1998). Esta preocupación se debe, en gran medida, a que

muchos de los estudios sobre la canción de la ballena jorobada se basan en la descripción y clasificación humana de sonidos o de representaciones gráficas de los mismos (*e.g.*, Payne y McVay, 1971; Guinee *et al.*, 1983; Cato, 1991), la cual puede variar considerablemente de persona a persona (Mercado III y Kuh, 1998). Ante esto, se ha propuesto el uso de sistemas de clasificación automatizado como redes neuronales artificiales (Walker *et al.*, 1996; Helweg *et al.*, 1998; Mercado III y Kuh, 1998; Suzuki *et al.*, 2006) y la aplicación de técnicas cuantitativas como análisis informacionales (Suzuki *et al.*, 2006; Miksis-Olds *et al.*, 2008), análisis fenéticos (Helweg *et al.*, 1998) y métodos estadísticos (Chabot, 1988; Helweg *et al.*, 1998; Maeda *et al.*, 2000) para analizar los sonidos de las ballenas jorobadas. Aunque las técnicas mencionadas han permitido un enfoque distinto para estudiar el canto de estos cetáceos, es importante mencionar que la mayoría de los resultados obtenidos corroboran la estructura descrita en los primeros trabajos, basados en análisis cualitativos. A pesar de la variabilidad de persona a persona, tres trabajos que describen la canción de la ballena jorobada de manera independiente y en localidades distintas (Bahamas-Venezuela, Hawai y Australia), encontraron la misma estructura (Winn y Winn, 1978; Payne *et al.*, 1983; Cato, 1991). Además, varios de los trabajos que utilizan técnicas cuantitativas, incluyen una comparación entre la clasificación de los sonidos utilizando sistemas automatizados y clasificaciones basadas en la percepción de seres humanos, encontrando discrepancias máximas del 10% (Helweg *et al.*, 1998; Maeda *et al.*, 2000; Suzuki *et al.*, 2006). Esto ha sido suficiente para que trabajos como el de Miksis-Olds *et al.* (2008) justifiquen el uso de técnicas cuantitativas basadas en clasificaciones perceptuales.

Planteamiento de la investigación

Objetivos

Describir la canción de las ballenas jorobadas que visitan la Bahía de Banderas y la Isla Socorro.

Desarrollar un análisis de la variación en la canción a partir de la categorización de los sonidos que la conforman, de acuerdo con la estructura planteada por Payne y McVay (1971).

Analizar la similitud entre conjuntos de canciones para describir los patrones de variación temporal, geográfica e individual.

Población de estudio

La ballena jorobada se considera como una especie “cosmopolita” debido a que sus poblaciones ocupan todos los océanos no congelados del planeta. Sin embargo, estas ballenas muestran preferencia por zonas costeras y su distribución no es homogénea a lo largo del año pues en verano se observa una mayor concentración de individuos en latitudes altas, mientras que en invierno muchos de los animales se agregan en zonas tropicales y sub-tropicales (Dawbin, 1966; Nishiwaki, 1966; Baker *et al.*, 1986; Katona y Beard, 1991; Figura 2).

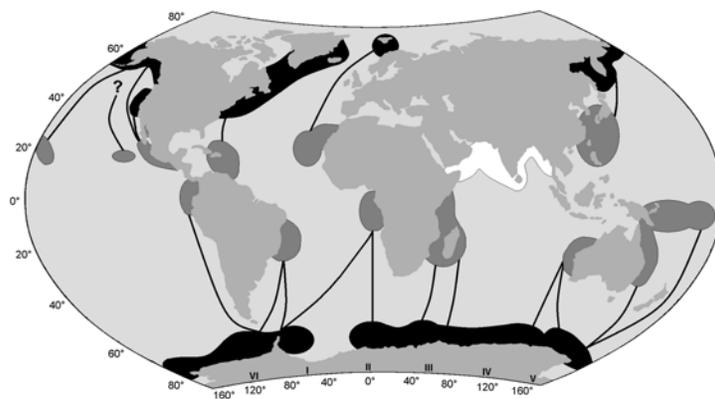


Figura 2. Áreas de concentración de las poblaciones de ballena jorobada *M. novaeangliae*, alrededor del mundo. Las líneas negras marcan las conexiones de migración entre zonas de reproducción (áreas gris oscuro) y de alimentación (áreas negras). Se cree que la agregación del Mar Arábigo (área en blanco) permanece ahí durante todo el año (Mikhalev, 1997) (modificado de Medrano González y Urbán Ramírez, 2002).

Además de la segregación temporal, las ballenas jorobadas se agrupan en poblaciones que no se mueven indistintamente de un océano a otro, permitiendo distinguir una población del Océano Pacífico norte, una del Océano Atlántico norte y una del Océano Austral (Baker *et al.*, 1986; Katona y Beard, 1991; International Whaling Commission, 2004). Asimismo, la mayoría de los individuos de una población tampoco se mueven ni interrelacionan libremente dentro de un mismo océano, sino que forman subconjuntos que se han denominado “*stocks*” o subpoblaciones (Baker *et al.*, 1986; Urbán *et al.*, 2000; Medrano-González *et al.*, 2001; Calambokidis *et al.*, 2007).

El presente estudio se está realizando con grabaciones colectadas en el Océano Pacífico mexicano, alrededor de las costas de Bahía Banderas, Jalisco-Nayarit, y de Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo (Figura 3). Las ballenas que visitan ambas zonas durante el invierno son parte de la población del Océano Pacífico norte, pero la evidencia sugiere que pertenecen a dos *stocks* distintos que no comparten destinos de alimentación y que sólo ocasionalmente se mueven entre las dos zonas (Urbán y Aguayo, 1987; Medrano-González *et al.*, 1995; Urbán *et al.*, 2000; Calambokidis *et al.*, 2007).

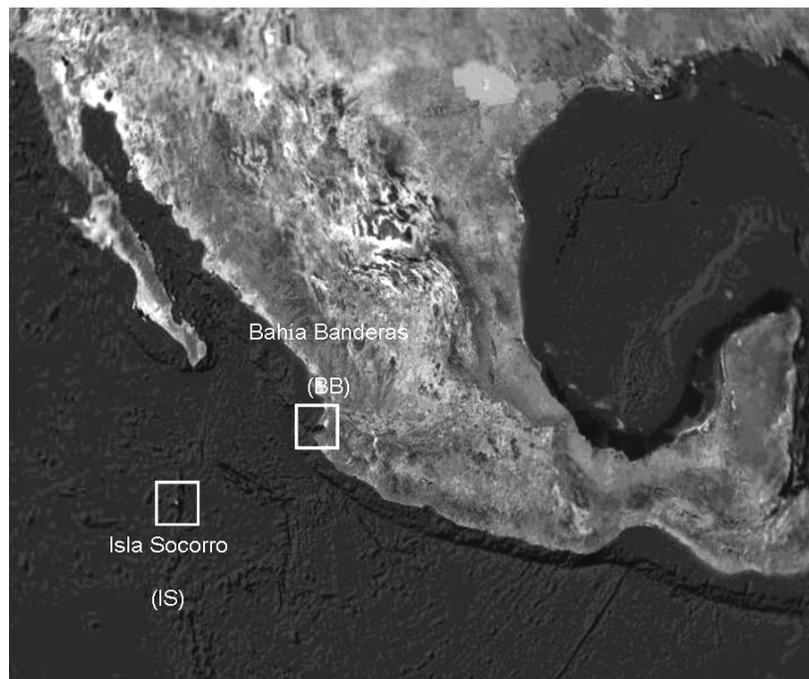


Figura 3. Imagen satelital de México mostrando la localización de los dos sitios de estudio.

Se ha estimado que en 1992, el stock costero tenía cerca de 1813 individuos, mientras que en 1991, el stock Revillagigedo contaba con alrededor de 914 individuos (Urbán *et al.*, 1999). Cálculos más recientes utilizando datos de fotoidentificación de 2003-2006, proponen una población entre 6000 y 7000 individuos para el Océano Pacífico mexicano, incluyendo 5000 individuos para la península de Baja California, 750 para la zona de Bahía Banderas y 750 para el Archipiélago de Revillagigedo (Calambokidis *et al.*, 2007). Por otra parte, Juárez Salas (2008) obtuvo una estimación de 7500-8900 individuos para Bahía de Banderas, aunque menciona que seguramente esta abarca el conjunto total de la agregación del Océano Pacífico norte. El estudio de Martínez Aguilar (2008) hizo una estimación poblacional para el Archipiélago de Revillagigedo considerando heterogeneidad en la marcabilidad de los individuos obteniendo una abundancia entre 3500 y 3800 individuos con una tasa de crecimiento anual de ca. 7%.

Sitios de estudio

Bahía de Banderas

La Bahía de Banderas se encuentra en la costa noroeste de México, entre los paralelos 20° 15' y 20° 47' de latitud norte y los meridianos 105° 15' y 105° 42' de longitud oeste. La boca de la bahía se extiende desde Punta de Mita, Nay., en el norte hasta Cabo Corrientes, Jal., en el sur, con una distancia cercana a los 44 km entre los dos puntos. La bahía engloba un área aproximada de 987 km² y a lo largo de su boca se encuentra el Parque Nacional Archipiélago de las Marietas, conformado por dos islas, tres islotes y un par de rocas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2007). Predominan los climas semicálido sub-húmedo y cálido sub-húmedo, ambos con lluvias en verano. La precipitación total anual varía de 1000 a 2000 mm (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno, 1988).

De manera general, Bahía de Banderas presenta aguas someras en su mitad norte (profundidades menores a 200 m), mientras que en la parte sur, se encuentran un cañón cuya base marca la zona de mayor profundidad. La plataforma continental es amplia en la costa norte, extendiéndose 14 km hacia

el sur de Punta Mita y se va estrechando al avanzar hacia el sur, presentando una distancia promedio de 8.5 km en la costa este y de 3 km, como mínimo, frente a Cabo Corrientes (Cano y Tovilla, 1991). El talud tiene una pendiente muy marcada en la costa sur, con una caída repentina de profundidad desde 200 m hasta más de 1000 m, particularmente a unos 8 km de la costa sur, donde se encuentra la base del cañón a más de 1400 m (García Reséndiz *et al.*, 2004; Figura 4).

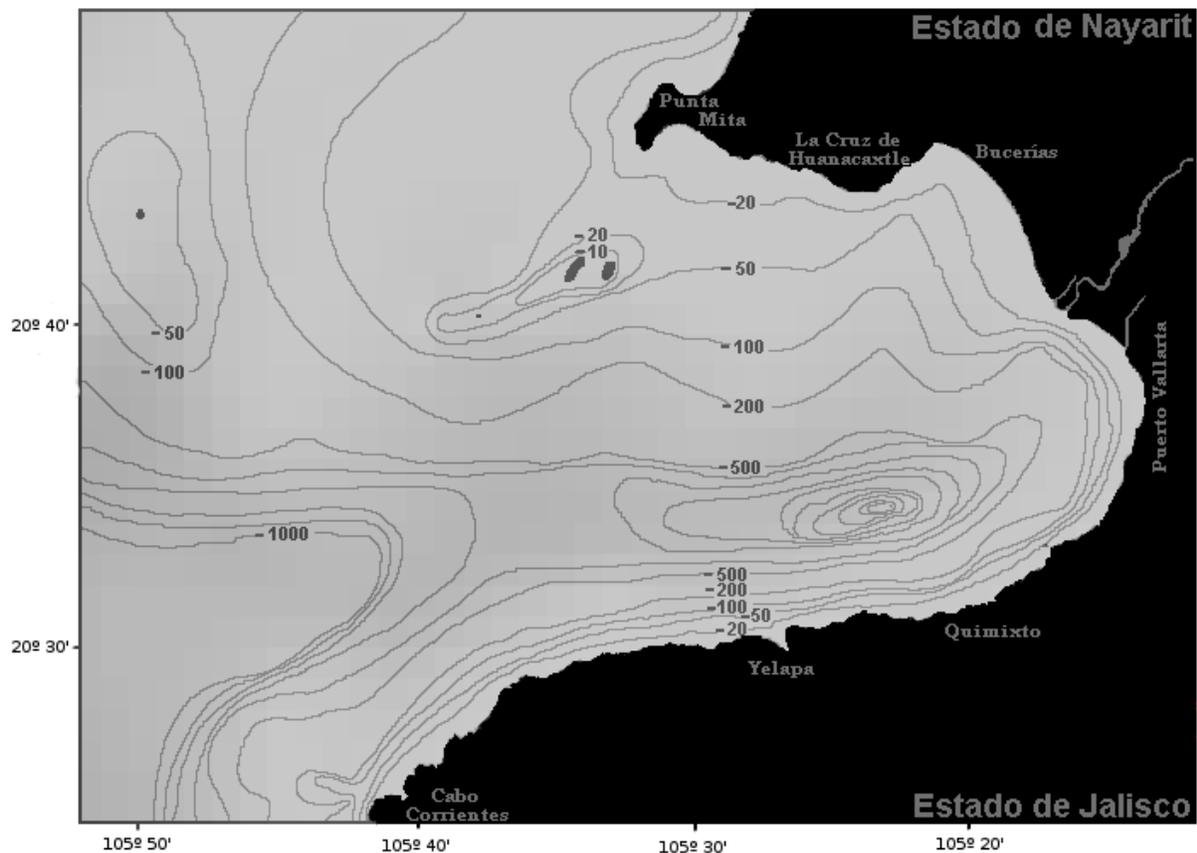


Figura 4. Imagen de Bahía de Banderas mostrando isobatas de profundidad, con valores expresados en metros.

Siendo parte de la boca del Golfo de California, la Bahía de Banderas es una zona donde hay influencia de tres masas de agua superficiales. Entre los meses de enero y junio (estación de secas), la corriente de California aporta aguas frías (15-20 °C) y entre julio y diciembre (estación de lluvias), predomina la influencia de la corriente del Océano Pacífico oriental tropical (con temperaturas mayores a los 25 °C) y el agua del Golfo de California (Wyrтки, 1965; Álvarez Sánchez *et al.*, 1978). La afluencia hidrológica de mayor importancia en la bahía proviene del Río Ameca, que marca el límite estatal entre

Jalisco y Nayarit y aporta una gran cantidad de materia orgánica en la época de lluvias (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno, 1988).

La temperatura superficial del mar registra valores promedio anuales mayores en la zona norte que la zona sur, con una variación aproximada de 2 °C. En invierno se registra una temperatura superficial promedio del agua de 23.6 °C, mientras que en verano se alcanzan valores promedio de 28.5 °C (Salinas Zacarías y Bourillón Moreno, 1988).

Isla Socorro

La Isla Socorro se localiza en el Océano Pacífico occidental mexicano a 18° 41' de latitud norte y 110° 56' de longitud oeste, cerca de 480 km al sur de la península de Baja California y a 716 km de Manzanillo, Colima (Figura 5). Es la isla más grande de las cuatro que conforman el Archipiélago de Revillagigedo, con una extensión aproximada de 210 km² y una altitud de 1050 msnm en su punto más alto (Ortega y Sánchez, 1985; Castellanos y Ortega Rubio, 1994). La longitud máxima de la isla alcanza 16.8 km mientras que la parte más ancha tiene 15.6 km de largo (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2004). El clima es árido con temperaturas que no bajan de los 18 °C en el mes más frío y con una temperatura media anual máxima de 22 °C. Se identifica una estación de huracanes entre los meses de junio y noviembre y, frecuentemente, la isla sufre el impacto de los ciclones del Océano Pacífico nororiental, que se forman en la zona del Golfo de Tehuantepec.

La zona donde se encuentra Isla Socorro se ve influenciada por el centro de alta presión del Océano Pacífico norte durante el invierno, pero la mayor parte del año predominan los efectos de la presión baja correspondiente a la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Al igual que en gran parte del Océano Pacífico mexicano, los vientos dominantes tienen dirección sur. Entre septiembre y diciembre se intensifica también el componente oeste mientras que entre enero y abril, los vientos se inclinan hacia el sureste. Entre abril y mayo, el componente sur alcanza su máximo, mientras que de junio a septiembre, los vientos se debilitan y provienen de direcciones variadas (Lluch-Cota *et al.*, 1994).

Oceanográficamente, la isla se encuentra en una zona de frontera entre la corriente del Océano Pacífico nororiental y la corriente del Océano Pacífico tropical oriental. Las masas de agua que afectan los alrededores de la isla corresponden principalmente a la corriente de California, la corriente nor-ecuatorial y la contracorriente ecuatorial. Durante los meses de febrero a abril predomina la corriente de California que, entre mayo y junio, se encuentra con la corriente nor-ecuatorial Pacífica, de aguas mas cálidas y saladas. De agosto a diciembre, la corriente de California se desvía, perdiendo impacto en la zona, mientras que la corriente nor-Ecuatorial mantiene su afluencia. Estas variaciones estacionales hacen que la temperatura superficial promedio del mar varíe entre 22 y 25 °C en el invierno y entre 28 y 29 °C en el verano (Lluch-Cota *et al.*, 1994; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2004).

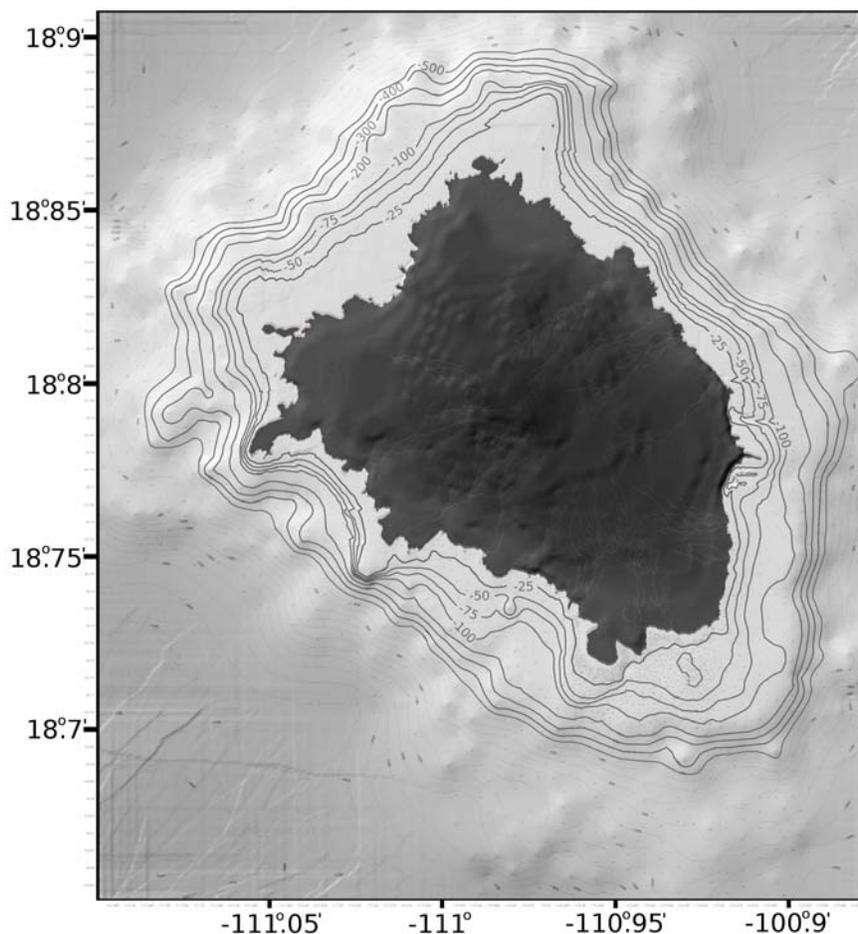


Figura 5. Imagen de la Isla Socorro mostrando isolíneas de profundidad con valores expresados en metros.

Métodos

Obtención de datos

Se utilizaron 70 grabaciones de la colección acústica del Grupo de Mastozoología Marina de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizadas en Bahía de Banderas (15) y en los alrededores de Isla Socorro (55) entre enero de 2003 y abril de 2005 (Cuadro 1; Figura 6). Todas las grabaciones fueron hechas durante el día desde embarcaciones menores con motor fuera de borda y utilizando un hidrófono omnidireccional y una grabadora analógica (Cuadro 2). Las combinaciones de equipos no siempre fueron las mismas pero, salvo cuatro excepciones, las grabaciones de un mismo lugar y año se hicieron con el mismo conjunto de hidrófono y grabadora. Las especificaciones de cada aparato se muestran en el Anexo 1. Tres de las grabaciones hechas en la Isla Socorro en 2005 (18 de febrero, 13 de marzo y 19 de marzo) fueron donadas por Danielle Cholewiak de la Universidad de Cornell y fueron hechas con un hidrófono con las mismas características que el HTI96MIN3 que se ve en el Cuadro 2 y una grabadora digital Marantz PMD670. La cuarta excepción es una grabación de Bahía de Banderas hecha el 24 de febrero de 2003 que fue una donación de Oliver Velázquez y Omar Iturbe y se desconocen las especificaciones del equipo con el que se realizó.

Cada vez que se sospechaba que había un cantor cercano (por ejemplo, debido al patrón conductual de algún individuo) se colocaba la embarcación sobre el lugar de su última inmersión y se introducía el hidrófono para monitorear los sonidos submarinos (en muchas ocasiones, la canción se podía escuchar directamente en el aire). Si la canción sobresalía claramente del ruido de fondo (incluyendo la canción de otros individuos) permitiendo distinguir claramente sus componentes, se esperaba a que el cantor saliera a respirar y se corroboraba que los silencios en la canción correspondieran con las salidas del individuo a respirar. También se intentaba fotointerferir a la ballena, aunque en muchos casos no fue posible obtener una buena fotografía debido a su lejanía o al ángulo en el que salió con respecto a la embarcación. Si la calidad de las señales era buena, se grababa,

continuando los intentos de fotoidentificación en el transcurso de la grabación o al final de la misma. Las grabaciones se hicieron con el motor de la embarcación apagado utilizando un ancla de agua para reducir la deriva. El proceso de grabado duraba generalmente 45 minutos continuos, a menos que se dejara de escuchar la canción por más de diez minutos o cuando comenzaba a anochecer. En algunos casos, fue necesario suspender momentáneamente la grabación para mover la embarcación debido a que el cantor se había alejado mucho (al punto donde la canción dejaba de distinguirse claramente del ruido de fondo) o porque la embarcación estaba muy cerca de tierra. En todos los casos se tomaron notas sobre lo que sucedió durante la grabación, incluyendo los tiempos de ventilación, conducta general y cercanía de otros individuos e interacciones con el cantor, si estas llegaron a suceder. Además, siempre se registró la fecha, hora y posición geográfica en las que se hizo la grabación.

Cuadro 1. Grabaciones del canto de la ballena jorobada utilizadas para el estudio. El periodo de muestreo de cada año se dividió en 16 semanas, desde el primero de enero hasta el 22 de abril. Los números en *itálicas* indican el día en el que se hizo una grabación, acotado a la semana señalada en la primera columna. Las siglas BB indican Bahía de Banderas, IS = Isla Socorro, 03 = 2003, 04 = 2004 y 05 = 2005. *Días en los que se hicieron dos grabaciones.

Fechas	BB03	BB04	BB05	IS03	IS04	IS05	Total
1-7 ene							0
8-14 ene							0
15-21 ene	<i>19, 21</i>						2
22-28 ene	<i>23, 28*</i>	<i>28</i>			<i>26</i>		5
29 ene-4 feb		<i>31</i>			<i>30</i>		2
5-11 feb			<i>8, 11</i>		<i>8*, 9*</i>	<i>9</i>	7
12-18 feb	<i>12*</i>	<i>12</i>			<i>12, 13, 14*, 17, 18</i>	<i>15, 18</i>	11
19-25 feb	<i>24</i>		<i>25</i>	<i>25</i>	<i>25</i>	<i>19*, 21, 24</i>	8
26 feb-4 mar					<i>26, 27, 28, 1</i>	<i>26</i>	5
5-11 mar	<i>10</i>			<i>7, 11</i>	<i>7, 8,</i>		5
12-18 mar				<i>12,13, 17*</i>	<i>13, 17</i>	<i>13, 17, 18*</i>	10
19-25 mar				<i>22, 24*</i>	<i>22</i>		4
26mar -1abr					<i>29, 31*</i>	<i>28, 29</i>	5
2-8 abr					<i>7</i>	<i>3</i>	2
9-15 abr					<i>12, 14</i>	<i>12</i>	3
16-22 abr					<i>16</i>		1
Total	9	3	3	10	29	16	70

Isla Socorro

Bahía Banderas

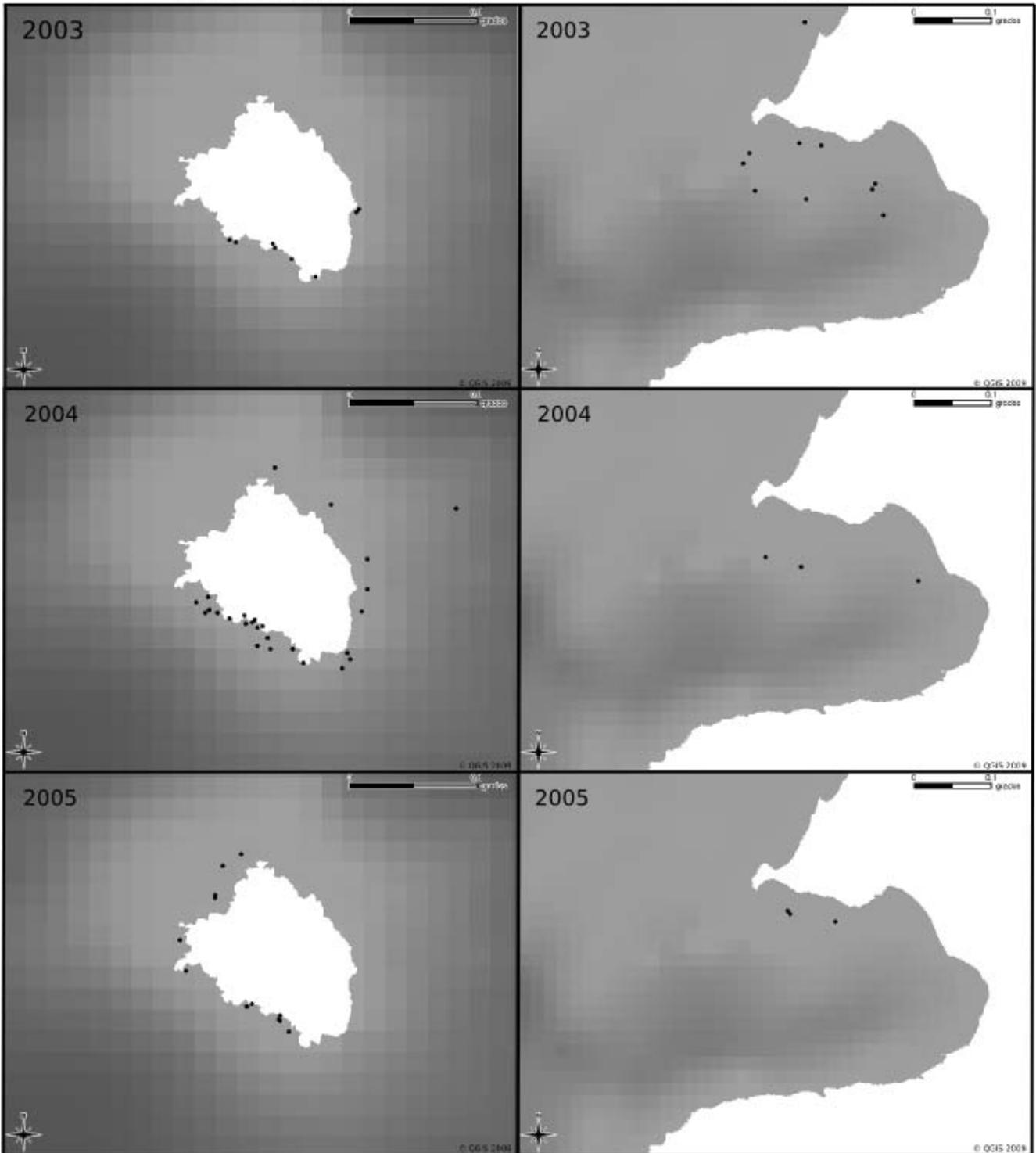


Figura 6. Ubicación de los puntos donde se realizaron grabaciones de canto de ballena jorobada en Isla Socorro (columna izquierda) y en Bahía Banderas (columna derecha). Los tonos de gris son indicadores de profundidad (entre más claro el tono, menor profundidad), basados en los datos de ETOPO1 Worldwide Topography obtenidos del Centro de Datos geofísicos (NGDC) de la Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA; <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>).

Cuadro 2. Equipo de audio utilizado en cada localidad y año para hacer las grabaciones del canto de la ballena jorobada analizadas en este estudio. Las especificaciones técnicas se presentan en el anexo 1.

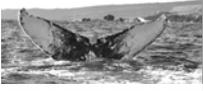
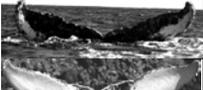
Lugar	Año	EQUIPO 1		EQUIPO 2	
		Hidrófono 1	Grabadora 1	Hidrófono 2	Grabadora 2
Bahía de Banderas	2003	BM214	SONY TC-D5M	BM214	SONY TCM-25DV
Bahía de Banderas	2004	BM 8263-2	SONY TCM-25DV		
Bahía de Banderas	2005	HTI-96-MIN3	RadioShack CTR-121		
Isla Socorro	2003	BM 8263-2	SONY TC-D5M		
Isla Socorro	2004	JJ1	SONY TC-D5M		
Isla Socorro	2005	JJ1	SONY TC-D5M	HTI-96-MIN2	SONY TC-D5M

El conjunto de grabaciones presentado en el Cuadro 1 permitió hacer comparaciones intra e inter-localidades e intra e inter-anales. Además, fue posible observar el efecto individual sobre la variación en la canción ya que 21 de los individuos grabados en Isla Socorro entre 2004 y 2005 pudieron ser identificados, con lo que fue posible notar que 5 individuos fueron grabados en más de una ocasión (recapturas; Cuadro 3). Con esto, se tuvieron grabaciones de un mismo individuo en días distintos, con separaciones temporales que abarcaron desde un día hasta un año (Cuadro 4), permitiendo describir la variación temporal del canto de un mismo individuo y de individuos distintos.

Cuadro 3. El cuadro muestra la cantidad de grabaciones que se pudieron asociar a individuos específicos permitiendo identificar recapturas. Se encontró una recaptura entre 2004 y 2005 en Isla Socorro. BB = Bahía Banderas, IS = Isla Socorro, 03 = 2003, 04 = 2004 y 05 = 2005.

	BB03	BB04	BB05	IS03	IS04	IS05	IS04-IS05	Total
# de grabaciones	9	3	3	10	29	16	-	70
# de individuos grabados y fotoidentificados	-	-	-	-	15	6	-	21
# de recapturas	-	-	-	-	3	1	1	5

Cuadro 4. Casos identificados donde se grabó a un mismo individuo en más de una ocasión. Sólo se muestra Isla Socorro debido a que en Bahía de Banderas no se obtuvieron identificaciones de los cantores.

Individuo recapturado	Número de capturas	Capturas durante 2004 (Isla Socorro)		Capturas durante 2005 (Isla Socorro)		Días entre capturas
"DIAMANTE" 	2	30 ene.	14 feb.			15
"PLÁCIDO" 	2	8 feb.	9 feb.			1
"PAN" 	2	12 feb.		18 feb.		371
"HALDIR" 	2	17feb.	29 mar.			40
"BONO"	3	22 mar.		17 mar.	29 mar.	360, 372 y 12

También se tomó en cuenta el efecto del entorno social sobre la variación en la canción de la ballena jorobada. Ante la falta de información sobre la presencia inmediata de conespecíficos y sus interacciones con los cantores grabados, se utilizaron los datos de contexto social presentados en Smith Aguilar, 2007. En dicho trabajo, el contexto social se define como la relación entre abundancia relativa (Ab) y proporción de machos (fMac) en la población y se puede representar en un plano bidimensional como se muestra en la Figura 7. Este espacio se dividió en 6 cuadrantes que representan 3 condiciones de abundancia relativa (1: $Ab \leq 1$ individuo/hora; 2: $1 \text{ ind/hora} < Ab \leq 3 \text{ ind/hora}$ y 3: $Ab \geq 3 \text{ ind/hora}$) y dos condiciones de proporción de machos (1: $fMac \leq 0.5$ y 2: $fMac > 0.5$). Basados en los datos de avistamientos de ballena jorobada del Grupo de Mastozoología Marina de la Universidad Nacional Autónoma de México, correspondientes a los inviernos de 2003, 2004 y 2005 en Bahía de Banderas e Isla Socorro, los promedios semanales de Ab y fMac permitieron asociar a cada sesión de canto con el cuadrante de contexto social correspondiente a la semana en la que se hizo la grabación (Cuadro 5).

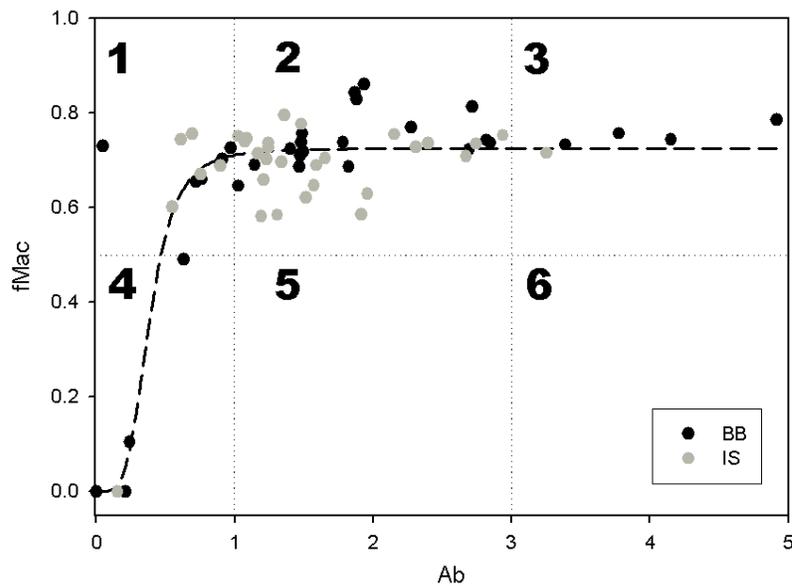


Figura 7. Relación entre abundancia relativa (Ab, # individuos/h) y proporción de machos (fMac) que conforman el contexto social de acuerdo con Smith Aguilar, 2007. Los números indican las seis combinaciones de Ab y fMac, denominadas cuadrantes, marcados con las líneas punteadas. Los datos obtenidos en Smith Aguilar (2007) se ajustaron a una curva de tipo Hill de tres parámetros marcada con la línea cortada. Datos de Bahía de Banderas = BB y datos de Isla Socorro = IS.

Cuadro 5. Cuadrante de contexto social correspondientes a las fechas en las que se hicieron grabaciones del canto de la ballena jorobada, de acuerdo con los datos de abundancia relativa y proporción de machos de Smith Aguilar, 2007.

Semana	BB03	BB04	BB05	IS03	IS04	IS05
1-7 ene						
8-14 ene						
15-21 ene	2					
22-28 ene	2	3			1	
29 ene-4 feb		2			1	
5-11 feb	3		2		2	1
12-18 feb	3	2			2	2
19-25 feb	2		2	2	2	2
26 feb-4 mar					2	2
5-11 mar	2			2	2	
12-18 mar				2	2	2
19-25 mar				2	2	
26mar -1abr					2	2
2-8 abr					2	1
9-15 abr					2	1
16-22 abr					2	

Análisis de datos

Descripción de las grabaciones

La mayor parte de las grabaciones se hicieron en cintas de 90 minutos las cuales se digitalizaron, utilizando el programa de edición de audio Audacity en un solo canal (mono) con una tasa de muestreo de 44100 Hz y un tamaño de muestra de 16 bits, para facilitar su manejo en la computadora. Para el análisis de los sonidos se utilizó el programa Raven Pro (versión 1.3), desarrollado en el Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell, calculando la transformada rápida de Fourier con 512 puntos, una ventana Hanning y 50% de traslape, obteniendo una resolución de 5.8 ms y 86.1 Hz.

Cada grabación corresponde a una muestra de una o varias “sesiones de canto” pero para propósitos descriptivos, a lo largo del texto se utilizó simplemente el término sesión. En algunos casos,

se extrajo más de una sesión de una misma grabación, ya sea porque fue posible distinguir (de manera auditiva) la secuencia del canto de más de un individuo o porque hubo alguna razón para poner en duda la continuidad de la sesión en curso (por ejemplo, cuando un cantor focal hizo una pausa larga que no estuvo asociada a un evento de respiración).

Todas las grabaciones fueron escuchadas y transcritas a mano utilizando una simbología basada en la simplificación de la distribución de la frecuencia en el tiempo, con ajustes para facilitar la identificación visual de tipos de sonidos considerados distintos (Figura 8). Así, cada transcripción proporcionó una representación subjetiva del espectrograma (sin información sobre la intensidad), con imágenes similares a los diagramas utilizados para hacer las primeras descripciones de la canción (Payne y McVay, 1971), pero basados en la audición de los sonidos en lugar de ser líneas calcadas del espectrograma original. Todas las sesiones fueron transcritas por la misma persona para reducir la variación en las transcripciones debidas a diferencias en la percepción. Con la representación gráfica de cada grabación se hizo una descripción detallada de la calidad y la duración de cada sesión y se pudo reconocer el número y el orden de las unidades⁴, así como, identificar y cuantificar las frases⁵ y los temas⁶. Se hizo una ficha para cada grabación con todas las formas de frases que se agruparon como un mismo tema (Figura 9). Esto facilitó definir los cambios de un tema a otro a lo largo de la canción, dar seguimiento a los cambios en las formas de las unidades y las frases de una grabación a otra, e identificar el surgimiento de frases nuevas. También fue una manera de controlar la consistencia de la simbología.

Con la clasificación de los componentes de la canción se representó a cada sesión como una secuencia de temas o frases. Para los temas se utilizaron letras y números, combinándolos para facilitar la asociación de los temas considerados “parecidos” (Cuadro 6). Una vez que se determinaron todos los temas distintos (que correspondió al número de frases distintas, ya que el tema es simplemente una

⁴ Sonido mínimo continuo detectable por el oído en tiempo real (Payne y McVay, 1971).

⁵ Serie de unidades (Payne y McVay, 1971).

⁶ Secuencia continua de frases similares (Payne y McVay, 1971).

frase repetida n veces), se le asignó un color a cada uno, procurando que también reflejaran el parecido entre los temas. Esta representación en colores se utilizó para analizar las secuencias de frases, ya que el color permitió mantener la identidad del tema, y la longitud del área de un mismo color se utilizó como indicador del número de frases en cada tema (Cuadro 6). Con el orden de los temas en las sesiones se buscaron los patrones cíclicos de repetición (la “canción”), mientras que el análisis de la secuencia de frases mostró la variación en el tamaño de los temas.

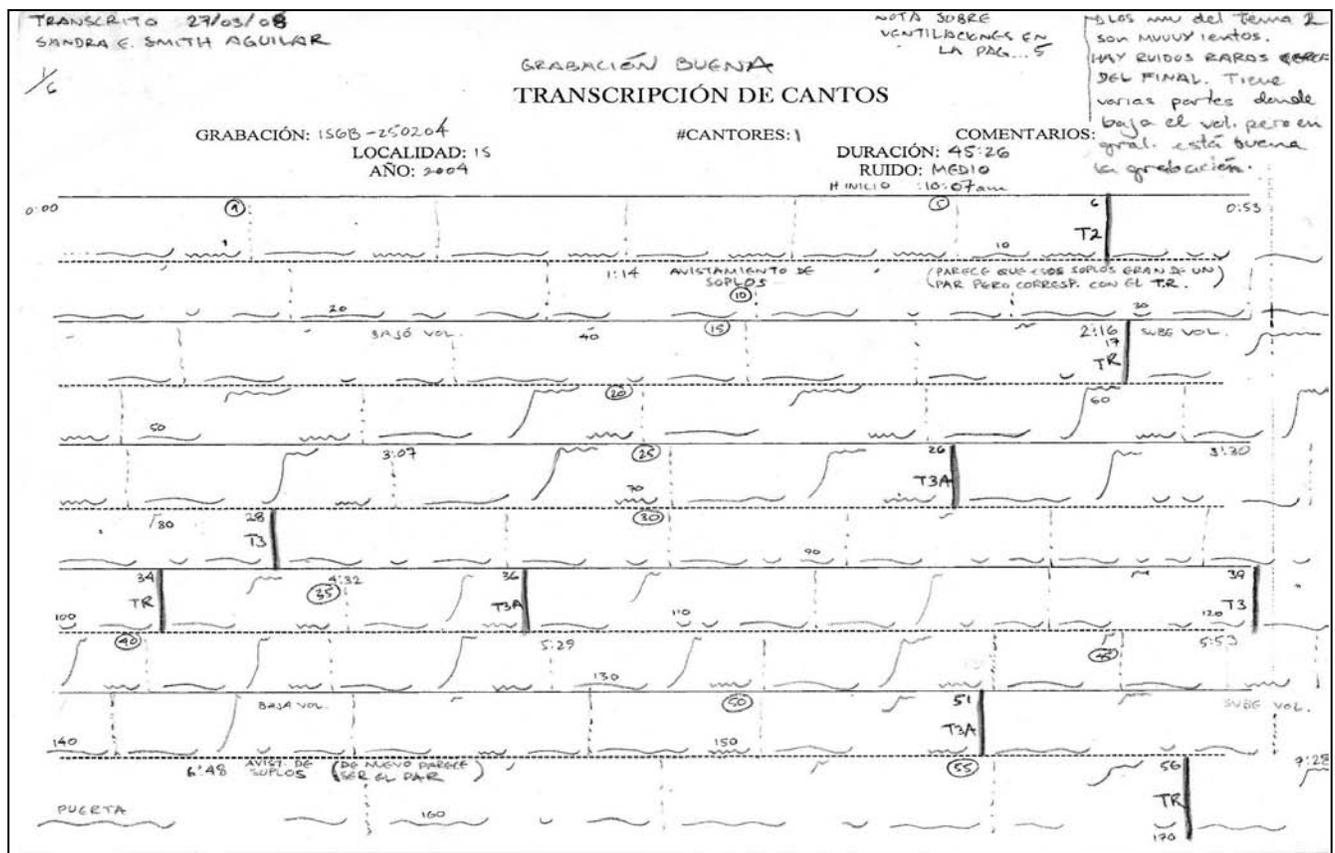


Figura 8. Transcripción de un fragmento de grabación de canto de ballena jorobada. Cada símbolo corresponde a una unidad de canto escuchada. Las líneas punteadas dividen frases y las líneas más oscuras marcan un cambio de tema.

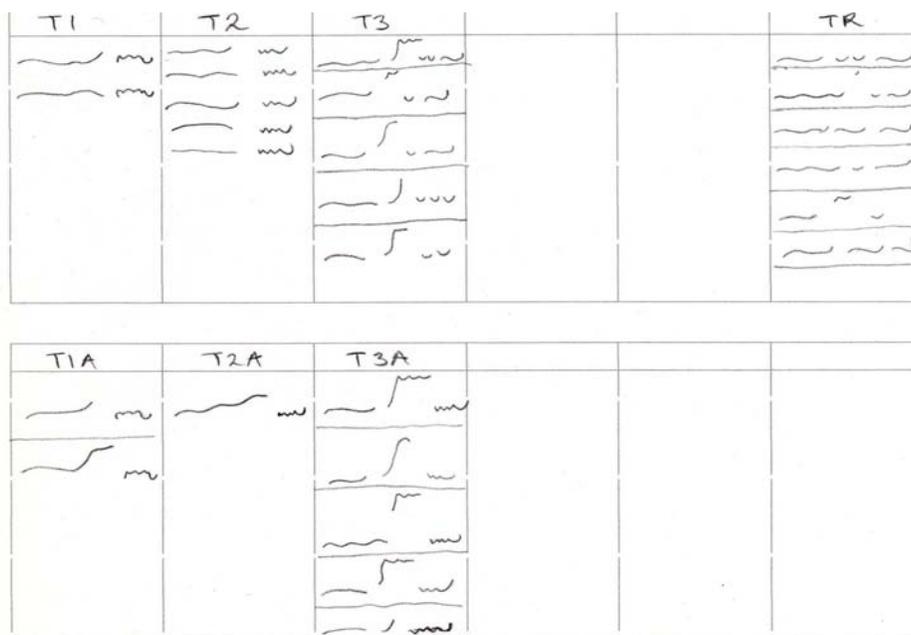


Figura 9. Ejemplo de las diversas formas de frase en los temas de una sesión de canto. En este caso, la grabación presentó 7 temas diferentes: T1, T1A, T2, T2A, T3, T3A y TR. A cada uno le corresponde una columna donde se muestran las distintas frases que se clasificaron juntas, por ejemplo, para el tema T3 se distinguieron 5 formas.

Cuadro 6. Ejemplo de la representación de 3 temas a partir de la simbología utilizada en las transcripciones de las sesiones de canto. Los temas se representaron como números y letras que, al coincidir en dos temas diferentes, indican similitud. También se asignó un color a cada tema, con el que se representaron las secuencias de frases.

SIMBOLOGÍA DE FRASE	# FRASES	TEMA	COLOR	SECUENCIA DE FRASES
	5	1	Yellow	
	10	1A	Orange	
	13	3	Blue	

Medición de la variación

Para medir la diferencia entre las sesiones de canto se utilizó un análisis basado en la ocurrencia de pares de elementos, ya sea de frases o temas, cuantificando las veces que apareció el elemento i seguido del elemento j (N_{ij} ; donde los elementos podían ser frases o temas). Así, los valores N_{ij} obtenidos no sólo reflejaron la presencia de un elemento determinado sino que también mantuvieron información sobre la estructura de las secuencias y con estos valores se produjeron matrices de

ocurrencia o “digramas”, como el que se muestra en la Figura 10. Se obtuvieron dos digramas por cada sesión de canto, uno para la secuencia de temas (T_{ij}) y otro para la secuencia de frases (F_{ij}).

A partir de cada valor N_{ij} de los digramas se calculó una medida de ocurrencia (C_{ij}) que compara el valor N_{ij} obtenido, con el valor esperado si se considera el número total de veces que aparece cada uno de los dos elementos en toda la sesión (N_i y N_j) y el número total de elementos (n), como se muestra a continuación:

$$C_{ij} = \frac{N_{ij}}{n-1} - \frac{N_i \times N_j}{n^2}$$

Los valores de C_{ij} mayores a cero indican que la combinación ij ocurrió más veces de lo que se esperaría por azar mientras que los valores negativos sugieren que se evitó esa combinación de elementos.

Ti-j	1	1A	2	2A	3	3A	3B	3C	3X	3Z	4	5	6	7	8	9	10	R	Total
1	-	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
1A	2	-	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11
2	4	2	-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
2A	0	2	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3	0	0	8	0	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
3A	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3C	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3X	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0
R	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	2
Total	8	8	8	0	12	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	42

Figura 10. Fragmento de matriz de ocurrencia de pares de temas para una sesión de canto (digrama). El Tema i (T_i) se encuentra enlistado en la primera columna de la izquierda e indica el tema “antecesor” mientras que el tema que le sigue $-j$ (T_j) está enlistado en la fila superior. Por ejemplo, el número 6 que se observa en color blanco indica el número de veces que el tema 1A se encontró seguido del tema 3.

Cada digrama produjo otra matriz similar a la Figura 10 pero con los valores de C_{ij} en lugar de T_{ij} o F_{ij} . Con estas nuevas matrices, se calculó una medida de distancia (\mathbf{D}_{xy}) entre la sesión x y la sesión y , de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{xy} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1, j=1}^{k^2} (C_{ijx} - C_{ijy})^2}}{k^2}$$

donde C_{ijx} corresponde al valor C_{ij} de la sesión x , C_{ijy} es el equivalente para la sesión y y k se refiere al número total de elementos distintos considerados en el análisis (número total de frases⁷ observadas en todas las sesiones). Cada valor de las matrices indicó qué tan distintas fueron dos sesiones, así que, al calcular el valor para todos los pares de sesiones, se conformó una matriz de distancias. Se obtuvieron dos matrices por cada sesión de canto, una basada en las secuencias de temas (\mathbf{D}_{xyT}) y la otra basada en las secuencias de frases (\mathbf{D}_{xyF}). Estos valores D_{xy} fueron el punto de partida para el análisis de la variación en todos los niveles (espacial, temporal, individual y contextual) por lo que cabe recalcar que cada valor involucra una relación entre dos sesiones de canto y no las propiedades de una sesión determinada. Todos los análisis se hicieron del mismo modo para D_{xyT} y D_{xyF} , manejándolos como conjuntos de datos separados.

Las matrices de distancia se utilizaron para obtener una representación gráfica de la relación de similitud entre las sesiones a partir de un análisis de cúmulos jerárquico WPGMA⁸, utilizando el programa STATISTICA (versión 6) con el cual se produjeron dos árboles correspondientes a las secuencias de temas y frases. Los análisis de cúmulos utilizan una medida de distancia para agrupar objetos, en este caso, lo que se agrupó fueron las sesiones de canto. Debido a que las sesiones de muy corta duración tendían a quedar como ramas largas y aisladas en los árboles, se eliminó de los análisis a todas las sesiones con una duración menor a los 15 minutos, dejando 66 sesiones en lugar de 81.

⁷ Esto también aplica para los temas pero no se mencionó ya que el número de temas distintos es igual al número de frases diferentes.

⁸ Del inglés *weighted-pair group mean average*.

Los dos árboles de similitud se utilizaron para analizar el papel del espacio, el tiempo, la identidad y el contexto social en las relaciones resultantes. Se utilizó un marcaje con colores para distinguir los datos correspondientes a un mismo lugar, año, lugar y año y cuadrante de contexto social en los árboles, permitiendo observar la relación de su estructura con las variables de interés (espacio, tiempo y contexto social) y las diferencias entre los dos árboles. Además, se tomaron subconjuntos de datos de las matrices D_{xy} , de acuerdo con la variable a explorar, y se buscaron diferencias utilizando análisis de varianza (ANOVA) de una vía (Chase y Bown, 1997) y una prueba de F para examinar la significancia estadística ($p < 0.05$). Únicamente se incluyó en los análisis a las muestras con más de 5 datos ($n > 5$) y se procuró que la máxima diferencia entre las desviaciones estándar (D.E.) fuera ≤ 2 para cumplir el supuesto de homocedasticidad. En los casos donde el ANOVA mostró diferencias significativas, se determinó qué pares de sesiones difirieron significativamente entre sí aplicando la metodología propuesta por Downie y Heath (1959) y se utilizaron diagramas de caja para representar los datos. Con los resultados de estas pruebas se describieron las diferencias entre la variación de distintos subconjunto de datos, es decir, se observó qué tan parecidas o distintas fueron las sesiones de canto de un subconjunto con respecto a las sesiones del otro.

ESPACIO

Para analizar la variación asociada al efecto de la localidad y de la separación espacial, se crearon las siguientes tres categorías:

BB-BB: Incluye los datos D_{xy} de sesiones grabadas únicamente en Bahía Banderas, es decir, tanto la sesión x como la y pertenecían a Bahía Banderas. Esta categoría permitió observar la variación “intra-espacial” ya que todos los datos son de una misma localidad.

IS-IS: Agrupa los datos D_{xy} de la sesiones grabadas sólo en Isla Socorro. Al igual que la categoría anterior, este grupo muestra la variación “intra-espacial”. Los datos se manejaron

como dos categorías en lugar de una para considerar las características propias de cada localidad.

BB-IS: En este conjunto se colocaron todos los datos D_{xy} donde una de las sesiones era de Bahía Banderas y la otra de Isla Socorro. Esta categoría permite evaluar el efecto de la separación espacial sobre la variación.

TIEMPO

Se observó el efecto de la separación temporal sobre la variación a partir de distancias entre sesiones, expresadas en años y meses. Para la distancia anual se consideraron las siguientes 3 categorías:

0: La categoría cero agrupa los datos D_{xy} de todas las sesiones grabadas en un mismo año, independientemente de qué año. Por lo tanto, incluye los datos donde tanto x como y hayan sido grabadas en 2003, 2004 o 2005.

1: En este caso se incluyen los datos D_{xy} de sesiones grabadas con un año de diferencia por lo que x e y podrían pertenecer a 2003 y 2004 o a 2004 y 2005.

2: Se forma con los datos D_{xy} de sesiones grabadas con dos años de diferencia. Dado que el estudio sólo abarcó datos de tres años, las sesiones de este grupo incluyen sólo grabaciones hechas en 2003 y 2005.

El análisis de separación mensual se incluyó para observar la variación intra-anual. Las categorías se hicieron del mismo modo que para el caso anual pero las distancias temporales se tomaron en términos de meses y no de años. En lugar de tres estados temporales (0, 1 y 2) se establecieron 26 (0-26) ya que la menor separación mensual entre dos sesiones de canto fue de 0 meses y la mayor fue de 26 meses. Debido a que las grabaciones estuvieron acotadas a unos cuantos meses del año, no se tuvieron datos para los 26 estados temporales posibles sino solamente para 14: **0-3, 10-**

15 y 23-26. A diferencia del caso anual, donde no se tomó en cuenta el lugar, el análisis mensual se hizo por localidad.

ESPACIO Y TIEMPO

Para tomar en cuenta el efecto del espacio y del tiempo en un mismo análisis, se hicieron categorías con las dos variables. Se conjuntaron los 3 estados espaciales (BB-BB, IS-IS y BB-IS) y los tres estados anuales (0, 1 y 2) ya descritos, dando lugar a: **BB-0, BB-1, BB-2, IS-0, IS-1, IS-2, BBIS-0, BBIS-1 y BBIS-2.**

Considerando que la variación podría haber sido propia, no sólo de las localidades, sino también de cada año, se tomaron los subconjuntos BB-0 e IS-0 y se dividieron para distinguir a qué año pertenecían. Se obtuvieron las categorías **BB03, BB04, BB05, IS03, IS04 e IS05** donde las letras indican la localidad y los números son los dos últimos dígitos del año correspondiente (2003, 2004 o 2005).

VARIACIÓN INDIVIDUAL

Para observar la influencia de la identidad individual sobre la variación, se utilizaron únicamente las sesiones de individuos conocidos, que fueron fotoidentificados durante la grabación además de que sus patrones de respiración coincidieron con lo que se estaba escuchando. Veintitrés sesiones grabadas en Isla Socorro entre 2004 y 2005 cumplieron con estas condiciones y este grupo de datos se dividió en dos categorías: “individuos diferentes” (**ID**) e “individuos recapturados” (**IR**). Los individuos diferentes son todos aquellos conocidos que sólo se grabaron una vez, mientras que los recapturados son todos los que se grabaron en más de una ocasión. Así, los datos D_{xy} de IR comparan las sesiones de un mismo individuo. Para considerar el posible efecto de la variación temporal (la variación espacial no fue problema ya que todos los datos eran de Isla Socorro), se hizo un análisis más, dividiendo ID e IR en 4 categorías:

IDNC (individuos diferentes no contemporáneos): incluye las sesiones de individuos diferentes grabadas con 1 o más meses de diferencia.

IDC (individuos diferentes contemporáneos): agrupa los datos de los individuos diferentes grabados en un mismo mes.

IRNC (individuos recapturados no contemporáneos): son todas las recapturas que se grabaron con 1 o más meses de diferencia.

IRC (individuos recapturados contemporáneos): en esta categoría se encuentran las recapturas que se grabaron en un mismo mes.

VARIACIÓN ASOCIADA AL CONTEXTO SOCIAL

La influencia del contexto social se analizó para comparar la variación entre las distintas condiciones de contexto social, además del efecto de los cambios en el contexto. Como se puede observar en el Cuadro 5, todas las grabaciones se hicieron en condiciones de contexto social correspondientes a los cuadrantes 1, 2 o 3 con lo que se obtuvieron tres categorías (**C1, C2 y C3**), cada una con las sesiones correspondientes a cada cuadrante. En ninguno de los tres casos anteriores se incluyen datos de cambio de contexto así que se generaron otras dos categorías, considerando que la diferencia entre los 3 cuadrantes es únicamente la abundancia relativa (donde el C1 presenta las abundancias más bajas mientras que el C3 representa el estado de mayor abundancia):

$\Delta 1C$: Incluye las sesiones grabadas con un cuadrante de diferencia, ya sea en los cuadrantes 1 y 2 o 2 y 3.

$\Delta 2C$: Es igual que la categoría anterior, pero con una diferencia de 2 cuadrantes por lo que solamente incluye sesiones de los cuadrantes 1 y 3.

Las unidades

La clasificación de sonidos basada en la audición y transcripción de las sesiones de canto permitió la identificación de las frases y temas e implicó una categorización de las unidades de la

canción. Sin embargo, resultó complicado establecer criterios de diferencia que sirvieran para manejar problemas a nivel de las unidades, como la diferencia entre una variante de un sonido o un sonido nuevo, o para poder hablar de “grados de similitud”. Con este objetivo, y con la intención de tener un método adicional para analizar la canción que no fuera tan dependiente de la percepción e interpretación de una persona, se produjo una representación numérica de una muestra de unidades a partir de la medición de espectrogramas. Se visualizaron las sesiones de canto utilizando espectrogramas generados con el programa Raven y se seleccionó gráficamente cada unidad. El inicio y fin de cada unidad se estableció de acuerdo con el momento donde se empezaba y se dejaba de escuchar el sonido, procurando que correspondiera con cambios de amplitud en el oscilograma, obteniendo así el tiempo de duración de cada unidad (Figura 11).

El “muestreo” de las unidades consistió en realizar mediciones de frecuencia pico e intensidad relativa en diez instantes distribuidos equitativamente a lo largo de la duración de la unidad, incluyendo el punto de inicio y el punto de fin (Figura 12). Con dicho proceso se obtuvieron 21 datos para cada unidad (una medida de duración, 10 de frecuencia pico y 10 de intensidad relativa), los cuales constituyeron la “muestra” de la unidad original. Por ejemplo, la Figura 13 muestra el espectrograma de dos unidades y su “equivalente” gráfico producido con la muestra de diez datos de frecuencia pico medidos a cada una.

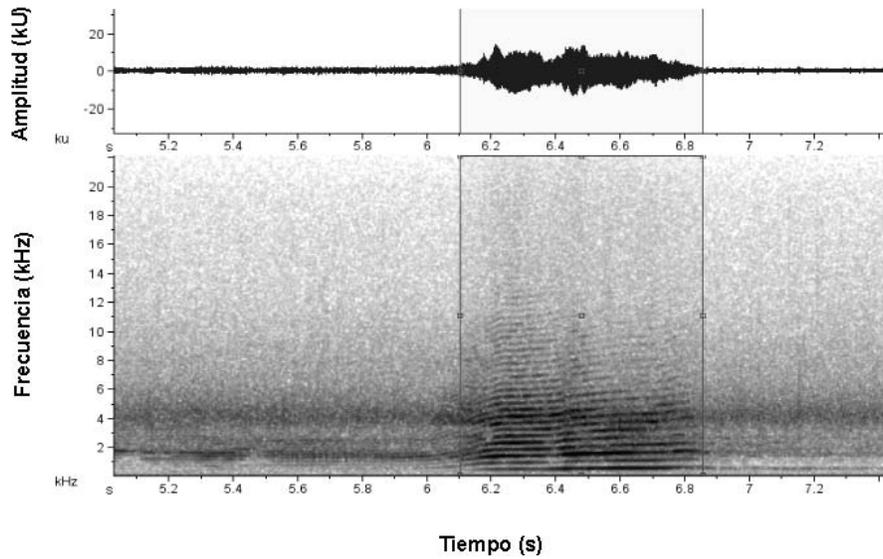


Figura 11. Espectrograma (inferior) y oscilograma (superior) de un fragmento de canción de ballena jorobada mostrando un ejemplo de la selección de una unidad, delimitando su inicio y fin temporal con el recuadro.

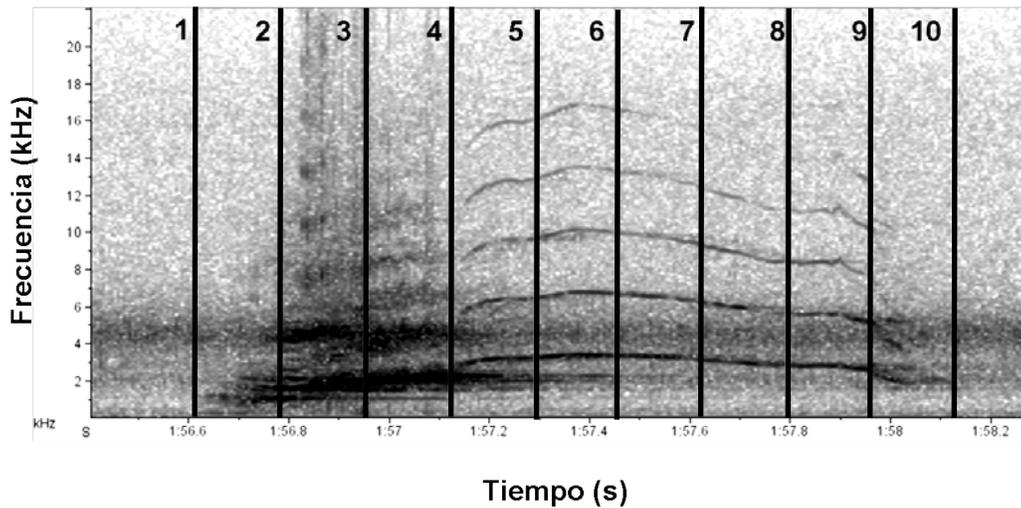


Figura 12. Espectrograma de una unidad de una sesión de canto mostrando los diez puntos donde se tomaron medidas de frecuencia pico y de intensidad relativa. El punto uno se colocó en el inicio de la unidad y el punto diez en el final, de modo que la separación entre mediciones dependió de la duración de la unidad.

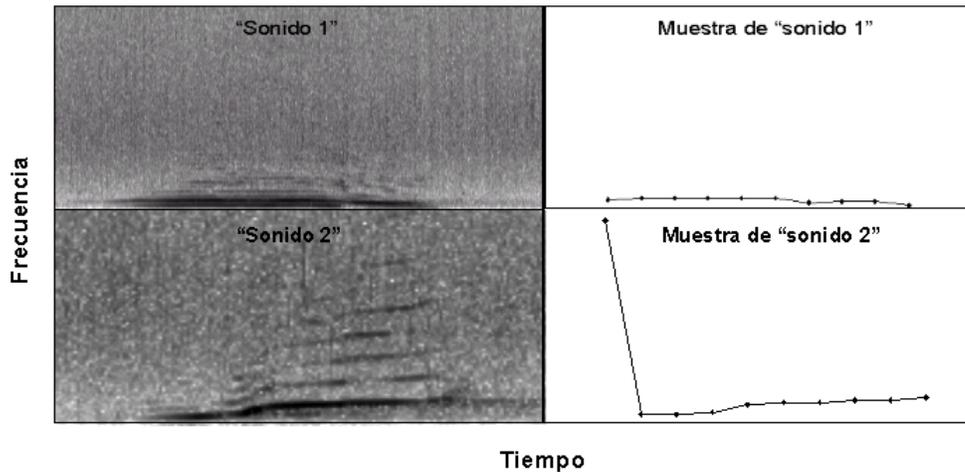


Figura 13. Espectrograma de dos unidades de una sesión de canto (columna izquierda) y su representación gráfica con los diez datos de frecuencia pico medidos (columna derecha). En la muestra del sonido 2 se puede observar que la primera medida no correspondió con la unidad sino con el ruido de fondo, lo cual fue una de las fuentes de error del análisis.

La medición de las unidades se hizo seleccionando las grabaciones de mejor calidad para minimizar errores como el que se ejemplificó en la Figura 13. Se tomaron las sesiones con mayor relación señal ruido⁹ y en las que se escuchaba únicamente un cantor en la mayor parte de la grabación, para evitar la superposición de unidades. Además del criterio de calidad, se intentó incluir grabaciones representando las dos localidades en los tres años de estudio y grabaciones de los individuos recapturados, por lo que se forzó un poco la selección de algunas grabaciones cuyas características no eran necesariamente las más óptimas. También se estableció un criterio de muestreo de unidades para minimizar el tiempo de medición. Para esto se consideró el planteamiento de Mercado *et al.*, 2003 donde mencionan que las frases representan el componente fundamental de la canción, siendo elementos más consistentes en duración y estructura que las unidades y los temas. Además, el hecho de que una misma frase se presenta en conjuntos de múltiples repeticiones permite medir una fracción de ellas sin que necesariamente se pierda información sobre la secuencia de los temas. Se observó que el promedio de frases por tema en los tres años del estudio estuvo siempre por arriba de cinco con lo que se estableció una tasa de muestreo del 20% de las frases, es decir, se midió una de cada cinco frases. Para asegurar que no se perdiera la información de temas compuestos por menos de cinco frases,

⁹ La relación señal ruido indica qué tan alto es el nivel de la “señal” o sonido de interés con respecto al ruido de fondo.

quedando “eliminados” debido al muestreo, se procuró medir por lo menos una frase de cada tema presente en la sesión.

Las 21 medidas de las unidades seleccionadas se utilizaron para hacer un análisis de cúmulos WPGMA y obtener un árbol de similitud con el cual establecer un criterio de distancia que marcara la diferencia entre una unidad y otra. También se hizo un análisis bayesiano para identificar las relaciones entre sonidos. Como tercer método de clasificación, se utilizó un análisis de componentes principales para identificar cuáles fueron las variables de mayor peso para agrupar los sonidos y, con base en ellas, se establecieron categorías. En este caso, en lugar de utilizar las 21 medidas disponibles, éstas se condensaron en cuatro variables que representaron la duración, la frecuencia promedio y la complejidad de frecuencias y de intensidad relativa. La frecuencia promedio (**Fprom**) se incluyó para distinguir de manera general entre sonidos de frecuencias predominantemente bajas y altas y se calculó promediando las diez medidas de frecuencia de cada unidad. Las medidas de complejidad de frecuencias (**CF**) y complejidad de intensidad relativa (**CI**), se usaron para sustituir los 10 datos de frecuencia y los 10 datos de intensidad, por dos medidas que reflejaron información sobre la variación en los contornos de frecuencia e intensidad a lo largo de la unidad. Esto permitió diferenciar entre sonidos con relativamente poca o mucha variación en frecuencia y/o en intensidad. Para esto, se utilizó la varianza de las diferencias entre las diez medidas, como se muestra en las siguientes expresiones:

$$CF = \sigma^2 \sum_{i=1}^{10} (F_i - F_{i-1})$$

$$CI = \sigma^2 \sum_{i=1}^{10} (I_i - I_{i-1})$$

donde F_i corresponde a cada una de las diez medidas de frecuencia, I_i representa las medidas de intensidad relativa y σ^2 es la varianza. Una vez que se determinaron las 2 variables de mayor peso en el

análisis de cúmulos, se establecieron intervalos para cada una de ellas, tomando la tercera parte de 4 desviaciones estándar (σ) de cada conjunto de datos:

$$INTERVALO=(4\times\sigma)/3$$

Con la combinación del número de intervalos para las dos variables, se obtuvo el total de categorías posibles de unidades. Las categorías fueron nombradas utilizando letras del alfabeto, pero dichos nombres no tienen ninguna relación con los nombres utilizados para la clasificación perceptual.

La clasificación de las unidades se utilizó para representar las secuencias de sonidos como letras y se hicieron digramas a partir de la ocurrencia de pares de unidades, del mismo modo que se hizo con las frases y los temas. Se siguió el mismo procedimiento hasta obtener la matriz de distancia que se representó con un árbol de similitud mostrando las relaciones entre sesiones de canto. Lo mismo se hizo con las secuencias de unidades clasificadas de acuerdo con la transcripción, de modo que se obtuvo otro árbol de similitud. Así, se produjo un árbol correspondiente a la clasificación perceptual y otro a partir del muestreo y la medición de unidades.

Ante la posibilidad de que las mediciones reflejaran las diferencias entre equipos de grabación, en lugar de diferencias reales entre las propiedades de los sonidos, se hizo un análisis para saber si los diferentes hidrófonos utilizados influyeron los datos de las mediciones de manera significativa. Se utilizó la medida de frecuencia promedio (F_{prom}) como indicador para comparar los datos de las sesiones con un ANOVA y ver si las diferencias se podían asociar a los hidrófonos.

Resultados

A partir de las 70 grabaciones disponibles para este trabajo se transcribieron 81 sesiones de canto con duraciones entre 1 y 48 minutos. El Cuadro 7 muestra un resumen con los datos de las sesiones de cada lugar y año. Una descripción más detallada de los elementos de cada sesión se puede encontrar en el Anexo 2. Se contabilizó un total de 51,412 unidades con un ritmo promedio que varió entre las 17.8 unidades/minuto (u/min) en Isla Socorro (IS) durante 2004 y 22.9 u/min en Bahía Banderas (BB) en 2003 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Datos totales del conjunto de sesiones transcritas para cada lugar (BB= Bahía Banderas, IS= Isla Socorro) y año (03= 2003, 04= 2004 y 05=2005). Se incluye el número de formas distintas de unidades (UD) y temas (TD) que se identificaron en cada sesión, además de la tasa de unidades y frases por minuto (U/min y F/min, respectivamente) y la cantidad de frases por tema (F/T). Las siglas D.E. se refieren a la desviación estándar y Prom es el promedio. § Suma de la duración de todas las sesiones transcritas. El valor sobrepasa el total de horas grabadas debido a que en algunos casos fue posible transcribir a dos cantores que estaban cantando simultáneamente en una misma grabación.* Número de formas distintas de unidades, frases y temas, encontrados en el total de las sesiones de canto. Éstos no equivalen a la suma de cada columna porque la mayoría de estas formas aparecieron en más de una sesión.

	# DE SESIONES	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
BB03	10	5:13:08	6,851	22	2,278	302	15	21.9	7.3	7.5
BB04	3	1:49:30	2,185	16	718	80	9	20.0	6.6	9.0
BB05	3	1:08:50	1,400	19	407	50	11	20.3	5.9	8.1
IS03	10	5:27:16	7,054	27	2,534	330	17	21.6	7.7	7.7
IS04	37	20:14:45	21,942	23	8,597	899	15	18.1	7.1	9.6
IS05	18	10:07:59	11,980	30	3,825	492	12	19.7	6.3	7.8
Total	81	44:01:28[§]	51,412	46*	18,359	2,153	24*	19.5	7.0	8.5
Prom	13.5	7:20:15	8,568.7	22.8	3,059.8	358.8	13.2	20.3	6.8	8.3
D. E.	12.8	7:05:16	7,587.7	5.1	2,988.5	312.0	3.0	1.4	0.7	0.8

Al hacer las transcripciones, la simbología permitió identificar 46 tipos distintos de unidades, encontrando la menor diversidad (16) en Bahía Banderas en 2004 y la mayor (30) en Isla Socorro durante 2005. La clasificación de las unidades hizo posible definir 24 frases y temas distintos, con un mínimo de 9 para BB en 2004 y un máximo de 17 en IS durante 2003 (Cuadro 7). Como se menciona en la sección de métodos, los temas se representaron con números y letras (Anexo 3) y las frases se asociaron con colores (figuras 14 y 15). El promedio de número de frases por tema varió entre 7.4 en

BB en 2003 y 10.4 en IS durante 2004, con un promedio total de 8.3. Sin embargo, como se observa en las figuras 14 y 15 con la variación en el tamaño de los bloques de color, es claro que este rasgo no se aproximó a una constante ya que el número de repeticiones de las frases varió entre 1 y más de 80.

Descripción de la canción

Para la mayoría de las sesiones de canto, la secuenciación de temas no permitió distinguir la estructura de los ciclos repetitivos de sonidos (es decir, “la canción”). La canción se identificó representando la ocurrencia de combinaciones de temas en los diagramas de conectividad de la Figura 16 (se utilizó el porcentaje del total de combinaciones de temas, por lugar y año, correspondiente a cada par). En cada caso, se puede observar que hubo ciertas combinaciones de temas predominantes como sucedió con los temas 2 y 3X (en ambas direcciones) en Isla Socorro en 2003. Esto indica que si una ballena se encontraba cantando el tema 2 en ese lugar y año, lo más probable fue que le siguiera el tema 3X. De este modo se pudieron reconstruir las “rutas” más frecuentes que utilizaron los cantores en cada lugar y año, las cuales conforman “la canción”. La Figura 17 muestra dichas rutas utilizando la medida de probabilidad de ocurrencia de pares de temas (C_{ij}) para indicar la intensidad de las conexiones y únicamente incluye los temas pertinentes para cada lugar y año. Las secuencias predominantes para cada caso se muestran en el Cuadro 8.

Sesión	ID	Fecha	Duración	# Frases	F/min	Secuencia de frases en cada sesión medida
BB2A190103		19-Ene-03	0:47:27	272	5.73	
BB3A210103		21-Ene-03	0:47:42	326	6.83	
BB3B230103		23-Ene-03	0:47:40	382	8.01	
BB4B280103		28-Ene-03	0:01:00	9	9.00	
BB5A280103-C1		28-Ene-03	0:33:53	272	8.03	
BB5A280103-C2		28-Ene-03	0:07:00	74	10.57	
BB6A120203		12-Feb-03	0:47:10	319	6.76	
BB6B120203		12-Feb-03	0:46:35	349	7.49	
BB8A240203		24-Feb-03	0:04:08	34	8.23	
BB9A100303		10-Mar-03	0:30:33	241	7.89	
BB2A280104		28-Ene-04	0:27:00	197	7.30	
BB2B310104		31-Ene-04	0:34:55	223	6.45	
BB3A120204		12-Feb-04	0:47:35	298	6.26	
BB1A080205		08-Feb-05	0:48:29	303	6.25	
BB1B110205		11-Feb-05	0:15:00	77	5.13	
BB2A250205		25-Feb-05	0:05:21	27	5.05	
Promedio			0:30:43	212.69	7.19	
D.E.			0:18:22	126.64	1.44	



Figura 14. Representación gráfica de las secuencias de frases que conformaron cada sesión de Bahía Banderas. Las columnas indican la fecha en que se grabó la sesión, su duración, el número de frases en la sesión y el número de frases por minuto, F/min. La última columna presenta cada tema en colores, empezando por el extremo izquierdo. Cada fila de colores representa una sesión y cada bloque de color es un tema. El tamaño del bloque es proporcional al número de frases repetidas que lo conforman. Las barras grises del extremo derecho marcan el final de la sesión. La columna ID está en blanco debido a que no se identificó a ninguno de los cantores en Bahía de Banderas.

Sesión	ID	Fecha	Duración	# Frases	F/min	Secuencia de frases en cada sesión transcrita
IS1A250203		25-Feb-03	0:40:40	321	7.89	
IS1B070303		07-Mar-03	0:03:47	31	8.19	
IS2A110303		11-Mar-03	0:35:00	292	8.34	
IS2B120303		12-Mar-03	0:34:55	285	8.16	
IS3A130303		13-Mar-03	0:27:58	266	9.51	
IS3B170303		17-Mar-03	0:37:22	209	5.59	
IS4A170303		17-Mar-03	0:46:24	344	7.41	
IS4B220303		22-Mar-03	0:48:40	353	7.25	
IS5A240303		24-Mar-03	0:04:20	36	8.31	
IS5B240303		24-Mar-03	0:48:10	397	8.24	
IS1A260104	"NIMAJNEB"	26-Ene-04	0:47:19	396	8.37	
IS1B300104	"DIAMANTE"	30-Ene-04	0:46:17	351	7.58	
IS2A080204-1	"PLÁCIDO"	08-Feb-04	0:17:36	129	7.33	
IS2A080204-2	"PLÁCIDO"	08-Feb-04	0:29:40	223	7.52	
IS2B080204	"PLÁCIDO"	08-Feb-04	0:10:40	81	7.59	
IS3A090204	"PLÁCIDO"	09-Feb-04	0:19:11	144	7.51	
IS3B090204	"PLÁCIDO"	09-Feb-04	0:47:16	304	6.43	
IS4A120204	"PAN"	12-Feb-04	0:34:30	240	6.96	
IS5A130204		13-Feb-04	0:46:59	338	7.19	
IS4B140204	"DIAMANTE"	14-Feb-04	0:46:44	338	7.23	
IS6A140204	"DIAMANTE"	14-Feb-04	0:37:15	272	7.30	
IS7A170204	"HALDIR"	17-Feb-04	0:47:13	345	7.31	
IS5B180204	"VEDDER"	18-Feb-04	0:45:15	316	6.98	
IS6B250204		25-Feb-04	0:45:16	349	7.71	
IS7B260204-C1-1		26-Feb-04	0:27:44	189	6.81	
IS7B260204-C1-2		26-Feb-04	0:09:13	86	9.33	
IS7B260204-C2		26-Feb-04	0:41:38	315	7.57	
IS8A280204	"T YORK"	28-Feb-04	0:47:22	341	7.20	
IS8B010304		01-Mar-04	0:37:34	242	6.44	
IS9A070304-1		07-Mar-04	0:15:00	103	6.87	
IS9A070304-2		07-Mar-04	0:06:20	47	7.42	
IS9A070304-3	"GARFUNKEL"	07-Mar-04	0:21:00	144	6.86	
IS9B080304		08-Mar-04	0:47:02	336	7.14	
IS10A130304-1		13-Mar-04	0:22:30	156	6.93	
IS10A130304-2		13-Mar-04	0:25:00	170	6.80	
IS11A170304	"JOSÉ"	17-Mar-04	0:47:07	331	7.03	
IS11B220304	"BONO"	22-Mar-04	0:47:07	302	6.41	
IS10B290304	"HALDIR"	29-Mar-04	0:47:20	329	6.95	
IS12A310304-1		31-Mar-04	0:12:35	92	7.31	
IS12A310304-2		31-Mar-04	0:35:00	216	6.17	
IS12B310304	"FARINELI"	31-Mar-04	0:47:00	330	7.02	
IS13A070404-1		07-Abr-04	0:23:15	165	7.10	
IS13A070404-2		07-Abr-04	0:23:50	148	6.21	
IS13B120404-1	"GILMOUR"	12-Abr-04	0:06:28	42	6.49	
IS13B120404-2		12-Abr-04	0:08:00	56	7.00	
IS14AB140404		14-Abr-04	0:48:05	318	6.61	
IS15A160404		16-Abr-04	0:47:13	313	6.63	
IS1A090205		09-Feb-05	0:47:00	321	6.83	
IS1B150205-1		15-Feb-05	0:33:50	224	6.62	
IS1B150205-2		15-Feb-05	0:13:18	92	6.92	
IS2A180205	"PAN"	18-Feb-05	0:47:40	310	6.50	
ISDC190205-1		19-Feb-05	0:44:55	277	6.17	
ISDC190205-2		19-Feb-05	0:11:17	71	6.29	
IS2B210205-1		21-Feb-05	0:07:12	45	6.25	
IS2B210205-2		21-Feb-05	0:38:56	252	6.47	
IS3A240205		24-Feb-05	0:06:56	44	6.35	
IS3B260205		26-Feb-05	0:47:03	326	6.93	
ISDC130305	"SONRISA"	13-Mar-05	0:32:59	201	6.09	
IS4A170305	"BONO"	17-Mar-05	0:47:00	287	6.11	
ISDC180305-1		18-Mar-05	0:12:14	73	5.97	
ISDC180305-2		18-Mar-05	0:31:40	196	6.19	
IS4B280305	"JUANG A"	28-Mar-05	0:47:04	293	6.23	
IS5A290305	"BONO"	29-Mar-05	0:47:03	284	6.04	
IS5B030405	"P. INFANTE"	03-Abr-05	0:47:04	278	5.91	
IS6A120405		12-Abr-05	0:44:48	251	5.60	
Promedio			0:33:04	230.09	7.01	
D.E.			0:15:13	107.67	0.80	

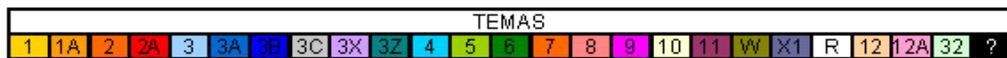


Figura 15. Representación gráfica de las secuencias de frases que conforman cada sesión de Isla Socorro. Ver descripción de la Figura 14.

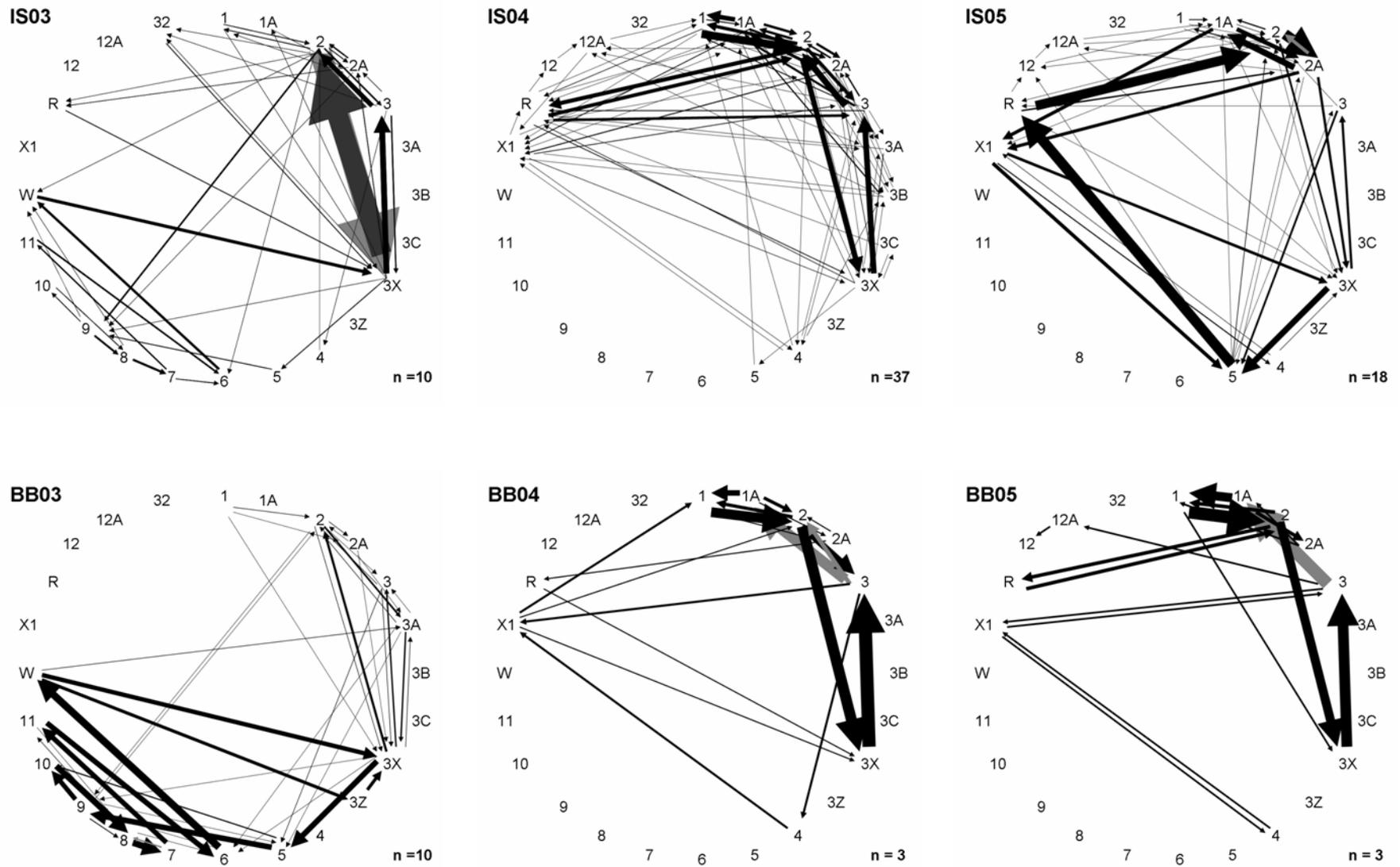


Figura 16. Diagramas de conectividad entre los temas de la canción de la ballena jorobada para cada lugar (BB=Bahía Banderas e IS= Isla Socorro) y año (03=2003, 04=2004 y 05=2005). Cada número o letra que forma los círculos indica el nombre de uno de los 24 temas diferentes identificados. El orden de los temas se estableció arbitrariamente, siguiendo la numeración de los nombres. Las flechas muestran la ocurrencia de conexiones entre dos temas y su grosor es proporcional al porcentaje de veces que ocurrió la conexión por lugar y año. La n indica el número de sesiones en cada caso.

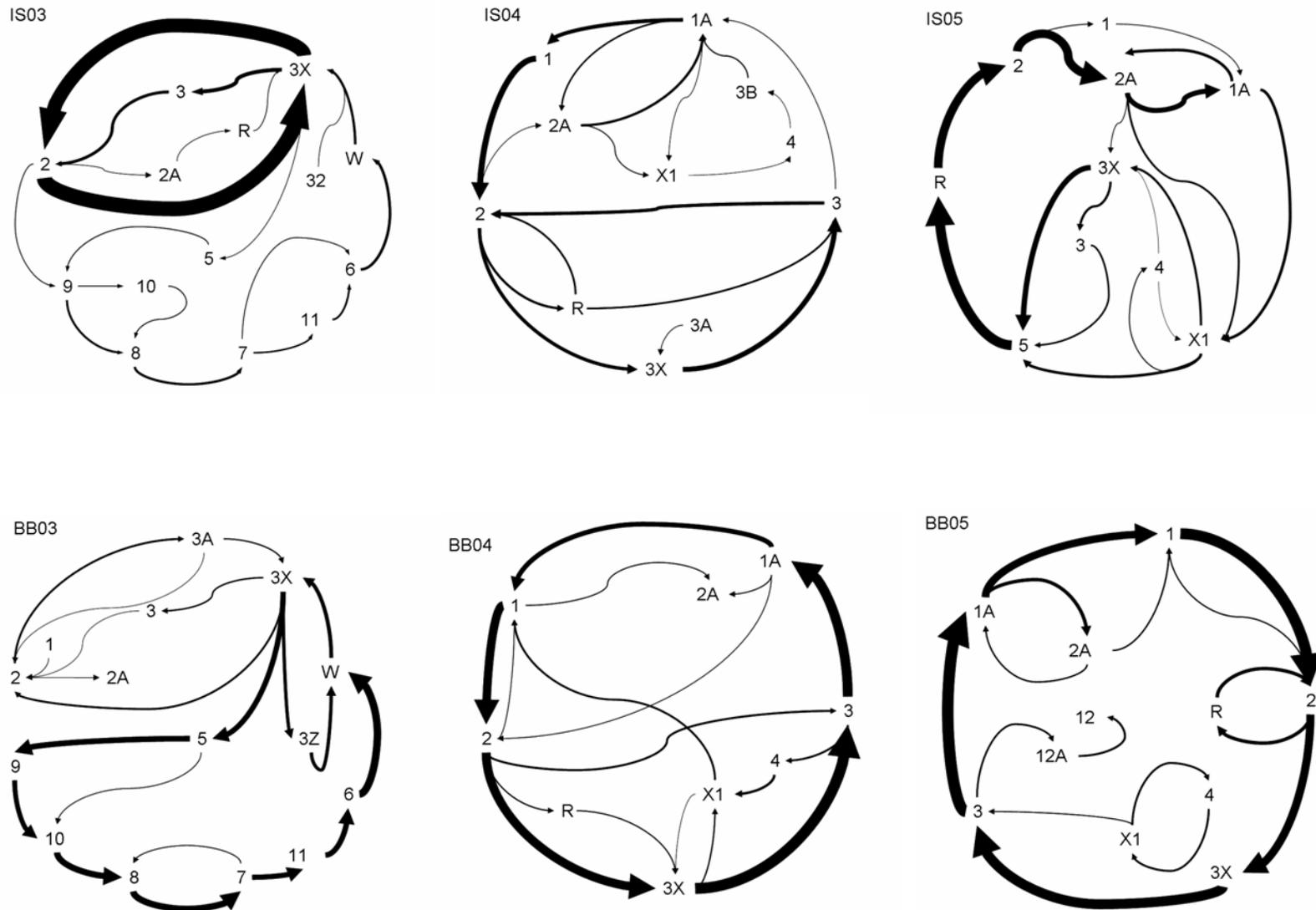


Figura 17. “Rutas” de la canción para cada lugar (BB=Bahía Banderas e IS= Isla Socorro) y año (03=2003, 04=2004 y 05=2005). Los números y letras indican los nombres de los temas. Se colocaron en el orden que minimizara el cruce de las flechas. Las flechas muestran la ocurrencia de combinaciones de temas y su grosor es proporcional al valor de $C_{ij}T$, para cada combinación. Las rutas o ciclos predominantes muestran la estructura de lo que se consideraría como la canción. Sólo se incluyeron las combinaciones de temas “principales” para cada caso ($C_{ij}T \geq 0.005$).

Aunque se pueden observar “rutas” predominantes en las secuencias de temas, la Figura 17 muestra que hubo “sub-ciclos” y/o “atajos” cuya presencia llegó a ser casi tan notoria como la secuencia principal. Por ejemplo, en Bahía Banderas (BB) durante 2003, se estableció que el ciclo dominante no incluía al tema 3Z pero el sub-ciclo 3X, 3Z, W fue muy frecuente. En el caso de IS en 2004, parece que los cantores optaban fundamentalmente entre el ciclo indicado en el Cuadro 8 o por una canción corta que omitía a los temas 1 y 1A. También se observaron casos de ciclos de dos temas que se podían repetir un número indefinido de veces, hasta que se retomaba un ciclo que incorporaba más temas. El caso más evidente se observó en Isla Socorro en 2003 (IS03) entre los temas 2 y 3X. Este sub-ciclo pareció distinto de los demás debido a que se presentó con mucha mayor frecuencia. Al observar las figuras 16 y 17, no pareció que esta combinación sustituía al resto de la secuencia sino que la complementaba, por lo que se le tomó como una construcción distinta y se le denominó “estribillo”.

La descripción general de las secuencias permitió una primera aproximación a las diferencias entre la canción de los dos lugares en los tres años. Se observaron tanto cambios anuales como diferencias locales. En 2003, se pudo distinguir una secuencia muy parecida en Isla Socorro y en Bahía Banderas, pero en la isla, el estribillo fue la estructura fundamental mientras que en la bahía tuvo menor presencia que la secuencia dominante de 10 temas y, de hecho, uno de los temas del estribillo (2) no apareció sino hasta el mes de febrero. Además, el sub-ciclo de mayor relevancia en la bahía (que incluye el tema 3Z), estuvo ausente del todo en la isla y el uso de dos de los temas (5 y 10) fue mayor en la bahía. El cambio en las secuencias del 2003 al 2004 fue bastante notorio, particularmente por la pérdida de los temas 6, 7, 8, 9, 10 y W. Este cambio se registró en los dos lugares, por lo que la secuencia dominante en 2004 fue básicamente la misma tanto en BB como en IS. En ambos casos apareció un tema (X1), se estableció otro (1) y la principal diferencia se debió a un mayor uso del tema de respiración en IS. Sin embargo, del 2004 al 2005, la canción prácticamente no mostró cambios en BB excepto, tal vez, por un aumento en el uso del tema 2A (en uno de los sub-ciclos) y por la presencia más constante del tema de respiración (R), haciéndola más parecida a la canción de IS04.

Cuadro 8. Descripción de la secuencia de temas que conforma la canción en cada lugar (BB=Bahía Banderas e IS= Isla Socorro) y año (03=2003, 04=2004 y 05=2005) del estudio.

LUGAR-ALO	SECUENCIA PREDOMINANTE DE TEMAS	COMENTARIOS
IS03	9, 8, 7, 11, 6, W, 3X, 2, 3X, 2, 9	Aunque se distingue esta secuencia, es evidente el predominio de la combinación entre los temas 2 y 3X, pasando ocasionalmente por el tema 3. Este ciclo corto se extendía indefinidamente formando lo que se denominó como “estribillo”.
BB03	9,10, 8, 7, 11, 6, W, 3X, 5, 9	Se observó con cierta frecuencia un “sub-ciclo” 3X, 3Z, W. También se observó el estribillo 2, 3X, 2, pero en mucho menor medida con respecto al ciclo principal, particularmente porque el tema 2 apareció hasta mediados de marzo.
IS04	1, 2, R, 2, 3X, 3, 1A, 1	El tema R no forma parte de la ruta principal, pero se incluyó ya que predominó su asociación con el tema 2. El tema 3 presentó una conexión mayor con el tema 2 que con el tema 1A, pero se presentó la versión “larga” del ciclo ya que la combinación 1A, 1 2 tuvo una presencia importante.
BB04	1, 2, 3X, 3, 1A,1	En este caso, la secuencia predomina sobre las variantes, pero también se presentaron con cierta frecuencia los “atajos” 2 3, 3X, X1, 1 y 3, 4, X1, 1. El tema R no figura entre las conexiones dominantes, pero siempre estuvo asociado al tema 2.
IS05	2, 2A, 1A, X1,5, R, 2,	Se observó la presencia considerable del “atajo” X1,3X,5
BB05	1, 2, R, 2,3X, 3, 1A,1,	Hay una conexión bastante notoria entre 1 y 2A.

En IS, en cambio, los temas 1 y 3 entraron en desuso, los temas 2A y X1 adquirieron importancia, el tema 5 se estableció en la secuencia dominante y parece que hubo una reversión en el orden (el tema 1A dejó de preceder a los temas 2 y 2A). Esta diferencia en el cambio anual de la canción resultó en una mayor disparidad entre las canciones de los dos sitios en 2005. También se encontraron temas “exclusivos” de un lugar, particularmente el tema 3Z que sólo se encontró en BB03. Lo mismo ocurrió con los temas 3B y 3C en IS aunque estos nunca fueron dominantes como 3Z. El tema 5 también es interesante ya que fue predominante en BB03 pero estuvo prácticamente ausente en IS03, posteriormente desapareció de BB04 y BB05, pero fue adquiriendo importancia en IS.

Análisis de variación

Las figuras 14 y 15 muestran la gran variabilidad en el número de veces que se llegó a repetir una frase antes de cambiar al siguiente tema. Esta diferencia entre el tamaño de los temas (independientemente de que fueran temas diferentes o no) conllevó a utilizar dos medidas de variabilidad en la estructura de las sesiones; una basada en las secuencias de los temas ($D_{xy} T$) y una basada en las frases ($D_{xy} F$). Si sólo hubiera una frase por cada tema, la secuencia de temas y de frases sería igual y, por lo tanto, también los dos valores D_{xy} , pero este caso fue muy infrecuente. La relación entre $D_{xy} F$ y $D_{xy} T$ se observa en la Figura 18 donde las diferencias en el coeficiente de determinación (r^2) indicaron la parte de la variación en $D_{xy} F$ que no se explicó con $D_{xy} T$ (a partir de la regresión lineal). Los valores cercanos a 1 indicaron mayor relación mientras que los valores que se aproximaron a cero sugieren poca relación. La escasa cantidad de datos disponible para BB hace preferible observar las relaciones en los valores correspondientes a IS, los valores anuales que agrupan los datos de los dos sitios y los datos que agrupan los tres años. En general, se encontró poca relación entre $D_{xy} T$ y $D_{xy} F$, particularmente en IS03 e IS05.

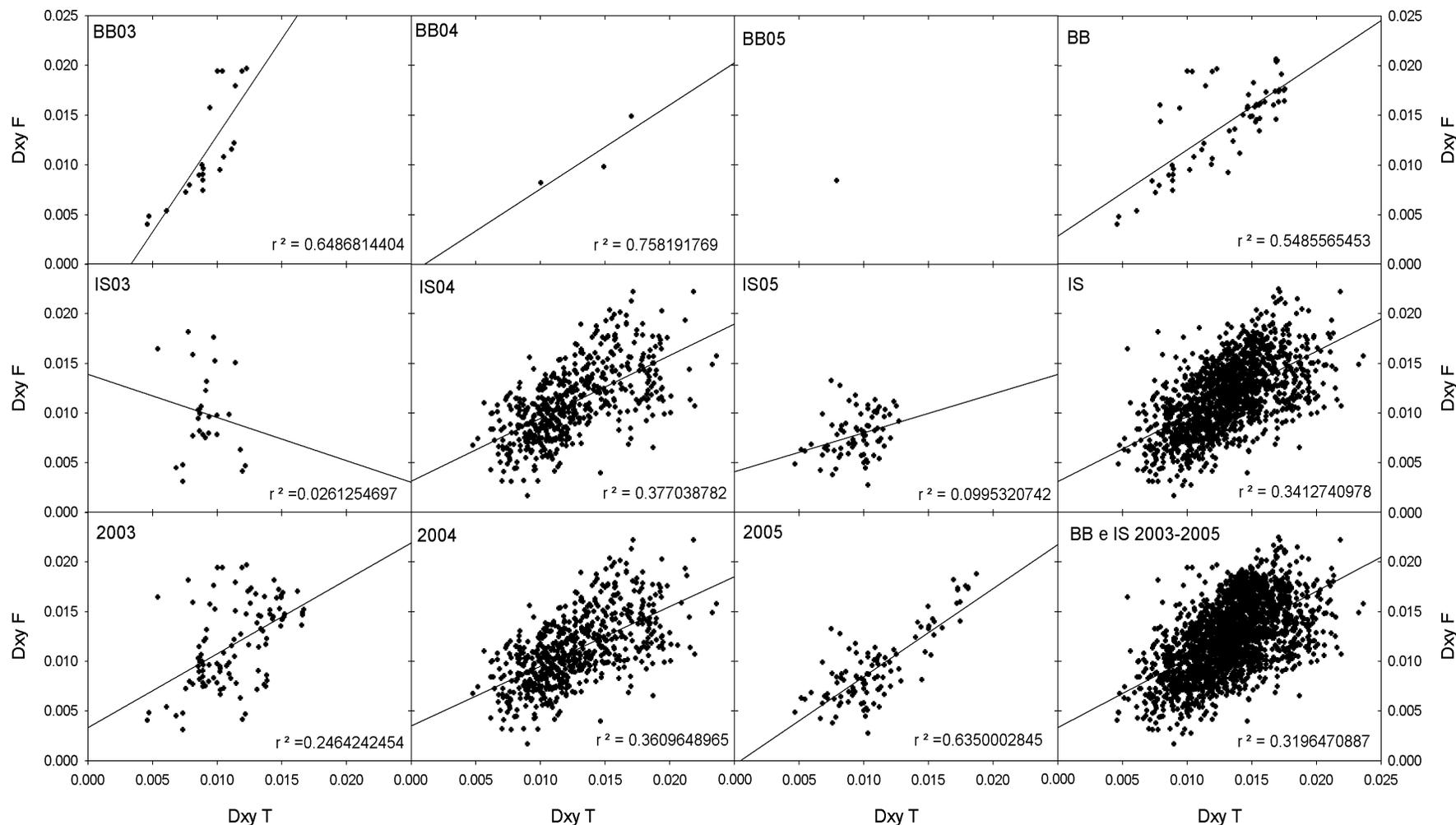


Figura 18. Relación entre las 2 medidas de distancia utilizadas en el análisis de la variación basadas en la ocurrencia de pares de temas ($D_{xy T}$) y frases ($D_{xy F}$). Cada gráfica compara las medidas para el conjunto de datos especificado en la leyenda de la parte superior izquierda. La fila superior corresponde a datos de Bahía Banderas (BB), la fila central corresponde a Isla Socorro (IS) y la fila inferior agrupa datos de los dos sitios. Cada columna corresponde a un año distinto (03= 2003, 04= 2004 y 05= 2005). La columna del extremo derecho conjunta los datos de los tres años. Para cada caso se presenta la línea de regresión y el coeficiente de determinación r^2 .

Las diferencias entre $D_{xy}T$ y $D_{xy}F$ también se manifestaron en los árboles de similitud que se muestran en las Figuras 19 y 20. En ambos casos se resaltaron las sesiones de los individuos recapturados como referencia para observar los cambios en la disposición. Aunque la distribución general de los dos árboles fue similar, con una estructura escalonada y una primera serie de ramas largas aisladas, los detalles de las relaciones entre sesiones fue distinta. Las ramas largas solitarias, se entienden como las sesiones que presentaron menor relación con todas las demás sesiones y, en el árbol $D_{xy}T$, éstas pertenecieron a IS04 mientras que en el árbol $D_{xy}F$, fueron sesiones de IS04, IS05 y BB05.

Las Figura 21 muestra la relación entre la distribución de las sesiones en cada árbol, con las variables de espacio, tiempo y contexto social. El árbol $D_{xy}T$ mostró un grupo con 11 de las 13 sesiones de IS05, asociado más cercanamente a otro conjunto que incluyó 20 de las 33 sesiones de IS04, intercaladas por una sesión de IS03, dos de las tres de BB04 y las dos de BB05. Otro grupo más se formó con sesiones de IS03 (4 de 8), IS04 (4) y una sesión de BB04. También se encontró un grupo con seis de las siete sesiones de BB03 seguido por las tres sesiones de IS03 restantes. El resto fueron ramas aisladas de BB03 (1), IS04 (9) e IS05 (2). En resumen, el árbol mostró una concentración de las sesiones de IS05, cercanamente relacionadas con la mayoría de sesiones de IS04 y los pocos datos de BB04 y BB05. Todo este conjunto tuvo una mayor relación con un grupo de sesiones de IS03 e IS04 principalmente, indicando la afinidad entre los datos de IS. A su vez, todo ese cúmulo se asoció con un grupo conformado por datos de 2003, particularmente de BB, con lo que parece marcarse el efecto de la diferencia de lugar, mezclada con el año.

Los datos de $D_{xy}F$ produjeron un árbol con una concentración de datos de IS en la parte central, conformada por un conjunto de sesiones de IS05 (8 de 13) y uno de IS04 (8 de 33), rodeados de otros conjuntos más pequeños o ramas aisladas con sesiones de IS03 (1), IS04 (8) e IS05 (3). Todos estos se

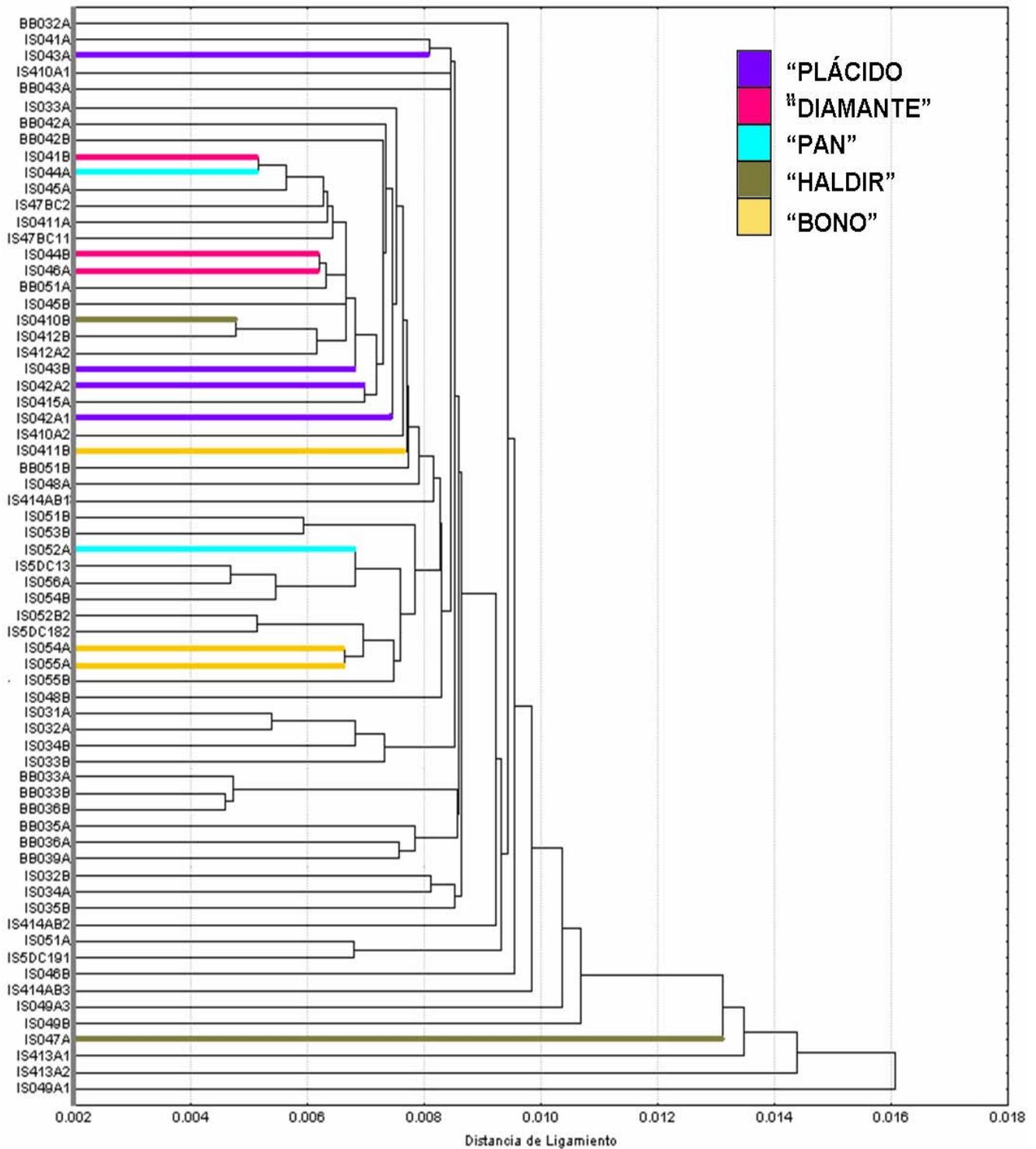


Figura 19. Árbol de similitud entre sesiones de canto de ballena jorobada obtenido a partir de la medida de distancia basada en la ocurrencia de pares de temas ($D_{xy} T$). La columna de la izquierda muestra el nombre abreviado de cada sesión iniciando por un indicador de lugar y año. Las sesiones correspondientes a individuos recapturados se resaltaron con líneas de color. Cada color representa un individuo distinto.

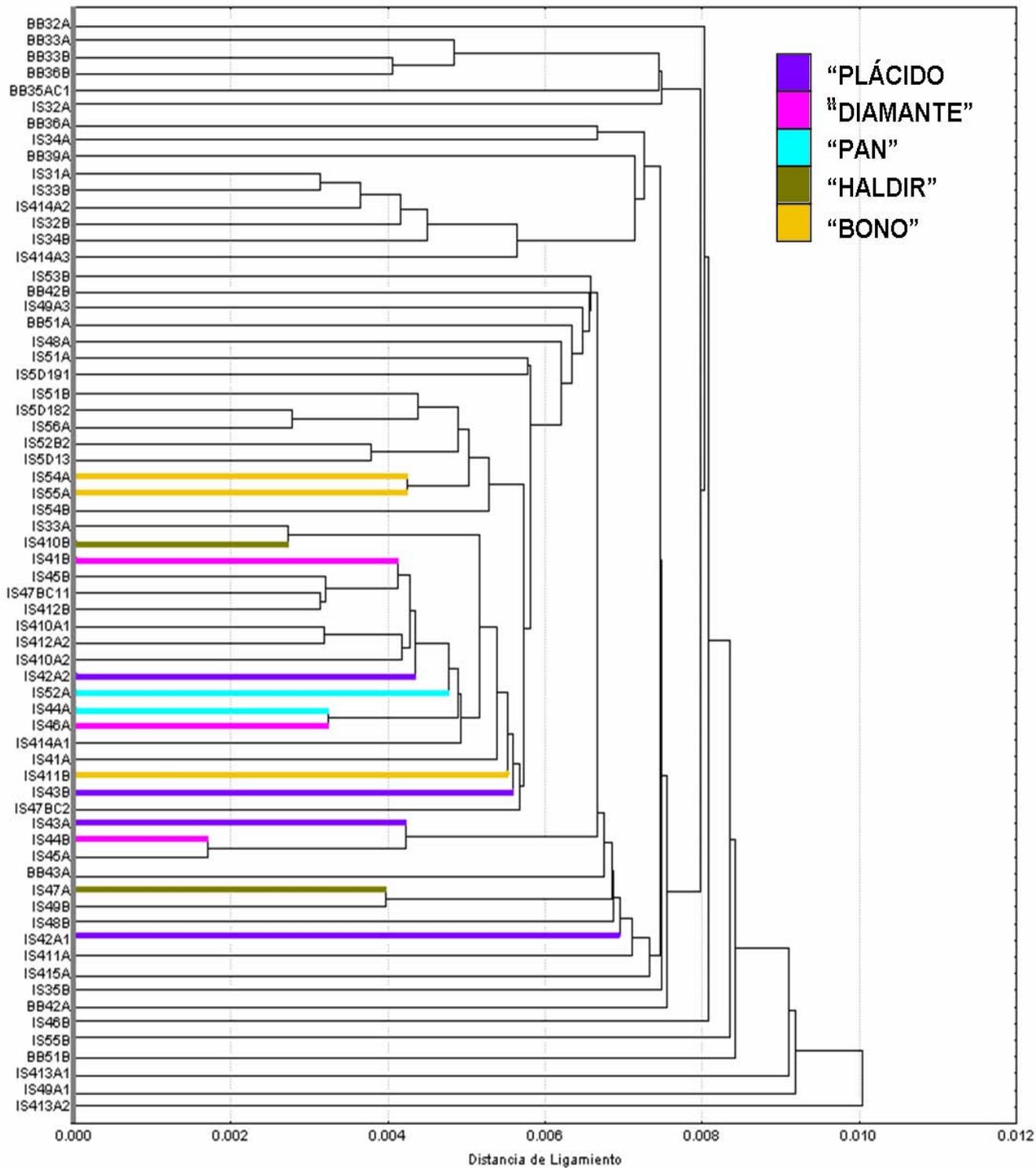


Figura 20. Árbol de similitud entre sesiones de canto de ballena jorobada obtenido a partir de la medida de distancia basada en la ocurrencia de pares de frases (D_{xy}). La columna de la izquierda muestra el nombre abreviado de cada sesión iniciando por un indicador de lugar y año. Las sesiones correspondientes a individuos recapturados se resaltaron con líneas de color. Cada color representa un individuo distinto.

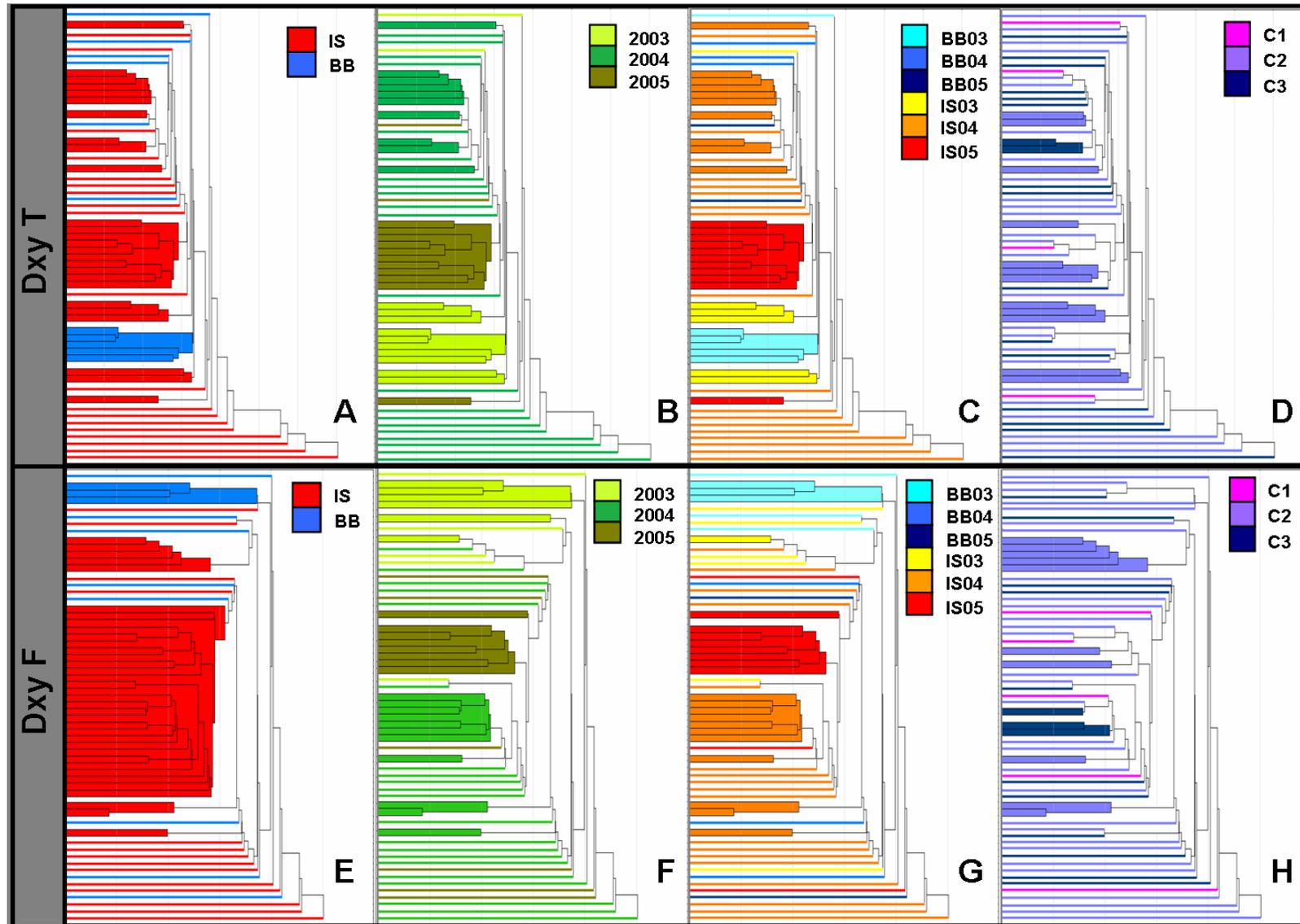


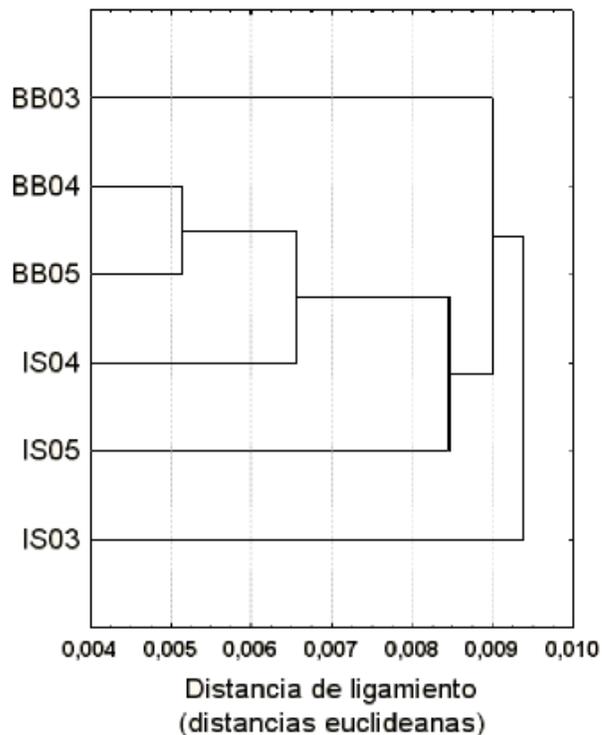
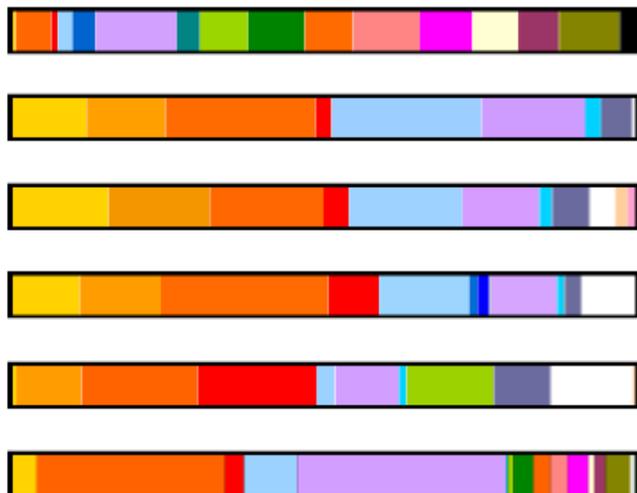
Figura 21. Árboles de similitud entre sesiones de canto de ballena jorobada obtenidos a partir de las diferencias en la ocurrencia de pares de temas ($D_{xy} T$; A-D) y de frases ($D_{xy} F$; E-H). Las columnas indican la distribución de las sesiones de canto de acuerdo con el lugar (A y E), año (B y F), lugar y año (C y G) y contexto social (D y H) en los cuales fueron grabadas. BB= Bahía Banderas, IS= Isla Socorro y las terminaciones 03, 04 y 05 indican los años 2003, 2004 y 2005, sucesivamente. Para el contexto social el C1 indica abundancias relativas (Ab) ≤ 1 ; para el C2 $1 < Ab \leq 3$ y el C3 implica $Ab > 3$.

encontraron rodeados por otro grupo de pares y ramas aisladas de sesiones de BB04 (2 de 3), BB05 (1 de 2), IS04 (11) e IS05 (1). El siguiente conjunto más relacionado con estos datos incluyó sesiones de BB03 (2 de 7), IS03 (6 de 8), e IS04 (2) y una rama solitaria de BB04. Finalmente, los siguientes datos más cercanamente relacionados fueron un grupo de sesiones de BB03 (4) e IS03 (1) y ramas largas aisladas de sesiones de BB03 (1), BB05 (1), IS04 (4) e IS05 (1). Así, aunque las asociaciones particulares entre sesiones fueron distintas al árbol $D_{xy} T$, en $D_{xy} F$ se repitió la agrupación de los datos de IS05 y su mayor relación con un grupo de sesiones de IS04. También se observó una mayor distancia con respecto a los datos de 2003, particularmente los de BB. La mayor aparición de ramas aisladas reflejó el mayor grado de variabilidad en las secuencias de frases la cual produjo diferencias mayores entre las sesiones, aun cuando se siguieron imponiendo las relaciones de lugar y año para determinar las diferencias.

La Figura 22 presenta dos árboles que resaltan las diferencias regionales y temporales entre los datos $D_{xy} T$ y $D_{xy} F$, ya que se construyeron a partir de la suma de combinaciones de temas y frases del total de sesiones por lugar y año. El árbol correspondiente a las combinaciones de temas volvió a mostrar una relación entre los datos de BB en 2004 y 2005 con IS04, y una mayor distancia de las canciones de 2003. Las relaciones a partir de las secuencias de frases se asociaron más al año que a la región, prevaleciendo la mayor separación de 2003 con respecto a 2004 y 2005.

Los datos de contexto social no parecieron aportar información que se antepusiera a lo que ya se mencionó.

A. Temas



B. Frases

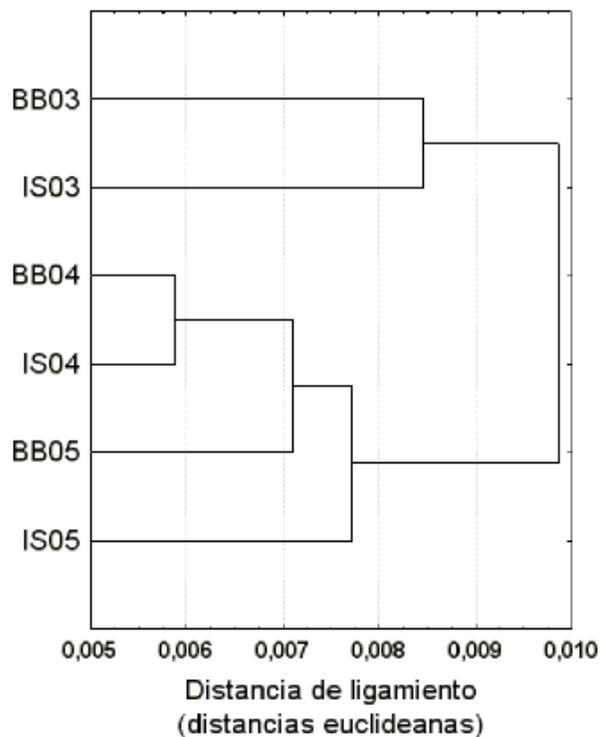
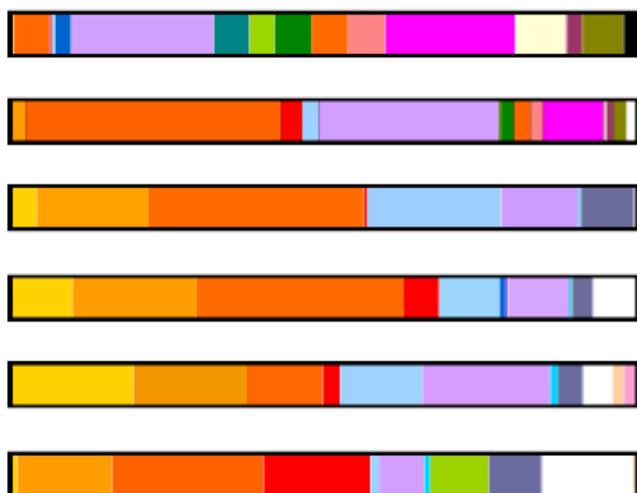


Figura 22. Árboles de relaciones regionales y temporales a partir de la ocurrencia de pares de temas (A) y frases (B) en el total de sesiones de cada lugar y año. Las barras de color del lado izquierdo indican la presencia de los distintos temas y frases en cada caso, independientemente del orden en el que se presentaron en las canciones. La longitud de las áreas de color corresponde con la proporción del total de temas o frases registrado en cada año y lugar. BB= Bahía de Banderas, IS = Isla Socorro, 03= 2003, 04= 2004 y 05= 2005.

El ANOVA para los datos D_{xy} agrupados por lugar y año produjo los resultados que se presentan en el Cuadro 9. Hubo que excluir los datos de BB04 y BB05 del análisis debido a que se contaba con menos de 5 datos en cada caso. Para $D_{xy} T$, también se sacó a IS03 ya que su desviación estándar provocaba la violación del supuesto de homocedasticidad. Lo anterior ocurrió también con los datos de BB03 en $D_{xy} F$ por lo que tampoco se incluyeron en el ANOVA (Figura 23). Los datos $D_{xy} T$ indicaron que la variación entre las sesiones de canto de BB03 e IS05 fue significativamente menor que la variación entre las sesiones de IS04. En $D_{xy} F$, la variación en IS04 fue mayor que en IS03 e IS05 y este último tuvo una menor variación que IS03.

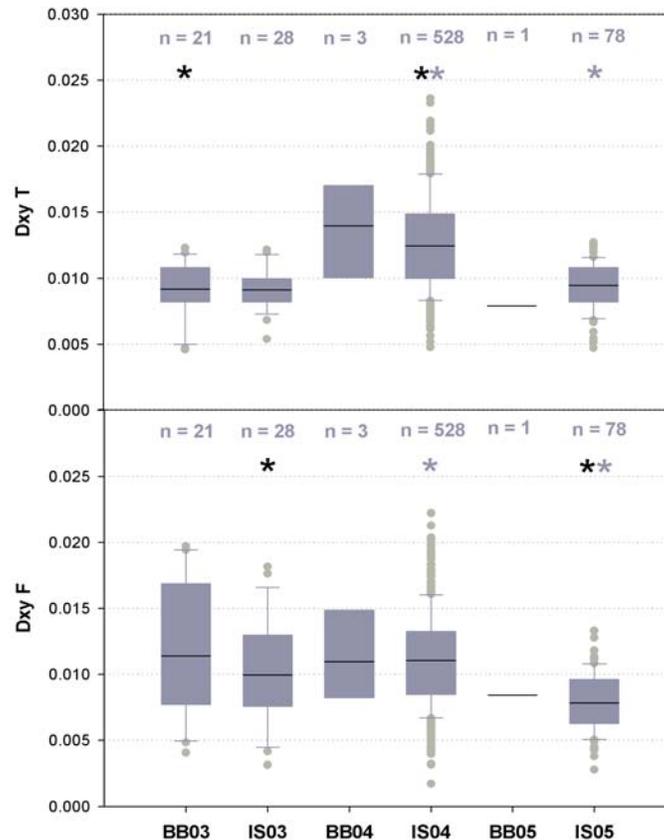


Figura 23. Variación en la canción de la ballena jorobada en cada lugar y año, a partir de diferencias en el uso de pares de temas ($D_{xy} T$; panel superior) y frases ($D_{xy} F$; panel inferior). En la parte superior de cada caso se ve el tamaño de muestra. Las estrellas de un mismo color indican diferencias significativas (ANOVA de una vía, $p \leq 0.05$) entre los casos correspondientes.

Cuadro 9. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy} T$ (parte superior; grados de libertad (df): 2, 624) y $D_{xy} F$ (parte inferior; df: 2, 631) de cada año y lugar. Los valores significativos ($F (p \leq 0.05; df 2, \geq 400) \geq 6.04$) se resaltaron en negritas. Se omitieron los datos de Bahía Banderas (BB) en 2004 (04) y 2005 (05) debido a que el número de datos era ≤ 5 . En $D_{xy} T$ se excluyó a Isla Socorro (IS) 2003 (03) del análisis debido a que la desviación estándar (D.E.) de los datos era muy alta, provocando la violación del supuesto de homocedasticidad (D.E max: D.E. min ≤ 2). Lo mismo sucedió con BB03 en $D_{xy} F$.

$D_{xy} T$	BB03	IS03	IS04	IS05
LUGAR-AÑO	n= 21	n= 28	n= 528	n= 78
BB03	-			
IS03	D.E.	-		
IS04	19.89	D.E.	-	
IS05	0.12	D.E.	55.87	-

$D_{xy} F$	BB03	IS03	IS04	IS05
LUGAR-AÑO	n= 21	n= 28	n= 528	n= 78
BB03	-			
IS03	D.E.	-		
IS04	D.E.	2.63	-	
IS05	D.E.	58.29	7.71	-

Variación espacial

El análisis de la variación espacial comparó los datos de distancia de un mismo lugar (distinguiendo entre Bahía Banderas (BB-BB) e Isla Socorro (IS-IS)) con los de lugares distintos (Figura 24). La variación en los datos $D_{xy} T$ no mostró diferencias significativas entre IS-IS y BB-BB, pero ambos casos tuvieron una variación significativamente menor que la que se registró entre sesiones grabadas en lugares diferentes (BB-IS). Los resultados a partir de $D_{xy} F$ fueron un tanto distintos, ya que indicaron que la variación en IS-IS fue menor que en BB-BB y BB-IS mientras que estas dos no mostraron diferencias significativas entre sí (Cuadro 10).

Variación temporal

La variación mostró un aumento significativo con el incremento en la separación temporal tanto en $D_{xy} T$ como en $D_{xy} F$ (Figura 25 A y C). La diferencia entre las sesiones grabadas en un mismo año fue menor que entre las que se grabaron con 1 y 2 años de diferencia y las sesiones grabadas con una separación de un año, mostraron menor variación que las que estaban a 2 años de distancia (Cuadro 11).

Una vez que se incluyó el factor espacial, el análisis de $D_{xy}T$ mostró que la variación entre sesiones grabadas en Isla Socorro, con un año de diferencia (IS1), fue significativamente menor que la variación entre las sesiones grabadas en IS con dos años de separación (IS2). De los datos grabados en lugares distintos (BBIS), tanto los que se grabaron en un mismo año (BBIS0) como los que se grabaron con un año de diferencia (BBIS1) presentaron menor variación que IS2 (Cuadro12; Figura 25 B y D). Se tuvo que excluir a la categoría de datos grabados en Bahía Banderas en un mismo año (BB0) y a IS0 debido a que su desviación estándar se separaba mucho de las del resto de categorías.

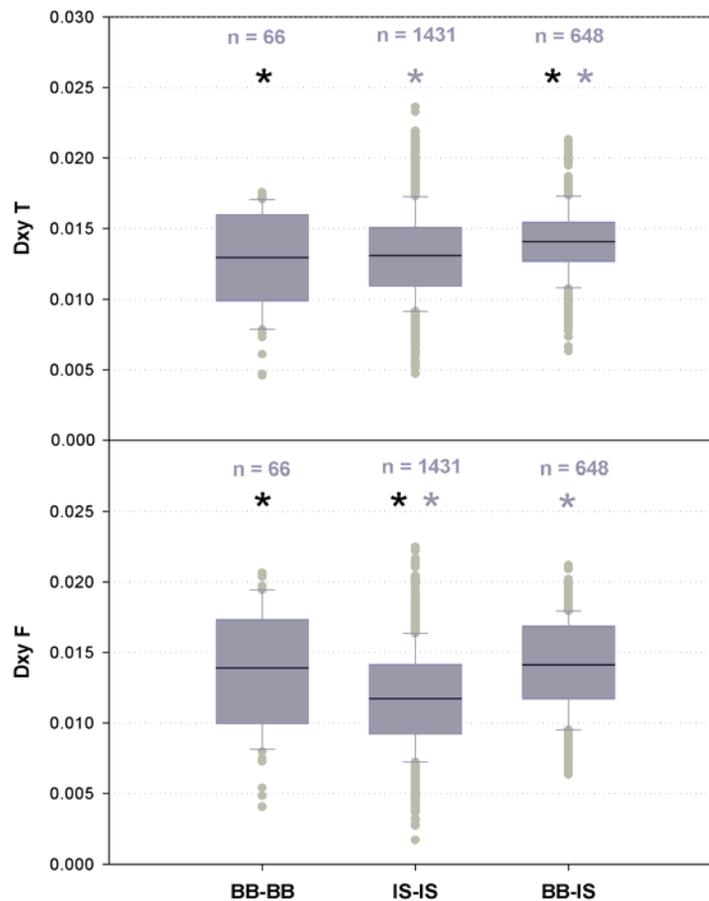


Figura 24. Diferencias espaciales de la variación en la canción de la ballena jorobada a partir de la ocurrencia de pares de temas ($D_{xy}T$; panel superior) y pares de frases ($D_{xy}F$; panel inferior). BB-BB agrupa las comparaciones de las sesiones grabadas en Bahía de Banderas, IS-IS muestra la variación comparando sólo datos de Isla Socorro y BB-IS solo incluye las comparaciones de sesiones de canto grabadas en lugares distintos. En la parte superior de cada categoría se encuentra el tamaño de muestra. Las estrellas de un mismo color indican diferencias significativas (ANOVA de una vía, $p \leq 0.05$) entre las categorías correspondientes.

Cuadro 10. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy} T$ (parte superior) y $D_{xy} F$ (parte inferior) de acuerdo con las categorías espaciales (grados de libertad (df): 2, 2142). Las categorías BB-BB e IS-IS agrupan los valores D_{xy} de sesiones de un mismo lugar, ya sea Bahía Banderas (BB) o Isla Socorro (IS). La categoría BB-IS se refiere a los datos entre sesiones grabadas en lugares distintos. Los valores significativos ($F (p \leq 0.05; df 2, > 1000) \geq 6$) se resaltaron en negritas. La n indica el número de datos de cada categoría.

$D_{xy} T$	BB-BB	IS-IS	BB-IS
	n = 66	n = 1431	n = 648
BB-BB	-		
IS-IS	0.19	-	
BB-IS	9.15	50.39	-

$D_{xy} F$	BB-BB	IS-IS	BB-IS
	n = 66	n = 1431	n = 648
BB-BB	-		
IS-IS	25.88	-	
BB-IS	0.25	221.36	-

Cuadro 11. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy} T$ (parte superior) y $D_{xy} F$ (parte inferior) por categoría de separación anual (grados de libertad (df) = 2, 2142). Los números indican la diferencia de años entre las sesiones de cada categoría y van desde 0 hasta 2. Los valores significativos ($F (p \leq 0.05; df 2, > 1000) \geq 6$) se resaltaron en negritas. La n indica el número de datos de cada categoría.

$D_{xy} T$	0	1	2
	n = 840	n = 1080	n = 225
0	-		
1	168.55	-	
2	140.70	16.00	-

$D_{xy} F$	0	1	2
	n = 840	n = 1080	n = 225
0	-		
1	216.58	-	
2	198.67	27.03	-

Los datos $D_{xy} F$ produjeron un mayor número de resultados significativos, que se pueden observar en el Cuadro 12. Nuevamente hubo problemas con la desviación estándar, pero sólo se eliminó a BB0 del análisis. De acuerdo con el ANOVA, los datos de IS0 presentaron la menor variación de todas las categorías analizadas. La categoría IS1 tuvo menor variación que IS2, BB1, BB2, BBIS1 y BBIS2 mientras que IS2 tuvo valores de $D_{xy} F$ significativamente menores que BBIS1 y BBIS2. Las categorías BB1, BB2 e IS2 presentaron mayor variación que BBIS0.

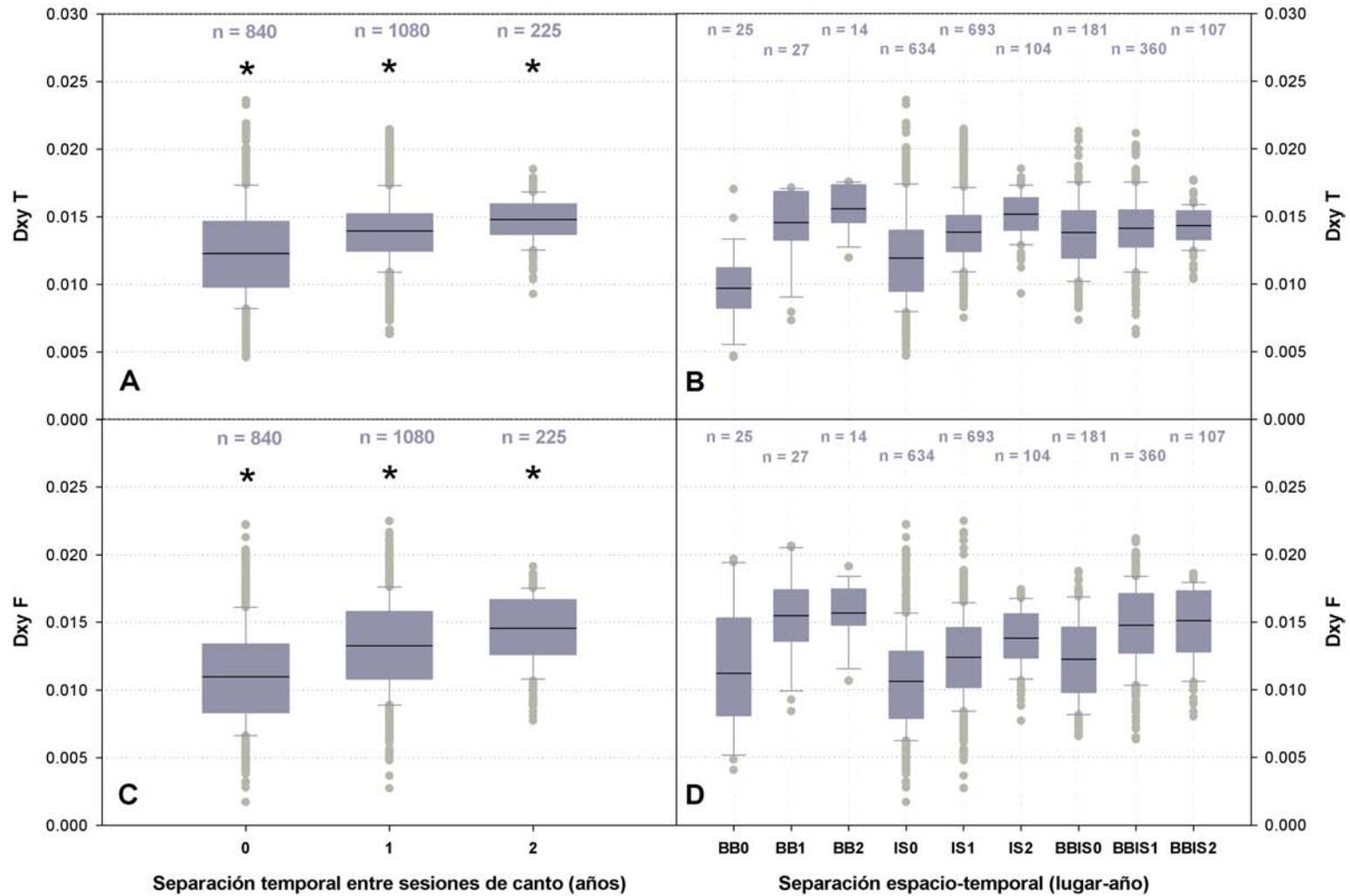


Figura 25. Variación en la canción de la ballena jorobada basada en las diferencias en ocurrencia de pares de temas (DxyT; A y B) y de frases (DxyF; C y D), de acuerdo con la separación anual (A y C) y la diferencia espacial y anual (B y D) entre las sesiones de canto comparadas. Las categorías que presentan un 0 indican comparaciones de sesiones de canto grabadas en un mismo año, el 1 indica una separación de un año entre las sesiones y el 2 indica dos años de diferencia. Las siglas BB indican que la categoría incluyó únicamente sesiones de canto grabadas en Bahía de Banderas mientras que IS señala lo mismo pero para Isla Socorro. BBIS se refiere a las categorías que sólo incluyeron comparaciones de sesiones de canto grabadas en lugares distintos. En la parte superior de cada categoría se encuentra el tamaño de muestra. En A y C, las estrellas indican diferencias significativas entre las categorías correspondientes (ANOVA de una vía, $p \leq 0.05$). Los resultados del ANOVA en B y D, se presentan en el Cuadro 12.

El análisis de la variación intra-anual para Bahía Banderas se limitó a tres categorías: 0, 1 y 13 meses de separación, debido a que el número de datos de la categoría era menor que 5 o porque las desviaciones estándar eran muy distintas. No se encontraron diferencias significativas para $D_{xy}T$ ni para $D_{xy}F$ (Figura 26; Cuadro 13). Los datos de Isla Socorro permitieron comparar 10 categorías (Cuadro 14) entre 0 y 23 meses de diferencia. Para $D_{xy}T$, las sesiones grabadas en un mismo mes y con un mes de separación presentaron una variación significativamente menor que las categorías de 2, 10, 11, 12, 13, 14 y 23 meses de diferencia. Por su parte, el ANOVA para $D_{xy}F$ arrojó resultados similares indicando una menor variación en las categorías 0 y 1 que en las categorías 2, 10, 12, 13, 14 y 23.

Cuadro 12. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy}T$ (parte superior; grados de libertad (df) = 6, 1677) y $D_{xy}F$ (parte inferior; df = 7, 2310) por categoría espacial y anual. Las siglas BB e IS se refieren a los valores D_{xy} de sesiones de un mismo lugar, ya sea Bahía Banderas (BB) o Isla Socorro (IS). Las categorías con las siglas BBIS contienen los datos entre sesiones grabadas en lugares distintos. Los números indican la diferencia de años entre las sesiones de cada categoría y va desde 0 hasta 2. Se eliminó a BB0 e IS0 del análisis de $D_{xy}T$ debido a que sus valores de desviación estándar (D.E.) violaban el supuesto de homocedasticidad. En el caso de $D_{xy}F$, sólo se eliminó la categoría BB0. Los valores significativos ($p \leq 0.05$; $df \geq 1000$) ≥ 12.6 , para $D_{xy}T$ y $F (p \leq 0.05; df \geq 1000) \geq 14.14$, para $D_{xy}F$ se resaltaron en negritas. La n indica el número de datos de cada categoría.

$D_{xy}T$	BB1 n = 27	BB2 n = 14	IS0 n = 634	IS1 n = 693	IS2 n = 170	BBIS0 n = 181	BBIS1 n = 426	BBIS2 n = 173
BB1	-							
BB2	1.83	-						
IS0	D.E.	D.E.	-					
IS1	2.65	8.03	D.E.	-				
IS2	1.63	0.42	D.E.	46.56	-			
BBIS0	2.54	7.79	D.E.	0.01	30.85	-		
BBIS1	0.91	5.47	D.E.	4.43	25.09	2.45	-	
BBIS2	0.27	5.47	D.E.	6.25	11.84	4.35	0.85	-

$D_{xy}F$	BB1 n = 27	BB2 n = 14	IS0 n = 634	IS1 n = 693	IS2 n = 170	BBIS0 n = 181	BBIS1 n = 426	BBIS2 n = 173
BB1	-							
BB2	0.06	-						
IS0	105.94	60.77	-					
IS1	42.50	25.48	183.12	-				
IS2	11.08	7.74	238.21	47.41	-			
BBIS0	42.04	26.26	66.04	0.50	36.83	-		
BBIS1	2.22	1.95	759.73	254.97	18.84	137.90	-	
BBIS2	0.53	0.72	475.91	176.01	24.84	124.50	2.57	-

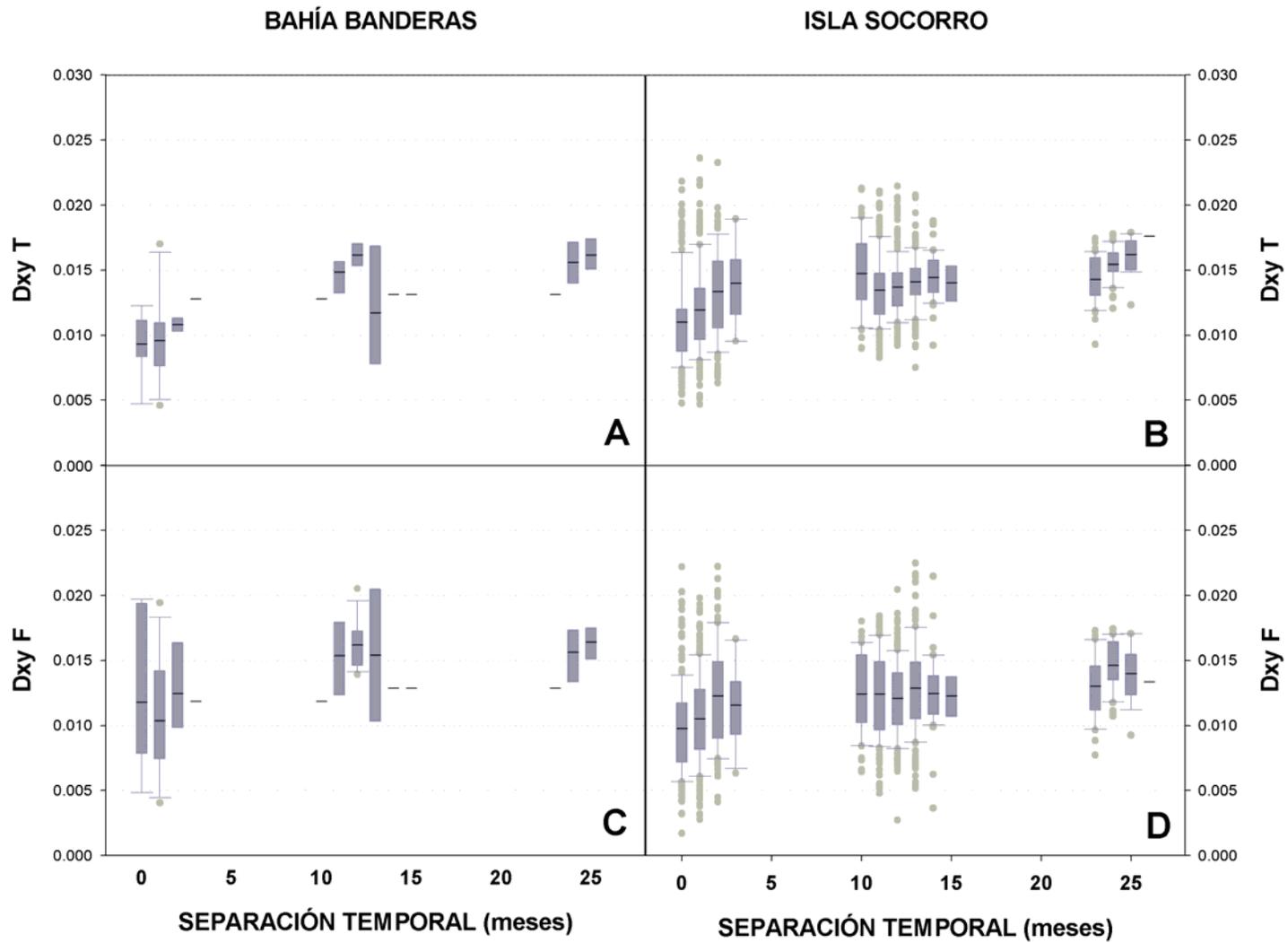


Figura 26. Variación en la canción de la ballena jorobada basada en la diferencia en ocurrencia de pares de temas ($D_{xy} T$; A y B) y de frases ($D_{xy} F$; C y D), de acuerdo con la separación mensual entre las sesiones de canto de Bahía Banderas (A y C) y de Isla Socorro (B y D). El 0 incluye los datos de la comparación de canciones grabadas en un mismo mes mientras que el 26 agrupa los datos de diferencia entre canciones grabadas con 26 meses de diferencia.

Cuadro 13. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy}T$ (parte superior) y $D_{xy}F$ (parte inferior) correspondientes a sesiones de Bahía Banderas (grados de libertad (df) = 2, 26), organizados en categorías de diferencia mensual. Los números indican la diferencia de meses entre las sesiones de cada categoría iniciando con las sesiones grabadas en un mismo mes (categoría 0). sólo se pudieron comparar tres de las categorías debido a que las otras presentaban números de muestra muy pequeños o valores de desviación estándar muy dispares (D.E.). No se encontró ningún valor significativo ($F (p \leq 0.05; df 2, \geq 26) \geq 6.74$). La n indica el número de datos en cada categoría.

$D_{xy}T$	0	1	12	13	23	26
BB	n=9	n=12	n=12	n=8	n=9	n=8
0	-					
1	0.03	-				
12	D.E.	D.E.	-			
13	4.81	4.66	D.E.	-		
23	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-	
26	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-

$D_{xy}F$	0	1	12	13	23	26
BB	n=9	n=12	n=12	n=8	n=9	n=8
0	-					
1	0.39	-				
12	D.E.	D.E.	-			
13	2.14	4.66	D.E.	-		
23	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-	
26	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-

Cuadro 14. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy}T$ (abajo) y $D_{xy}F$ (siguiente página) correspondientes a sesiones de Isla Socorro (IS; grados de libertad (df) = 9, 1352), organizados en categorías de diferencia mensual. Los números indican la diferencia de meses entre las sesiones de cada categoría iniciando con las sesiones grabadas en un mismo mes (categoría 0). Las categorías marcadas con D.E. se eliminaron debido a que su desviación estándar era muy distinta de las demás. Los valores significativos están marcados con negritas (para $D_{xy}T, F (p \leq 0.05; df 9, \geq 1000) \geq 17.01$ y para $D_{xy}F, F (p \leq 0.05; df 10, \geq 1000) \geq 18.4$). La n indica el número de datos en cada categoría.

$D_{xy}T$	0	1	2	3	10	11	12	13	14	15	23	24	25
IS	n=209	n=295	n=118	n=12	n=50	n=196	n=242	n=157	n=40	n=8	n=42	n=41	n=19
0	-												
1	12.82	-											
2	49.45	19.91	-										
3	12.20	5.87	0.56	-									
10	67.31	40.06	8.16	0.63	-								
11	73.59	32.99	0.14	0.38	7.67	-							
12	97.31	49.11	1.18	0.13	5.38	0.67	-						
13	104.29	58.39	4.87	0.02	1.72	4.44	2.06	-					
14	47.72	26.57	4.37	0.22	0.22	3.82	2.33	0.41	-				
15	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-			
23	45.25	24.35	3.33	0.09	0.54	2.80	1.52	0.11	0.06	D.E.	-		
24	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-	
25	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-

$D_{xy} F$	0	1	2	3	10	11	12	13	14	15	23	24	25
IS	n=209	n=295	n=118	n=12	n=50	n=196	n=242	n=157	n=40	n=8	n=42	n=41	n=19
0	-												
1	6	-											
2	42.14	23.33	-										
3	3.27	1.15	0.48	-									
10	25.57	14.12	0.08	0.65	-								
11	64.23	39	0.18	0.77	0.00	-							
12	54.42	30.02	0.21	0.29	0.41	1.09	-						
13	77.89	51.75	2.30	1.74	0.70	1.59	5.28	-					
14	21.89	12.10	0.11	0.68	0.00	0.00	0.42	0.50	-				
15	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-			
23	33.19	20.84	1.59	1.79	0.72	1.09	2.76	0.06	0.57		-		
24	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-	
25	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	D.E.	-

Variación individual

Los resultados del ANOVA para la variación entre individuos diferentes (ID) e individuos recapturados (IR) no mostraron diferencias significativas en los datos $D_{xy} T$ pero indicaron que la variación fue significativamente mayor en ID que en IR para los valores de $D_{xy} F$ (Cuadro15; Figura 27). Al tomar en cuenta el efecto de la variación temporal, los datos $D_{xy} T$ mostraron que los individuos diferentes no contemporáneos (IDNC) tuvieron una variación significativamente mayor que los individuos diferentes contemporáneos (IDC). Esta diferencia también se presentó con los datos $D_{xy} F$ además de que los individuos recapturados contemporáneos (IRC) tuvieron una variación significativamente menor que IDNC (Cuadro 16; Figura 27).

Cuadro 15. Valores de F obtenidos al comparar la variación de $D_{xy} T$ y $D_{xy} F$ entre las categorías de individuos diferentes (ID) e individuos recapturados (IR; grados de libertad (df) = 1, 251). Los valores significativos ($F (p \leq 0.05, df. 1, > 200) \geq 3.89$) se resaltaron con negritas. La n indica el número de datos de cada categoría.

INDIVIDUOS	$D_{xy} T$ ID (n=239)	$D_{xy} F$ ID (n=239)
IR(n=14)	1.60	12.14

Cuadro 16. Valores de F obtenidos al comparar los datos de $D_{xy} T$ (parte superior; grados de libertad (df)=3, 249) y $D_{xy} F$ (parte inferior; df=2, 244), organizados en categorías asociadas a la identidad de los individuos, distinguiendo entre

individuos diferentes (ID) e individuos recapturados (IR) y entre sesiones que se grabaron en el mismo mes (indicado con la letra C) y sesiones grabadas con uno o más meses de diferencia (indicado con las letras NC). En el análisis de $D_{xy}F$ se eliminó la categoría IRNC debido a que su desviación estándar era muy distinta de las demás. Los valores significativos están marcados con negritas (para $D_{xy}T: F(p \leq 0.05; df 3, >200) \geq 7.95$ y para $D_{xy}F: F(p \leq 0.05; df 2, >200) \geq 6.08$). La n indica el número de datos en cada categoría.

$D_{xy}T$	IDNC	IRNC	IDC	IRC
$F(p \leq 0.05; df 3, >200) \geq 7.95$	n=185	n=6	n=54	n=8
IDNC	-			
IRNC	0.09	-		
IDC	14.08	1.13	-	
IRC	4.44	1.39	0.23	-

$D_{xy}F$	IDNC	IRNC	IDC	IRC
$(p \leq 0.05; df 2, >200) \geq 6.08$	n=185	n=6	n=54	n=8
IDNC	-			
IRNC	D.E.	-		
IDC	13.63	D.E.	-	
IRC	8.58	D.E.	1.65	-

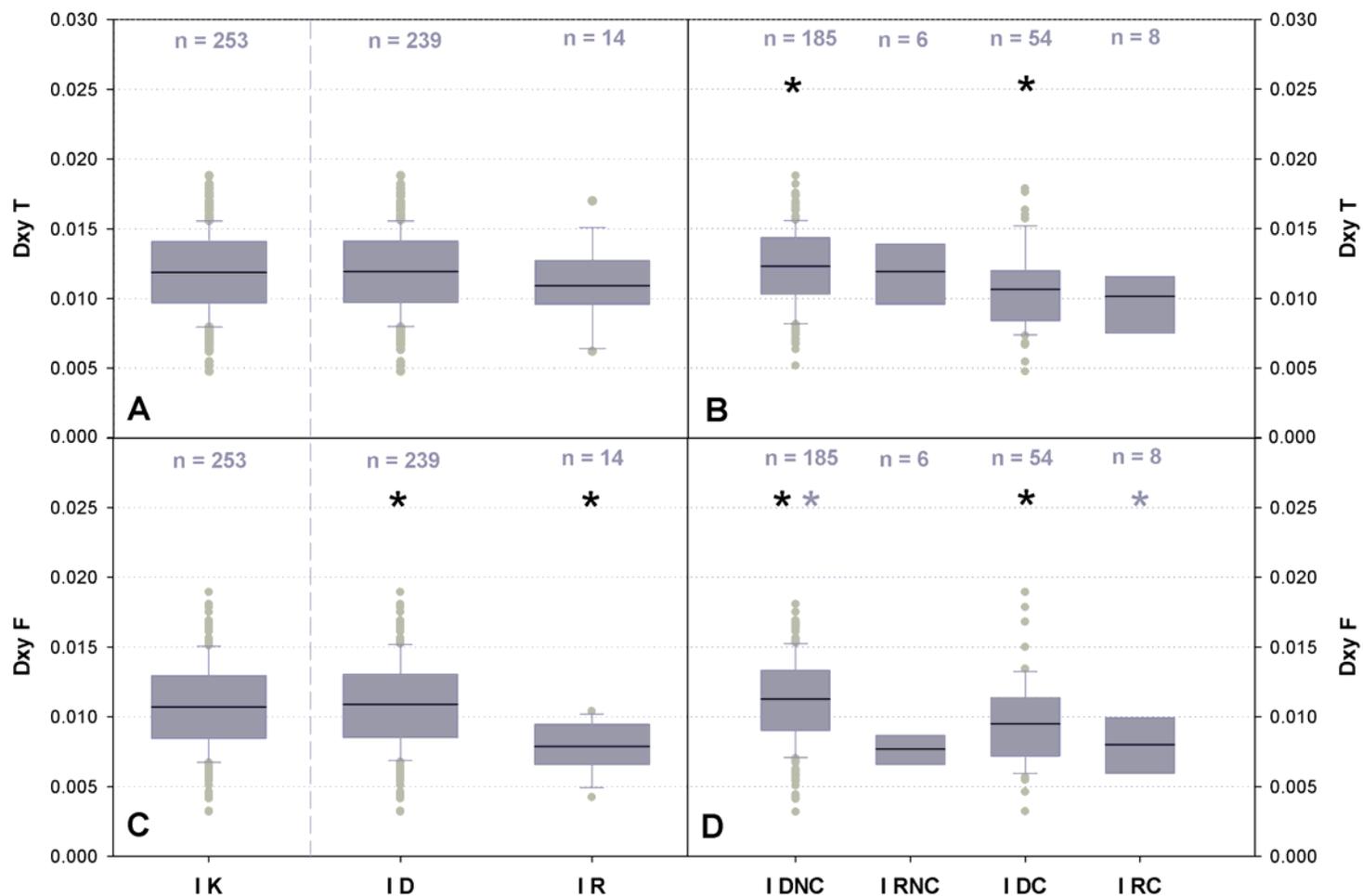
Variación asociada al contexto social

Los resultados no mostraron ninguna diferencia significativa para los datos $D_{xy}T$, pero los datos $D_{xy}F$ indicaron una mayor variación en las sesiones del C2 que las del C3 y de $\Delta 2C$. Además, la variación del C3 fue significativamente menor que la de $\Delta 1C$ (Cuadro 17; Figura 28).

Cuadro 17. Valores de F obtenidos al comparar categorías de datos $D_{xy}T$ (parte superior) y $D_{xy}F$ (parte inferior), agrupados según el cuadrante de contexto social (C1, C2 o C3) o el cambio de contexto social ($\Delta 1C$ y $\Delta 2C$) entre las sesiones (grados de libertad (df)=3, 521). La categoría C1 se removió de ambos análisis debido al escaso número de datos (n) disponible. Los valores significativos están marcados con negritas ($F(p \leq 0.05; df 3, >400) \geq 7.86$).

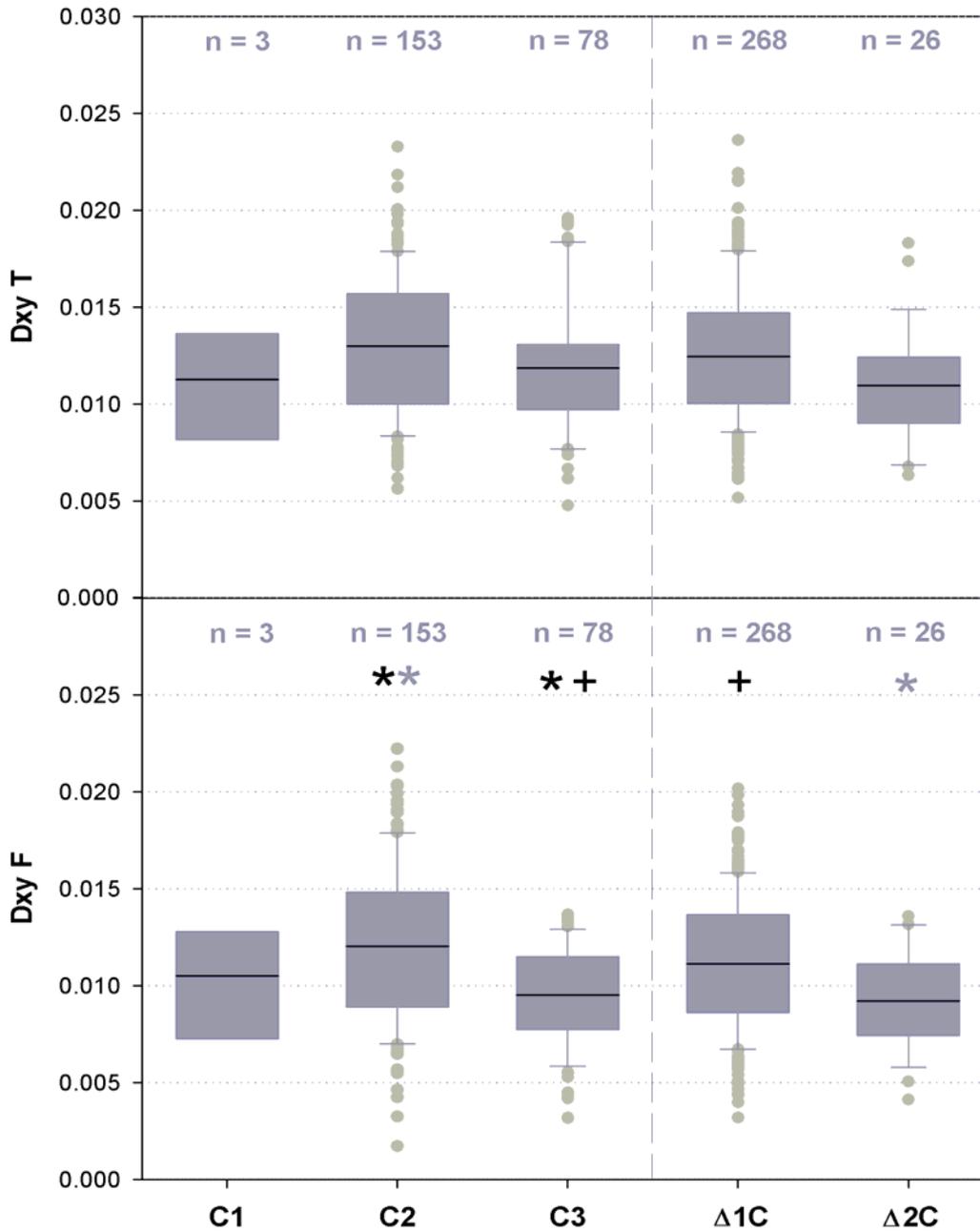
$D_{xy}T$	C2	C3	$\Delta 1C$	$\Delta 2C$
$F(p \leq 0.05; df 3, >400) \geq 7.86$	n=153	n=78	n=268	n=26
C2	-			
C3	5.45	-		
$\Delta 1C$	2.33	1.75	-	
$\Delta 2C$	7.60	1.32	4.69	-

$D_{xy}F$	C2	C3	$\Delta 1C$	$\Delta 2C$
$F(p \leq 0.05; df 3, >400) \geq 7.86$	n=153	n=78	n=268	n=26
C2	-			
C3	26.36	-		
$\Delta 1C$	6.50	12.56	-	
$\Delta 2C$	14.40	0.16	7.08	-



IK: Individuos conocidos, ID: Individuos distintos, IR: Individuos recapturados, IDNC: Individuos distintos no contemporáneos, IRNC: Individuos recapturados no contemporáneos, IDC: Individuos distintos contemporáneos, IRC: Individuos recapturados contemporáneos.

Figura 27. Variación en la canción de la ballena jorobada basada en la diferencia en ocurrencia de pares de temas ($D_{xy} T$; A y B) y de frases ($D_{xy} F$; C y D), a partir de categorías de identidad individual. En A y C se comparan los individuos conocidos (ID) con los recapturados (IR) mientras que en B y D, se distinguió además entre los individuos grabados en un mismo mes (contemporáneos; IDC) y los grabados en meses distintos (IDNC). En la parte superior de cada categoría se indica el número de datos n. Las estrellas de un mismo color indican diferencias significativas entre las categorías correspondientes (ANOVA de una vía, $p \leq 0.05$).



C1: cuadrante 1, presenta una abundancia relativa (Ab) menor a 1 individuo/hora y una proporción de machos (fMac) mayor a 0.5. **C2:** cuadrante 2, presenta una Ab igual o mayor a 1 individuo/hora y menor a 3 individuos/hora y una fMac mayor a 0.5. **C3:** cuadrante 3, presenta una abundancia relativa igual o mayor a 3 individuos/hora y una fMac mayor a 0.5.

Figura 28. Variación en la canción de la ballena jorobada basada en la diferencia en ocurrencia de pares de temas ($D_{xy T}$) y de frases ($D_{xy F}$), agrupando los datos de acuerdo con el contexto social en el que fueron grabados. Las categorías C1, C2 y C3 incluyen las comparaciones de canciones grabadas en un mismo contexto social mientras que $\Delta 1C$ y $\Delta 2C$ indican que las sesiones de canto comparadas se grabaron en cuadrantes distintos. $\Delta 1C$ incluye comparaciones entre cuadrantes C1 y C2 y entre C2 y C3 y $\Delta 2C$ compara los cuadrantes C1 y C3. En la parte superior de cada categoría se encuentra el tamaño de muestra “n”. Los símbolos de un mismo tipo y color debajo del tamaño de muestra, indican diferencias significativas entre las categorías correspondientes (ANOVA de una vía, $p \leq 0.05$).

Las unidades

El Cuadro 18 muestra la descripción de las 15 sesiones de canto elegidas para hacer el muestreo de unidades. Los árboles obtenidos con el análisis de cúmulos WPGMA presentaron estructuras escalonadas que no favorecieron la organización de los sonidos en categorías, sin que esto limitara la clasificación a un número muy reducido de grupos con muchos integrantes (con grados de similitud muy variado) o, por el contrario, sin que se tuvieran muchas categorías conteniendo muy pocos sonidos. El análisis bayesiano produjo resultados similares, con árboles escalonados (aunque la disposición de los sonidos no era igual que con el análisis de cúmulos), que no permitieron la categorización (Figura 29).

Cuadro 18. Sesiones de las cuales se tomó una muestra de frases cuyas unidades fueron medidas para obtener una representación numérica a partir de su duración, 10 datos de frecuencia pico y 10 de intensidad relativa. Para cada sesión, se presenta el número total de unidades (U) y frases (F), además del número de unidades y frases medidas (UM y FM respectivamente). También se incluyó la tasa de unidades por frase (U/F), unidades medidas por frases medidas (UM/FM), unidades medidas por total de unidades (UM/U) y frases medidas por total de frases (FM/F).

SESIÓN	DURACIÓN	U	F	U/F	UM	FM	UM/UF	UM/U	FM/F
BB5A280103-C1	0:33:53	983	272	3.61	174	48	3.63	0.18	0.18
BB8A240203	0:04:08	88	34	2.59	24	9	2.67	0.27	0.26
BB3A120204	0:47:35	891	298	2.99	179	58	3.09	0.20	0.19
BB1A080205	0:48:29	956	303	3.16	194	62	3.13	0.20	0.20
IS1A260104	0:47:19	1035	396	2.61	207	79	2.62	0.20	0.20
IS1B300104	0:46:17	926	351	2.64	179	71	2.52	0.19	0.20
IS6A140204	0:37:15	661	272	2.43	148	58	2.55	0.22	0.21
IS7A170204	0:47:13	824	345	2.39	170	70	2.43	0.21	0.20
IS11B220304	0:47:07	902	302	2.99	201	65	3.09	0.22	0.22
IS10B290304	0:47:20	916	329	2.78	188	67	2.81	0.21	0.20
ISDC190205-1	0:44:55	965	277	3.48	253	67	3.78	0.26	0.24
ISDC130305	0:32:59	627	201	3.12	138	43	3.21	0.22	0.21
IS4A170305	0:47:00	923	287	3.22	207	61	3.39	0.22	0.21
IS5A290305	0:47:03	916	284	3.23	195	60	3.25	0.21	0.21
IS5B030405	0:47:04	882	278	3.17	179	57	3.14	0.20	0.21
TOTAL	10:25:37	12,495	4,229	2.95	2,636	875	3.01	0.22	0.21
PROMEDIO	0:41:42	833.0	281.9	2.96	175.7	58.3	3.02	0.22	0.21
D.E.	0:11:37	233.6	81.6	0.37	49.7	16.3	0.41	0.02	0.02

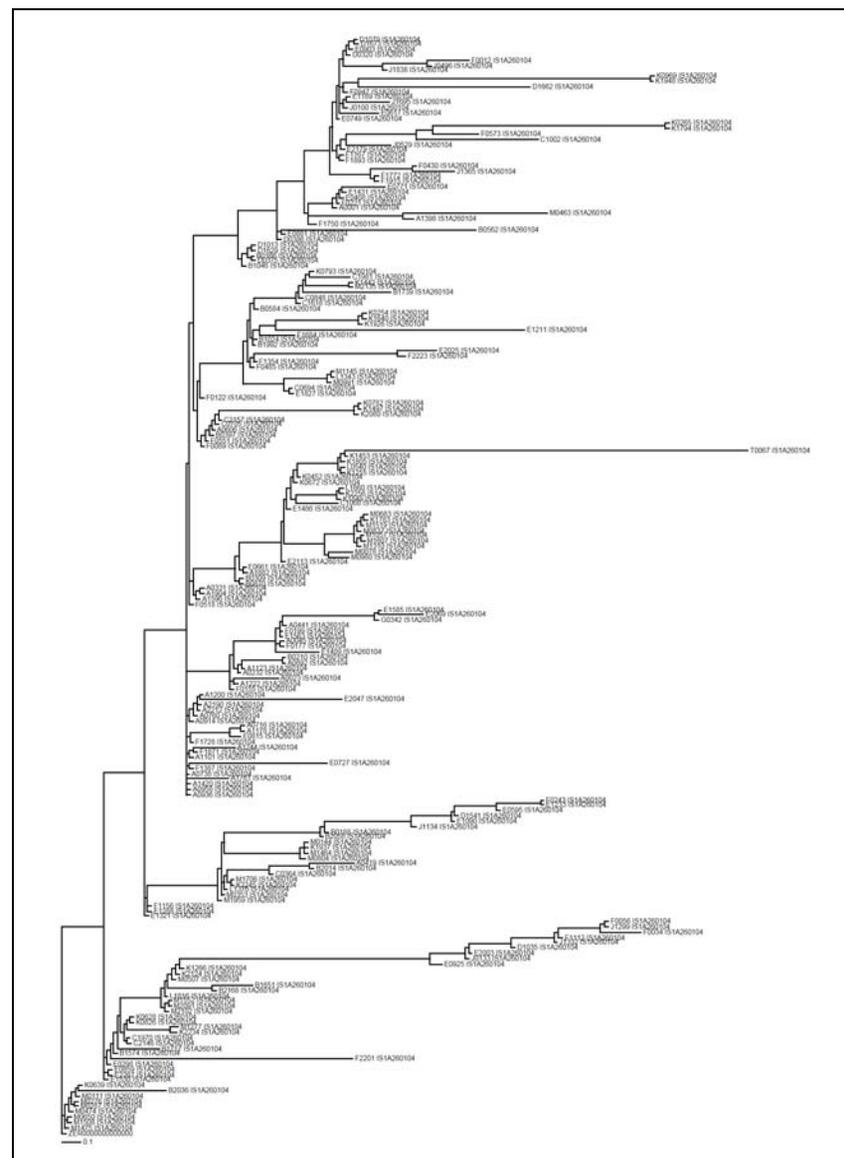
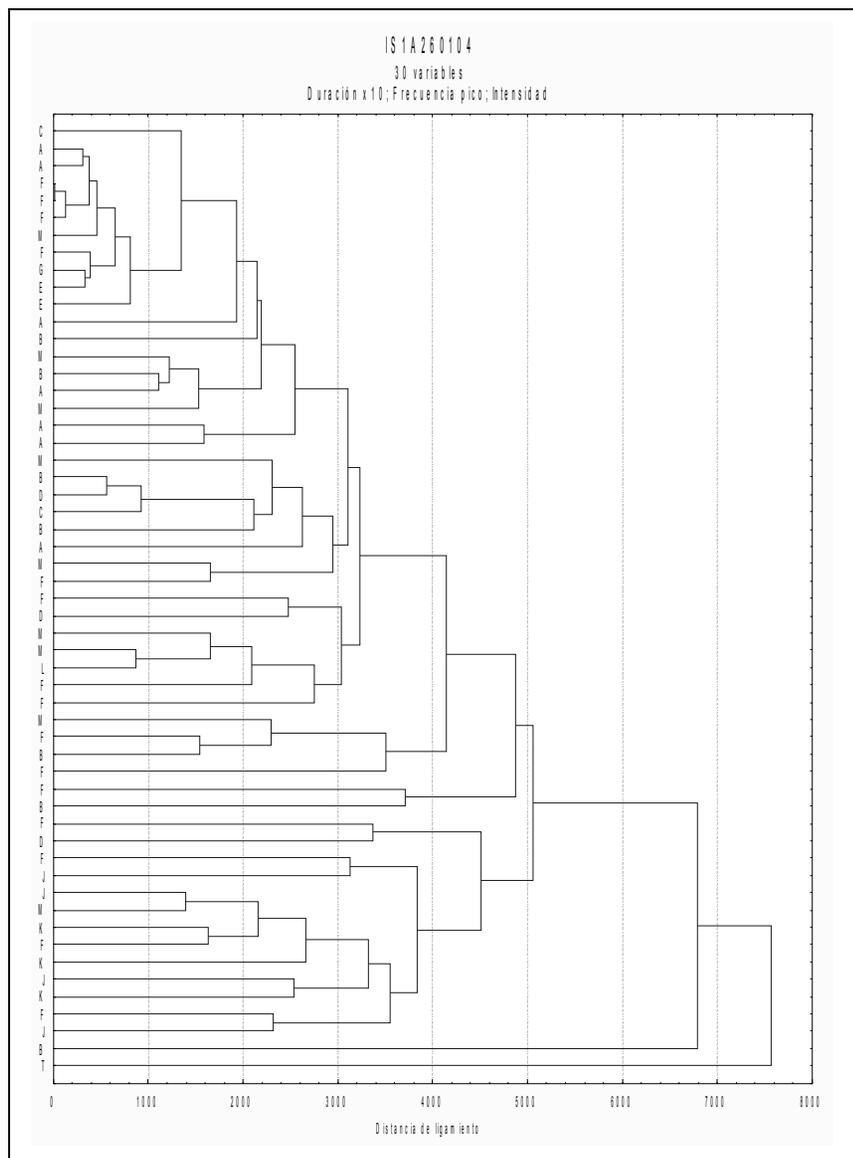


Figura 29. Ejemplo de la estructura escalonada de los árboles de relación entre unidades, obtenidos a partir del análisis de componentes principales (izquierda) y del análisis bayesiano (derecha).

El análisis de cúmulos mostró que las dos variables de mayor peso para la agrupación de las sesiones, fueron la duración y la complejidad de frecuencias. Se obtuvieron 5 intervalos para cada variable, resultando en 25 posibles categorías de unidades. A partir de las 2,636 unidades medidas, el análisis de variación dio lugar al árbol de similitud que se observa en la Figura 30A. Las relaciones observadas no parecieron asociarse a la localidad, al año o a los individuos. El conjunto de sesiones más estrechamente relacionado incluyó sesiones tanto de IS como de BB de los tres años (exceptuando IS03, pero no se midió ninguna sesión de ese lugar y año).

El análisis de variación basado la clasificación perceptual, produjo el árbol que se observa en la Figura 30B. El grupo de sesiones más relacionado entre sí, se conformó por sesiones de 2004, particularmente de IS. Por otra parte, se formó una agrupación con 4 de las 5 sesiones correspondientes a IS05. La sesión IS05DC19 mostró una mayor relación con las sesiones de IS04. Con excepción de una sesión de BB03, las sesiones de BB03, BB04 y BB05 se asociaron más cercanamente con el grupo de sesiones de IS04 que con las de IS05.

La Figura 31 muestra las curvas de frecuencia acumulada de F_{prom} para las 15 sesiones muestreadas, resaltando distintas características que permitieran observar asociaciones entre ellas como el lugar y el año. En la Figura 30B, se puso énfasis en el lugar al que pertenecían las sesiones y se observó que la frecuencia promedio de las unidades de sesiones de BB pareció concentrarse más en la parte baja del espectro de frecuencias que las de IS. También se consideró que la distribución de frecuencias promedio podría estar asociada a la identidad de los cantores por lo que se hizo una gráfica incluyendo únicamente a los individuos recapturados (Figura 30C). De los tres individuos disponibles, sólo uno pareció mostrar un patrón similar en las dos curvas (Haldir). Otro de los individuos presentó tres recapturas (Bono), de las cuales dos mostraron un patrón parecido. Se pensó que la diferencia en la tercera curva podía deberse a que una de las recapturas se hizo en un año distinto, pero resultó que las dos sesiones más parecidas fueron las de años diferentes.

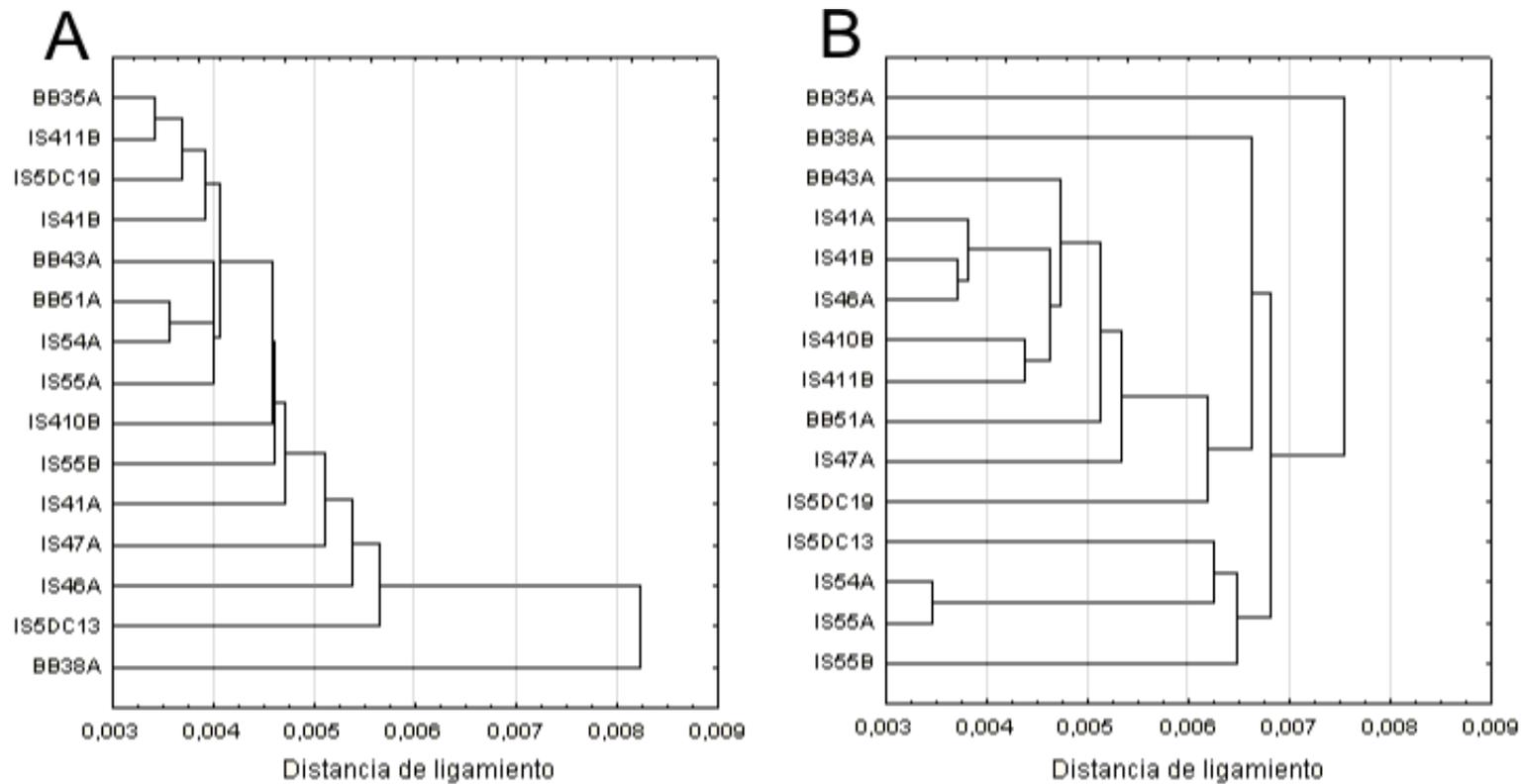


Figura 30. Árboles de similitud entre sesiones de canto obtenidos a partir del análisis de la variación en las secuencias de unidades, basadas en las categorías dependientes de la duración y la complejidad de frecuencias (A) y en la clasificación perceptual (B).

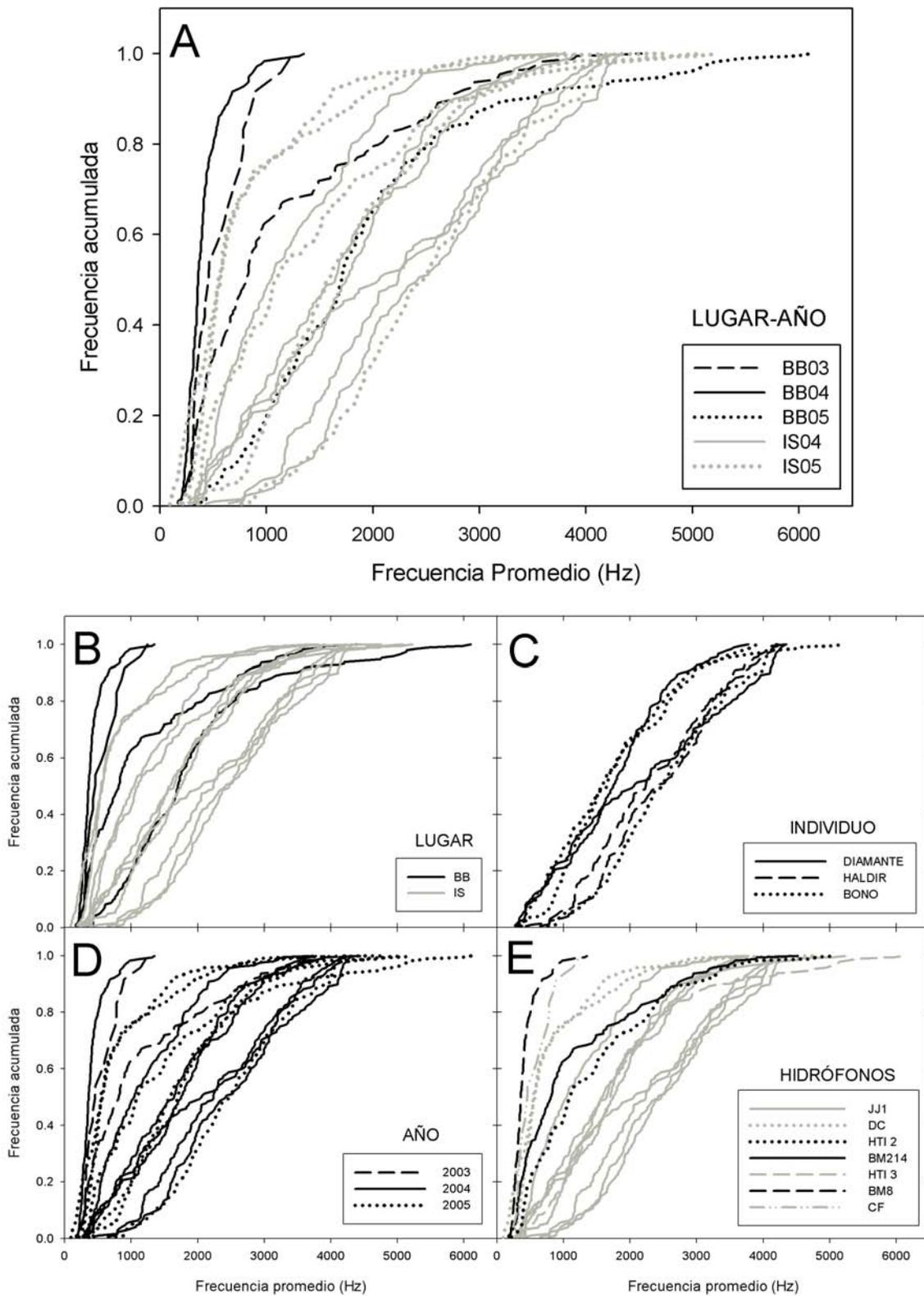


Figura 31. Distribución acumulada de la frecuencia promedio (F_{prom}) correspondiente al muestreo de unidades de 15 sesiones de canto. Los diversos cuadros muestran cómo se agrupan las sesiones al distinguir el lugar (B), año (D) y lugar-año (A) al que pertenecen. También se distinguieron los individuos recapturados (C) y los hidrófonos utilizados para grabar cada sesión (E).

Al observar la posible influencia de los hidrófonos sobre las curvas (Figura 30D), la única asociación evidente se mostró con el hidrófono HTIDC cuyas curvas fueron prácticamente idénticas, a pesar de ser sesiones con más de un mes de diferencia. También se puede notar que las sesiones grabadas con JJ1 se concentraron del lado derecho de la gráfica, con una mayor presencia de frecuencias medias. Sin embargo, la mayoría de sesiones grabadas con JJ1 corresponden también a sesiones hechas en IS principalmente en 2004.

El resultado del ANOVA para comparar todas las sesiones muestreadas a partir de los valores F_{prom} no mostró diferencias asociadas al lugar, al año o al hidrófono utilizado (Cuadro 19). Los 3 individuos conocidos no mostraron diferencias significativas con sus recapturas, exceptuando una de las recapturas de Bono, la cual sí fue significativamente distinta de sus otras dos capturas.

Cuadro 19. Valores de F obtenidos al comparar los datos de frecuencia promedio del muestreo de unidades de 13 sesiones de canto (grados de libertad (df): 12, 2420). Se omitieron 2 sesiones porque sus desviaciones estándar eran muy distintas del resto. La columna S indica el nombre abreviado de cada sesión de canto, la columna H indica el hidrófono utilizado para cada sesión y la columna AÑO indica el año en el que se grabó la sesión. Los valores significativos ($F (p \leq 0.05; df 12, >1000) \geq 21.12$) se marcaron con negritas. La n indica el número de datos en cada sesión.

AÑO	H	S	BB5A n=174	BB1A n=194	IS1A n=207	IS1B n=179	IS6A n=148	IS7A n=170	IS11B n=201	IS10B n=188	IS4A n=207	IS5A n=195	IS5B n=179	IS19 n=253	IS13 n=138
2003	BM214	BB5A	-												
2005	HTI3	BB1A	59.80	-											
2004	JJ	IS1A	0.27	56.99	-										
2004	JJ	IS1B	32.68	3.68	29.62	-									
2004	JJ	IS6A	93.72	6.35	91.46	18.20	-								
2004	JJ	IS7A	171.38	33.09	172.32	56.25	8.58	-							
2004	JJ	IS11B	31.84	4.92	28.77	0.06	21.16	63.07	-						
2004	JJ	IS10B	138.46	17.69	138.29	36.30	2	2.70	41.49	-					
2005	JJ	IS4A	41.95	2	38.90	0.32	14.96	51.89	0.68	32.20	-				
2005	JJ	IS5A	197.69	42.21	200.53	68.65	12.39	0.27	77	5	64.28	-			
2005	HTI2	IS5B	6.72	26.30	4.77	9.90	52.71	112.49	9	84.83	14.62	132.23	-		
2005	HTIDC	IS19	16.31	159.47	23.13	106.15	204.60	332.91	108	288.50	128.85	382.60	47.57	-	
2005	HTIDC	IS13	11.76	115.80	16.32	77.84	155.04	247.52	77.81	211.11	92.52	278.72	34.65	0	-

Discusión

El análisis de los componentes de la canción de la ballena jorobada, reiteró la labilidad del despliegue (Payne *et al.*, 1983), pues mostró variación en el uso de unidades, frases y temas en una misma sesión de canto y entre sesiones de individuos, lugares y momentos, tanto coincidentes como distintos. Aunque se identificaron 46 unidades diferentes, el número utilizado en un mismo año y lugar fue siempre menor. Esto implica que no todas las unidades fueron utilizadas en todos los años y sitios. Además, en cada lugar y año, el promedio de unidades distintas por sesión, fue menor que el total de formas distintas utilizadas durante ese año, indicando que el repertorio de unidades no necesariamente es compartido por todos los cantores presentes en una misma agregación invernal. Algo similar ocurrió con las frases, aunque la mayor variación a este nivel, se observó en el número de frases por temas, con diferencias en el número de repeticiones de frases entre temas distintos y entre las repeticiones de un mismo tema dentro de una sesión.

De acuerdo con la definición de Payne y McVay (1971), los temas son el componente que forma la secuencia que se denomina canción y que se repite en el tiempo. Por lo tanto, la posibilidad de determinar la secuencia de temas que conforma una canción depende de la consistencia de los cantores pero, en general, se da por hecho la presencia de una secuencia repetitiva y predecible cuando se habla de canto de ballenas jorobadas. Sin embargo, algunos trabajos mencionan que la mayoría de canciones omiten temas (Winn y Winn, 1978; Payne *et al.*, 1983) lo cual fue el caso en este estudio. Las sesiones analizadas mostraron variación en el uso y orden de los temas dentro de una misma sesión y entre sesiones del mismo año y lugar o sesiones de lugares y años distintos. Particularmente para Isla Socorro en 2004, dichas diferencias intra e inter-sesiones no permitieron identificar ninguna secuencia repetitiva, mucho menos dominante. Ante esto, se identificaron las combinaciones de temas más frecuentemente utilizadas para establecer la secuencia de la canción de cada lugar y año. Se encontró que, además de un ciclo predominante, fue común la presencia de sub-ciclos, atajos y estribillos. De

acuerdo con lo anterior, parece más adecuado hablar de la canción como la secuencia más probable de temas utilizada en determinado lugar y momento, sin pasar por alto los elementos complementarios como los sub-ciclos.

Al observar el cambio de la secuencia dominante de temas de los dos sitios durante los tres años, se identificaron casos de desuso, aparición y establecimiento de temas, además de reversiones en el sentido de la secuencia. Asimismo, se observó un caso donde el cambio anual en la canción fue similar para los dos sitios (2003-2004) y otro donde los cambios mostraron menos paralelismos (2004-2005). En el trabajo de Salinas Zacarías (2000), donde se compararon canciones de Bahía Banderas e Isla Socorro de un invierno, se encontró que los temas y el orden en el que aparecían fueron los mismos para las dos localidades. Sin embargo, los resultados de este estudio indican que esta característica varía de año en año, además de que en ninguno de los años estudiados se encontró una coincidencia total en la secuencia de temas de los dos sitios. Hay que tener en consideración que el número de sesiones disponibles para Bahía Banderas en 2004 y 2005 fue pequeño con relación a Isla Socorro y que se grabaron a lo largo de dos semanas. Esto limitó la captura de las variantes de la canción que se presentaron en la bahía a lo largo de todo el invierno, las cuales podrían haber resultado en un mayor parecido con la canción de Isla Socorro. Sin embargo, en 2003 se tuvo el mismo número de sesiones para los dos lugares (10), grabadas a lo largo de periodos de un mes o más y aun así se manifestaron las diferencias ya descritas.

Los resultados del ANOVA resaltaron que la canción de Isla Socorro en 2005 estuvo más definida que en los otros casos, ya que los cantores mostraron una mayor consistencia en el uso de frases y temas. La mayor variación observada en la isla en 2004 se puede asociar con la dificultad para encontrar una secuencia dominante de temas, pues indica que los cantores fueron menos consistentes. Esto se observó también en los árboles de similitud, ya que varias sesiones correspondientes a Isla Socorro en 2004, se encuentran dispersas y aisladas.

La variación espacial no mostró evidencia de que los cantores de uno de los lugares fueran más consistentes que los del otro, pero ambas localidades tuvieron menor variación que la comparación de lugares diferentes. Esto indica que las canciones de sitios distintos fueron menos parecidas entre sí que las canciones de un mismo lugar, reiterando la presencia de diferencias locales. Los resultados del uso de frases fueron un poco discrepantes porque se encontró una menor variación en las sesiones de Isla Socorro que en las de Bahía Banderas y sólo las sesiones de la isla mostraron una menor variación entre sí que la comparación de sesiones de lugares distintos. Estos resultados pueden explicarse de diversas maneras. Por un lado, las secuencias de frases podrían estar “magnificando” las diferencias que se observan en las secuencias de temas pues, en cierto sentido, una sola diferencia en la secuencia de temas, se multiplica por el número de repeticiones que la conforman en la secuencia de frases. En ese caso, la diferencia entre las dos localidades podría estar revelando un mayor parecido entre las canciones de los individuos de Isla Socorro que entre los de Bahía de Banderas (que no salió significativo en el análisis de variación en el uso de pares de temas) y podría indicar que hay alguna característica local que influye en la homogeneización del uso de frases en la isla, como por ejemplo, la diferencia en el uso del hábitat. En Bahía Banderas, las ballenas se mueven dentro y fuera de la bahía, cerca y lejos de la costa, abarcando un área mayor que en la isla (Smith Aguilar, 2007). Una de las consecuencias de la mayor movilidad de los animales de Bahía de Banderas se refleja en una menor tasa de re-avistamientos con respecto a Isla Socorro, donde la tasa de re-avistamientos es mayor tanto entre años como en un mismo invierno (Urbán *et al.*, 2000; Juárez Salas, 2001; Rosales Nanduca, 2004; Martínez Aguilar, 2008). Esto podría permitir mayor contacto entre individuos conocidos y, un conjunto de individuos moviéndose en un área menor, podría promover la transmisión de los cambios en la canción, resultando en una mayor homogeneización de las secuencias en Isla Socorro que en Bahía Banderas. Sin embargo, si se tratara simplemente de una “amplificación” de los datos de la variación en los pares de temas, entonces el ANOVA para los datos de los pares de frases debería haber

manifestado la diferencia significativa entre las sesiones de Bahía Banderas y las de sitios distintos, lo cual no sucedió.

Otra posible explicación de la mayor variación en la secuencia de frases de las sesiones de Bahía Banderas, podría ser que los cantores de Isla Socorro tendieron a ser más consistentes en el número de repeticiones de frases por tema. Se ha planteado que la repetición de una señal puede ser una manera de asegurar su transmisión (Endler, 2000) y se ha observado que esto sucede en la naturaleza (Aubin y Jouventin, 2002; Brumm y Slater, 2006). De hecho, hay un estudio con ballenas jorobadas que encontró que la canción fue más larga ante el ruido de un sonar de baja frecuencia y los autores argumentan que puede corresponder a un aumento en la redundancia de la canción como mecanismo de compensación (Biassoni *et al.*, 2000). El área de desplazamiento de las ballenas en Bahía Banderas, además de ser mayor que en Isla Socorro, presenta características fisiográficas más diversas y mayor tráfico de embarcaciones, incluyendo desde embarcaciones menores como pangas, hasta grandes cruceros (en Isla Socorro el tráfico marítimo es prácticamente inexistente; observaciones personales). Como consecuencia de esto, Bahía Banderas podría presentar una mayor variedad de condiciones acústicas y sociales ante las cuales los cantores van ajustando la repetitividad de las frases, para ser escuchados, mientras que en Isla Socorro, la variación podría ser menor dadas las condiciones más homogéneas.

La separación temporal demostró tener el principal efecto sobre los cambios en el uso de temas y frases de la canción ya que la variación fue aumentando significativamente con el paso de los años y se antepuso a las diferencias espaciales. Por ejemplo, la variación en el uso de temas fue mayor entre sesiones grabadas en Isla Socorro con dos años de diferencia, que entre sesiones grabadas en lugares distintos con un año de diferencia. Esto indica que los cambios que se dieron en la canción de año en año se compartieron, al menos parcialmente, entre los dos sitios. De otro modo, se esperaría que las diferencias “dialectales” hubieran ido en aumento año con año. Aunque el grado de parecido cambió, las observaciones indican cierto paralelismo en la evolución de las canciones de ambas localidades.

Ocasionalmente, algunos individuos se mueven entre la isla y la bahía (Calambokidis *et al.*, 2008), pudiendo transmitir las variantes de la canción de un lugar a otro, como se ha observado que sucede en otras poblaciones (Noad *et al.* 2000). Además, aunque no parecen compartir áreas de alimentación, es posible que individuos de las dos agregaciones se crucen a lo largo de las rutas de migración. Por ejemplo, se han registrado avistamientos de ballenas de ambas agregaciones invernales en las costas de Baja California Sur (Calambokidis *et al.*, 1997; Urbán *et al.*, 2000; Calambokidis *et al.*, 2008). Esto abre otra oportunidad para escuchar y adoptar características de las canciones de otros individuos ya que la actividad de canto se extiende a las rutas migratorias (Dawbin y Eyre, 1991; Clark y Clapham, 2004). En cuanto al uso de las frases, se manifestó nuevamente una mayor consistencia en Isla Socorro que en Bahía de Banderas, aunque la comparación sólo se pudo hacer para datos separados por un año.

El análisis temporal a escala mensual permitió detectar una mayor variación en el uso de temas y frases entre sesiones grabadas con dos meses de diferencia que entre sesiones grabadas el mismo mes y con un mes de separación. Esto es un indicador del cambio gradual que se va dando en la canción a lo largo del invierno y que probablemente se asocia con la aparición, uso y desuso de los sub-ciclos u otras variantes de la secuencia dominante. Por ejemplo, el estribillo mencionado para 2003 (2,3X,2), estuvo ausente en Bahía Banderas durante enero y la primera mitad de febrero y su presencia fue en aumento hasta el final del muestreo en marzo. Mientras tanto, en Isla Socorro, durante el mismo 2003, el estribillo fue predominante durante todo el periodo de muestreo que abarcó desde finales de febrero hasta marzo. En 2004, la secuencia predominante de la canción en los dos sitios, se puede asociar a variantes de dicho estribillo. Esto muestra como un sub-ciclo se estableció gradualmente en un año y fue una transición hacia la canción del año siguiente.

Los resultados de la variación individual corroboran el planteamiento de que los cantores comparten los cambios y homogeneizan sus canciones con las de sus vecinos, haciendo que el tiempo sea un factor de mayor peso en la determinación del uso de los temas que la identidad (Guinee *et al.*, 1983). Esto se reflejó con las diferencias en el uso de temas entre individuos no contemporáneos e

individuos contemporáneos. Los individuos grabados en meses distintos mostraron mayor variación que aquellos grabados en un mismo mes. Por otra parte, el resultado obtenido para el uso de frases indicó una mayor variación entre los individuos diferentes que entre los individuos recapturados. Esto podría indicar que la redundancia en el uso de frases puede tener un componente individual. Aun así, fue mayor el efecto del tiempo ya que el uso de frases también fue menos variado para los individuos contemporáneos tanto diferentes como recapturados que para los individuos diferentes no contemporáneos.

El contexto social no mostró ninguna relación con la variación en el uso de temas, pero a nivel de frases, los resultados indicaron que hubo mayor parecido en el uso de frases ante situaciones de abundancia alta (3 o más individuos por hora) que ante abundancias medias (1-2 individuos por hora). La mayor abundancia podría traducirse en mayor concentración de individuos y mayor probabilidad de ser escuchado lo cual, nuevamente, podría asociarse con la regulación y homogeneización de la redundancia. También se encontró que la variación en las sesiones correspondientes a condiciones de abundancia alta, fue menor que la variación entre sesiones de condiciones de abundancia cambiante. Esto podría indicar que hay un aumento de la variación al cambiar de condición de abundancia, sin embargo, las sesiones grabadas ante abundancias medias presentaron mayor variación que las sesiones de cuadrantes distintos, contraponiéndose a esta idea.

El muestreo y representación cuantitativa de las unidades resultaron complicados y poco fructíferos para obtener una clasificación coherente. Los intentos de encontrar clasificaciones utilizando el análisis de componentes principales y el análisis bayesiano, produjeron resultados que dificultaban la delimitación de categorías, además de que mostraron muchas diferencias con respecto a la clasificación auditiva de los sonidos (que era el único referente disponible). Este tipo de problemas se ha discutido en trabajos como el de Chabot (1988) y resalta las dificultades de obtener clasificaciones automatizadas y las ventajas del método basado en la transcripción y clasificación perceptual de los sonidos ya que

permite el análisis de grabaciones que, dadas sus características acústicas, pueden ser difíciles de analizar utilizando técnicas de medición espectral.

Las categorías basadas en la duración y la complejidad de frecuencias permitieron hacer el análisis de la variación, pero el árbol resultante sugiere que las mediciones capturaron información que no necesariamente fue representativa de las unidades, ya que no se encontró ningún patrón de relación que correspondiera con las descripciones previas de la variación, ni se encontró parecido con los resultados de la clasificación perceptual. Esto pudo estar asociado a errores en el proceso de grabación y medición o simplemente a que el método no fue adecuado para capturar las características representativas de la identidad de los sonidos. Una de las fuentes de error durante el proceso de grabación pudo deberse al uso de diversos equipos de grabación, aún cuando los intentos de clasificación se hicieron utilizando valores relativos y normalizados.

Al comparar la distribución de la frecuencia promedio de diversas sesiones de canto, no se encontró que la variación se asociara totalmente con el uso de distintos hidrófonos, pero sí hubo un caso donde las curvas de dos sesiones grabadas con el mismo equipo en Isla Socorro (con más de un mes de diferencia) fueron prácticamente idénticas. El ANOVA tampoco resolvió el problema ya que se encontraron diferencias significativas entre sesiones grabadas con el mismo hidrófono mientras que algunas sesiones grabadas con hidrófonos distintos no mostraron diferencia alguna. También es posible que el efecto de los hidrófonos sobre la frecuencia promedio de las unidades se haya mezclado con la influencia de factores como el lugar y la identidad de los individuos. Se observó una posible diferencia entre la distribución acumulada de la frecuencia promedio de las sesiones de Isla Socorro y las de Bahía Banderas lo cual podría relacionarse con diferencias geográficas o dialectales. Además, la ausencia de diferencias significativas entre las capturas y recapturas de 3 individuos distintos podría indicar también la influencia de un componente individual sobre la distribución de la frecuencia promedio de las unidades.

Conclusiones

-Se describió la canción de la ballena jorobada de Bahía de Banderas y los alrededores de Isla Socorro en los inviernos de 2003, 2004 y 2005. La identificación de los componentes de la canción (unidades, frases y temas) indicó que los cantores de Bahía de Banderas en 2004 utilizaron el menor número de formas distintas de unidades y frases mientras que la mayor diversidad de unidades se registró en Isla Socorro en 2005 y de frases en Isla Socorro en 2003.

-Se reconocieron las combinaciones de temas más utilizadas por los cantores y la secuencia dominante o canción para cada lugar y año. Los temas y el orden en el que aparecen mostró variaciones para las dos localidades y la similitud varió de año en año.

-Se observaron variantes o “sub-ciclos” de la canción cuya ocurrencia sugiere que una descripción apropiada de la canción debe incluir las variaciones de mayor uso en determinado periodo y lugar, mostrando el carácter dinámico de la canción al evidenciar la constante presencia de estados transicionales de la misma.

-Los sub-ciclos de mayor ocurrencia se observaron en las canciones de ambos sitios en 2003 y en las sesiones de la Isla Socorro en 2004 y 2005. La canción de Isla Socorro en 2004 prácticamente no presentó una secuencia dominante, mientras que los cantores de Isla Socorro en 2005 fueron los más consistentes al presentar menor variación en el uso de temas.

-El uso de los temas fue más parecido entre las canciones de un mismo lugar que entre canciones de lugares distintos mientras que las sesiones grabadas en un mismo año fueron más parecidas entre sí que las que se grabaron en años diferentes. La variación temporal fue mayor con el aumento en la separación anual y el método fue sensible para detectar cambios en la variación a partir de los dos meses de diferencia entre sesiones.

-Los cambios anuales en la canción produjeron mayor variación que las diferencias entre los dos sitios de estudio en un mismo año, indicando que la evolución de la canción en el tiempo no fue

independiente en las dos localidades. Además, las sesiones de individuos contemporáneos fueron más parecidas entre sí que las de cantores no contemporáneos.

-A nivel espacial, se encontró una mayor variación en el uso de frases en Bahía de Banderas que en Isla Socorro, posiblemente asociada a características locales que influyen en la necesidad de redundar para transmitir la señal.

-En Isla Socorro, hubo menor variación en el uso de frases ante condiciones de abundancia relativa alta, posiblemente asociado a la homogeneización de la probabilidad de ser escuchado.

-Se encontró que la redundancia en el uso de frases puede tener un componente individual, ya que la variación entre sesiones de un mismo individuo fue menor que entre individuos distintos.

-No se logró producir una clasificación satisfactoria de las unidades de la canción basada en el muestreo de sus características espectrales. Los datos de frecuencia promedio de las unidades sugieren que esta variable puede estar relacionada con la identidad individual y la localidad, pero no se pudo descartar el efecto del uso de equipos de grabación distintos en estos resultados.

Referencias

- Álvarez Sánchez, L. G., M. R. Stevenson y B. Wyatt (1978). "Circulación y Masas de Agua en la Región de la Boca del Golfo de California en la Primavera de 1970", *Ciencias Marinas* (México), 5(1): 57-69.
- Arraut, E. M. y J. M. E. Vieliard (2004). "The song of the Brazilian Population of Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the Year 2000: Individual Song Variations and Possible Implications", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(2): 373-380.
- Aubin, T. y P. Jouventin (2002). "Localization of an Acoustic Signal in a Noisy Environment: the Display Call of the King Penguin *Aptenodytes patagonicus*", *Journal of Experimental Biology*, 205: 3793-3798.
- Ávila Foucat, S. y L. Saad Alvarado (1998). "Valuación de la Ballena Gris (*Eschrichtius robustus*) y la Ballena Jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en México", en *Aspectos Económicos de la Biodiversidad* (Benítez Díaz, H., E. Vega López, A. Peña Jiménez y S. Ávila Foucat, eds.), CONABIO y SEMARNAT, Ciudad de México, México, pp. 123-143.
- Baker, C. S. y L. M. Herman (1984). "Aggressive Behavior between Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) Wintering in Hawaiian Waters", *Canadian Journal of Zoology*, 62(10): 1922-1937.
- Baker, C. S., L. M. Herman, A. Perry, W. S. Lawton, J. M. Straley, A. A. Wolman, G. D. Kaufman, H. E. Winn, J. D. Hall, J. M. Reinke y J. Ostman (1986). "Migratory Movement and Population Structure of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Central Eastern North Pacific", *Marine Ecology Progress Series*, 31: 105-119.
- Barron, M. G. (2002). "Environmental Contaminants Altering Behaviour" en: *Behavioural Ecotoxicology*, (Dell' Omo, G., ed.), John Wiley and Sons, West Sussex, Reino Unido, pp. 167-186.
- Berta, A., J. L. Sumich y K. M. Kovacs (2006). *Marine Mammals, Evolutionary Biology*, 2ed., Academic press, California, EE. UU., 546 pp..
- Biassoni, N., P. J. O. Miller y P. L. Tyack (2000). "Preliminary Results of the Effects of SURTASS-LFA Sonar on Singing Humpback Whales", Woods Hole Oceanographic Institute Technical Report, WHOI-2000-06, 28 pp..
- Brumm, H. y P. J. B. Slater (2006). "Ambient Noise, Motor Fatigue, and Serial Redundancy in Chaffinch Song", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 60(4): 475-481.
- Calambokidis, J., G. H. Steiger, J. M. Straley, T. J. Quinn II, L. M. Herman, S. Cerchio, D. R. Salden, M. Yamaguchi, F. Sato, J. Urbán R., J. Jacobsen, O. von Ziegesar, K. C. Balcomb, C. M. Gabriele, M. E. Dahleim, N. Higashi, S. Uchida, J. K. B. Ford, Y. Miyamura, P. Ladrón de Guevara P., S. A. Mizroch, L. Schlender y K. Rasmussen (1997). "Abundance and Population Structure of Humpback Whales in the North Pacific Basin". *Final report submitted to the Southwest fisheries Science Center*, Cascadia Research Collective, Olympia WA., EE. UU., 72pp.
- Calambokidis, J., J. Barlow, A. M. Burdin, P. Clapham, J. K. B. Ford, C. M. Gabriele, D. Mattila, T. J. Quinn, L. Rojas-Bracho, J. M. Straley, J. Urbán R., P. R. Wade, D. Weller, B. H. Witteveen, M. Yamaguchi, E. A. Falcone, J. Huggins, D. Camacho, A. Havron, K. Flynn y N. Moloney (2007). "New Insights on Migrations and Movements of North Pacific Humpback Whales from the SPLASH Project", presentación oral, 17th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, 29 nov.- 03 dic., 2007, Cape Town, Sudáfrica.
- Calmbokidis, J., E. A. Falcone, T. J. Quinn, A. M. Burdin, P. J. Clapham, J. K. B. Ford, C. M. Gabrielle, R. LeDuc, D. Mattila, L. Rojas-Bracho, J. M. Straley, B. L. Taylor, J. Urbán R., D.

- Weller, B. H. Witteveen, M. Yamaguchi, A. Bendlin, D. Camacho, K. Flynn, A. Havron, J. Huggins y N. Maloney (2008). "SPLASH: Structure of populations, Levels of Abundance and Status of Humpback Whales in the North Pacific", *Final report for contract AB133F-03-RP-00078 for the U.S. Department of Commerce Western Administrative Center, Seattle Washington*, Cascadia Research Collective, Olympia WA., EE. UU., 57 pp..
- Camphuysen, K. C. J., H. Barreveld, G. Dahlmann y J. A. Van Franeker (1999). "Seabirds in the North Sea Demobilized and Killed by Polyisobutylene (C₄H₈)_n (PIB)", *Marine Pollution Bulletin*, 38(12): 1171-1176.
- Cano, P. F. A. y H. Tovilla (1991). "Oceanografía Física. Golfo de California", en *Oceanografía de Mares Mexicanos* (de la Lanza, G. E., compiladora), AGT, Ciudad de México, México, pp. 453-514.
- Castellanos, A. y A. Ortega Rubio (1994). "Características Generales y el Origen del Programa de Investigación", en *La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México* (Ortega Rubio, A. y A. Castellanos, eds.), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, B.C.S., México, pp. 19-32.
- Cato, D. H. (1991). "Songs of Humpback Whales: the Australian Perspective", *Memoirs of the Queensland Museum*, 30(2): 277-290.
- Cerchio, S., J. K. Jacobsen y T. Norris (2001). "Temporal and Geographical Variation in Songs of Humpback Whales, *Megaptera novaeangliae*: Synchronous Change in Hawaiian and Mexican Breeding Assemblages", *Animal Behavior*, 62(2): 313-329.
- Chu, K. y P. Hartcourt (1986). "Behavioral Correlations with Aberrant Patterns in Humpback Whale Songs," *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 19: 309-312.
- Clark C. W. y P. J. Clapham (2004). "Acoustic Monitoring on a Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Feeding Ground Shows Continual Singing into Late Spring", *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 271(1543): 1051-1057.
- Chabot, D. (1988). "A Quantitative Technique to Compare and Classify Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Sounds", *Ethology*, 77: 89-102.
- Charlton, B. D., D. Reby y K. McComb (2007). "Female Red Deer Prefer the Roars of Larger Males", *Biology Letters*, 3(4): 382-385.
- Chase, W. y F. Bown (1997). *General Statistics*, 3^a ed., John Wiley and Sons, NY., EE. UU., 601 pp..
- Chittleborough, R. G. (1955). "Aspects of Reproduction in the Male Humpback Whale *Megaptera nodosa* (BONNATERRE)", *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 6(1): 1-29.
- Comisión Ballenera Internacional (2006). "St. Kitts and Nevis Declaration" *Chair's Summary Report for the 58th Annual Meeting, June 2006 (ANEX 1)*, St. Kitts y Nevis, 15 pp..
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2004). *Programa de Conservación y Manejo, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México*, Dirección General de Manejo para la Conservación, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Ciudad de México, México, 219 pp..
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2007). "Mapa de Regiones CONANP" en: http://www.conanp.gob.mx/mapa_anp.html, Dirección de Evaluación y Seguimiento, Subdirección de Análisis de Información Espacial (actualizado 26 de julio de 2007).
- Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos (2008). "Ley General de Vida Silvestre", *Diario Oficial de la Federación*, 3 de julio de 2000 (última reforma 14/octubre/08), México, 47 pp..
- Convención Internacional para la Regulación de la Industria Ballenera (1946), en: <http://www.iwcoffice.org/commission/convention.htm#convention>, 3 pp..
- Darling, J. D. y M. Bérubé (2001). "Interactions of Singing Humpback Whales with Other Males", *Marine Mammal Science*, 17(3): 570-584.

- Darling, J. D., M. E. Jones y C. P. Nicklin (2006). "Humpback Whale Songs: Do they Organize Males during the Breeding Season?", *Behaviour*, 143(9): 1051-1101.
- Dawbin, W. H. (1966). "The Seasonal Migratory Cycle of Humpback Whales" en *Whales Dolphins and Porpoises*, University of California Press, Berkeley y Los Ángeles, CA., EE. UU., pp. 145-169.
- Dawbin, W. H. y E. J. Eyre (1991). "Humpback Whales Songs along the Coast of Western Australia and some Comparison with East Coast Songs". *Memoirs of the Queensland Museum*, 30(2): 249-254.
- Downie, N. M. y R. W. Heath (1974). *Basic Statistical Methods*, 4ª ed., Harper and Row Publishers, NY., EE. UU., 355 pp..
- Eriksen, N., L. Miller, J. Tougaard y D. A. Helweg (2005). "Cultural Change in the Songs of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) from Tonga", *Behaviour*, 142(3): 305-328.
- Endler, J. A. (2000). "Evolutionary Implications of the Interaction between Animal Signals and the Environment" en: *Animal Signals: Signaling and Signal Design in Animal Communication* (Espmark, Y., T. Amundsen y G. Rosenquist eds.), Tapir Academic Press, Trondheim, Noruega, p. 11-46.
- Fernández Bremaunz, A., M. Y. Ramírez y J. Castro Díaz (2005). *Las Sustancias Tóxicas Persistentes en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Ciudad de México, México, 261 pp..
- Foote, A. D., R. W. Osborne y A. R. Hoelzel (2004). "Whale-call Response to Masking Boat Noise", *Nature*, 428: 910.
- Frankel, A. S., C. W. Clark, L. M. Herman y C. M. Gabriele (1995). "Spatial Distribution, Habitat Utilization, and Social Interactions of Humpback Whales, *Megaptera novaeangliae*, off Hawai'i, Determined Using Acoustic and Visual Techniques", *Canadian Journal of Zoology*, 73(6): 1134-1146.
- Frazer, N. L. y E. Mercado III, (2000). "A Sonar Model for Humpback Whale Song", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 25(1): 160-182.
- García Reséndiz, J. A., G. Expósito Díaz, S. Castillo Sandoval, A. Pérez Mendoza y E. Ramírez Zaldivar (2004). "Estudio Prospectivo Oceanográfico frente a las Costas del Pacífico Central Mexicano", *Informe de Campaña oceanográfica, PROCEAM I*, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 100 pp..
- Gitay, H., A. Suárez, R. Watson, O. Asimov, F. S. Chapin, R. Victor Cruz, M. Finlayson, W. Hohenstein, G. Insarov, Z. Kundzewicz, R. Leemans, C. Magadza, L. Nurse, I. Noble, J. Price, N. H. Ravindranath, T. Root, B. Scholes, A. Villamizar y X. Rumei (2002). *Climate Change and Biodiversity. IPCC Technical Paper V*. Intergovernmental Panel on Climate Change (electronic version), 86 pp..
- Guinee, L. N., K. Chu y E. M. Dorsey (1983). "Changes over Time in the Songs of Known Individual Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*)", en: *Communication and Behaviour of Whales* (Payne, R., ed.), Westview, CO., EE. UU., pp. 59-78.
- Hafner, G. W., C. L. Hamilton, W. W. Steiner, T. J. Thompson y H. E. Winn (1979). "Signature Information in the Song of the Humpback Whale", *Journal of the Acoustical Society of America*, 66(1): 1-6.
- Halpern, B. S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, J. F. Bruno, K. S. Casey, C. Ebert, H. E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H. S. Lenihan, E. M. P. Madin, M. T. Perry, E. R. Selig, M. Spalding, R. Steneck y R. Watson (2008). "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems", *Science*, 319(5865): 948-952.

- Helweg, D. A., L. M. Herman, S. Yamamoto, y P. H. Forestell (1990). "Comparison of Songs of Humpback Whales Recorded in Japan, Hawaii, and Mexico during the Winter of 1989", *Scientific Reports of Cetacean Research*, 1: 1-20.
- Helweg, D. A., D. H. Cato, P. F. Jenkins, C. Garrigue y R. D. McCauley (1998). "Geographic Variation in South Pacific Humpback Whale Songs", *Behaviour* 135(1): 1-27.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change 2001, Impacts, Adaptations, and Vulnerability* (McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken y K. S. White, eds.), Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1032 pp..
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). "Climate Change 2007: Synthesis Report", *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R. K. Pachauri y A. Reisinger, eds.), IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp..
- International Whaling Commission, Sub-Committee on Other Southern Hemisphere Whale Stocks (2004). "Annex H. Report of the Sub-Committee on Other Southern Hemisphere Whale Stocks" (Clapham, P., rapporteur), en: www.iwcoffice.org/_documents/sci_com/SCRepFiles2004/56annexh.pdf, Sub-Committee on Other Southern Hemisphere Whale Stocks, International Whaling Commission, 17 pp.
- Jepson, P. D., M. Arbelo, R. Deaville, I. A. P. Patterson, P. Castro, J. R. Baker, E. Degollada, H. M. Ross, P. Herráez, A. M. Pocknell, F. Rodríguez, F. E. Howie, A. Espinosa, R. J. Reid, J. R. Jaber, V. Martin, A. A. Cunningham y A. Fernández (2003). Gas-bubble Lesions in Stranded Cetaceans", *Nature*, 425:575.
- Juárez Salas, R. A. (2001). "Tasas de Nacimiento e Intervalos entre Partos del Rorcual Jorobado (*Megaptera novaeangliae*) en el Pacífico Mexicano", *Tesis de Licenciatura*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 90 pp..
- Juárez Salas, R. A. (2008). "Historias de Avistamiento y Reproducción de las Ballenas Jorobadas en el Pacífico Mexicano", *Tesis de Maestría*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 82 pp..
- Katona, S. K. y J. A. Beard (1991). "Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Western North Atlantic Ocean", *Memoirs of the Queensland Museum*, 30(2): 307-321.
- Lluch-Cota, S. E., D. B. Lluch-Cota, D. Lluch-Belda y J. Bautista-Romero (1994). "Oceanografía", en *La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México* (Ortega Rubio, A. y A. Castellanos, eds.), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., La Paz, B.C.S., México, pp. 77-111.
- Maeda, H., T. Koido y A. Takemura (2000). "Principal Component Analysis of Song Units Produced by Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Ryukyu Region of Japan", *Aquatic Mammals*, 26(3): 202-211.
- Martínez Aguilar, S. (2008). "Un Modelo de Abundancia Absoluta de la Ballena Jorobada (*Megaptera novaeangliae*), en Aguas Adyacentes de las Islas del Archipiélago de Revillagigedo, México", *Tesis de Licenciatura*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 83 pp..
- Mednis, A. (1991). "An Acoustic Analysis of the 1988 Song of the Humpback Whale, *Megaptera novaeangliae*, off East Coast Australia", *Memoirs of the Queensland Museum* 30(2): 323-332.
- Medrano González, L. M. y J. Urbán Ramírez (2002). "La Ballena Jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en la Norma Oficial Mexicana 059-ECOL-1994, 2000. Ficha de la Especie, Categorización de Riesgo y Propuesta para un Plan Nacional de Investigación y Conservación", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Proyecto W024, CONABIO, Ciudad de México, México, 69 pp.

- Medrano-González, L., M. Salinas, I. Salas, P. Ladrón de Guevara y A. Aguayo (1994). "Sex Identification of Humpback Whales, *Megaptera novaeangliae*, on the Wintering Grounds of the Mexican Pacific Ocean", *Canadian Journal of Zoology*, 72(10): 1771-1774.
- Medrano-González, L., A. Aguayo-Lobo, J. Urbán-Ramírez, y C. S. Baker (1995). "Diversity and Distribution of Mitochondrial DNA Lineages among Humpback Whales, *Megaptera novaeangliae*, in the Mexican Pacific Ocean", *Canadian Journal of Zoology*, 73(9): 1735-1743.
- Medrano-González, L., C. S. Baker, M. R. Robles-Saavedra, J. Murrell, M. J. Vázquez-Cuevas, B. C. Congdon, J. M. Straley, J. Calambokidis, J. Urbán-Ramírez, L. Flórez-González, C. Olavarría-Barrera, A. Aguayo-Lobo, J. Nolasco-Soto, R. A. Juárez-Salas y K. Villavicencio-Llamosas (2001). "Trans-Oceanic Population Genetic Structure of Humpback Whales in the North and South Pacific", *Memoirs of the Queensland Museum*, 47(2): 465-479.
- Mercado III, E. y A. Kuh (1998). "Classification of Humpback Whale Vocalizations Using a Self-Organizing Neural Network", *Proceedings of the 1998 IEEE International Joint conference on Neural Networks*, 1584-1589.
- Mercado III, E., L. M. Herman y A. A. Pack (2003). "Stereotypical Sound Patterns in Humpback Whale Songs: Usage and Function", *Aquatic Mammals* 29(1): 37-52.
- Mikhalev, Y. A. (1997). "Humpback Whales *Megaptera novaeangliae* in the Arabian Sea", *Marine Ecology Progress Series*, 149: 13-21.
- Miksis-Olds, J. L., J. R. Buck, M. J. Noad, D. H. Cato y M. D. Stokes (2008). "Information Theory Analysis of Australian Humpback Whale Song." *Journal of the Acoustical Society of America*, 124(4): 2385-2393.
- Miller, P. J. O., N. Biassoni, A. Samuels, y P. L. Tyack (2000). "Whale Songs Lengthen in Response to Sonar", *Nature*, 405(6789): 903.
- Mobley, J. y L. M. Herman, (1985). "Transience of Social Affiliations among Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) on the Hawaiian Wintering Grounds", *Canadian Journal of Zoology*, 63(4): 762-772.
- Murray, S. O., E. Mercado y H. Roitblat (1998). "The Neural Network Classification of False Killer Whale (*Pseudorca crassidens*) Vocalizations", *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6): 3626-3633.
- Nishiwaki, M. (1966). "Distribution and Migration of the Larger Cetaceans in the North Pacific as Shown by Japanese Whaling Results", en *Whales, Dolphins and Porpoises*, University of California Press, Berkeley y Los Angeles, CA, EE. UU., pp. 171-191.
- Noad, M., D. H. Cato, M. M. Bryden, M. Jenner y K. C. S. Jenner (2000). "Cultural Evolution in Whale Songs", *Nature*, 408(6812): 537.
- Norris, T., M. Mc Donald y J. Barlow (1999). "Acoustic Detections of Singing Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Eastern North Pacific During their Northbound Migration", *Journal of the Acoustical Society of America*, 106 (1): 506-514.
- Ortega, G. F. y R. G. Sánchez (1985). "Xenolitos Plutónicos de Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo", *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, 6(1): 37-47.
- O'Shea, T. J. y S. Tanabe (2003). "Persistent Contaminants and Marine Mammals: A Retrospective View" en: *Toxicology of Marine Mammals* (Vos, J. G., G. D. Bossart, M. Fournier y T. O'Shea eds.), Taylor Francis, Londres, Gran Bretaña, pp. 99-134.
- Parsons, C. y S. Dolman (2004). "Noise as a Problem for Cetaceans" en *Oceans of Noise- A WDCS Science Report* (Simmonds, M. S. Dolman y L. Weilgart, eds.), Whale and Dolphin Conservation Society, Chippenham, Reino Unido, pp. 53-59.
- Payne, R. S. y S. McVay (1971). "Songs of Humpback Whales", *Science*, 173(3997): 585-597.
- Payne, K., P. Tyack y R. Payne (1983). "Progressive Changes in the Song of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*): A Detailed Analysis of Two Seasons in Hawaii", en *Communication and Behavior of Whales* (Payne, R. ed.), Westview, CO., EE. UU., pp. 9-57.

- Pounds, J. A., M. R. Bustamante, L. A. Coloma, J. A. Consuegra, M. P. L. Fogden, P. N. Foster, E. La Marca, K. L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S. R. Ron, G. Arturo Sánchez-Azofeifa, C. J. Still y B. E. Young (2006). "Widespread Amphibian Extinctions from Epidemic Disease Driven by Global Warming", *Nature*, 439: 161-167.
- Razafindrakoto, Y., H. C. Rosenbaum y D. A. Helweg (2001). "First Description of Humpback Whale Song from Antongil Bay, Madagascar", *Marine Mammal Science*, 17(1): 180-186.
- Rendell, L. E. y J. C. D. Gordon (1999). "Vocal Response of Long-finned Pilot Whales (*Globicephala melas*) to Military Sonar in the Ligurian Sea", *Marine Mammal Science*, 15(1): 198:204.
- Rendell, L. E. y H. Whitehead (2003). "Vocal Clans in Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*)", *Proceedings of the Royal Society of London B*, 270: 225-231.
- Richardson, W. J., C. R. Greene, C. I. Malme, D. H. Thomson (1995). *Marine Mammals and Noise*, Academic Press, San Diego, CA., EE. UU., 576 pp.
- Riebel, K. y P. J. B. Slater (2003). "Temporal Variation in Male Chaffinch Song Depends on the Singer and the Song Type", *Behavior*, 140(2): 269-288.
- Risch, D., C. Clark, P. J. Corkeron, A. Elepfandt, K. M. Kovacs, C. Lydersen, I. Stirling y S. M. van Parijs (2007). "Vocalizations of Male Bearded Seals *Erignathus barbatus*: Classification and Geographical Variation", *Animal Behaviour*, 73: 747-762.
- Rosales Nanduca, H. (2004). "Transiciones entre las Agrupaciones del Rorcual Jorobado (*Megaptera novaeangliae*) en el Pacífico Mexicano", *Tesis de Licenciatura*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 73 pp..
- Salinas Zacarías, M. (2000). "Estudio Comparativo del Sonido Emitido por los Machos del Rorcual Jorobado, *Megaptera novaeangliae*, durante el Invierno en Dos Áreas de Reproducción del Pacífico de México", *Tesis de Maestría*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 60 pp..
- Salinas Zacarías, M. A. y L. M. Bourillón Moreno (1988). "Taxonomía, Diversidad y Distribución de los Cetáceos de la Bahía de Banderas, México", *Tesis profesional*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 211 pp..
- Sanz, V. y A. Grajal (1998). "Successful Reintroduction of Captive-raised Yellow-shouldered Amazon Parrots on Margarita Island, Venezuela", *Conservation Biology* 12(3): 430-441.
- Satia, B. P. y D. M. Bartley (1997). "Introductions of Aquatic Organisms in Africa", *FAO Aquaculture Newsletter*, 17: 14-17.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006). "Instrumentos sobre Recursos Naturales", Informe de Labores, 2006, Ciudad de México, México, p. 83.
- Silber, G. K. (1986). "The Relationship of Social Vocalizations to Surface Behavior and Aggression in the Hawaiian Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*)", *Canadian Journal of Zoology*, 64(10): 2075-2080.
- Smith, W. J. (1991). "Singing is Based on Two Markedly Different Kinds of Signaling", *Journal of Theoretical Biology*, 152: 241-253.
- Smith Aguilar, S. E. (2007). "Competencia sexual entre machos de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en la Bahía de Banderas y alrededores de la Isla Socorro, México", *Tesis de Licenciatura*, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 137 pp..
- Suzuki, R., J. R. Buck y P. L. Tyack (2006). "Information Entropy of Humpback Whale Songs", *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(3): 1849-1866.
- Tanabe, S., H. Iwata y R. Tatsukawa (1994). "Global Contamination by Persistent Organochlorines and their Ecotoxicological Impact on Marine Mammals," *Science of the Total Environment*, 154: 163-177.
- Tyack, P. (1981). "Interactions between Singing Hawaiian Humpback Whales and Conspecifics nearby", *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8(2): 105-116.

- Tyack, P. (2006). "Communication of Toothed Whales and their Reaction to Seismic Noise" (Abstract), en: *Proceedings of the international Workshop on the Impacts of Seismic Survey Activities on Whales and Other Marine Biota, Dessau, September 6-7, 2006, Umwelt Bundes Amt, Dessau, Alemania*, p. 27.
- Tyack, P. L. y E. H. Miller (1999). "Vocal Anatomy, Acoustic Communication and Echolocation", en *Marine Mammal Biology* (Hoelzel, R., ed.), Blackwell Publishing, Oxford, Reino Unido, pp. 142-184.
- Urbán, J. y A. Aguayo (1987). "Spatial and Seasonal Distribution of the Humpback Whale *Megaptera novaeangliae*, in the Mexican Pacific", *Marine Mammal Science*, 3(4): 333-344.
- Urbán, J., C. Álvarez, M. Salinas, J. Jacobsen, K. C. Balacomb III, A. Jaramillo, P. Ladrón de Guevara y A. Aguayo (1999). "Population Size of the Humpback Whale, *Megaptera novaeangliae*, in Waters off the Pacific Coast of Mexico", *Fishery Bulletin*, 97(4): 1017-1024.
- Urbán, J., A. Jaramillo, A. Aguayo, P. Ladrón de Guevara, M. Salinas, C. Álvarez, L. Medrano, J. Jacobsen, K. C. Balcomb, D. E. Claridge, J. Calambokidis, G. H. Steiger, J. M. Straley, O. von Ziegesar, J. M. Waite, S. Mizroch, M. E. Dahlheim, J. D. Darling y C. S. Baker (2000). "Migratory Destinations of Humpback Whales Wintering in the Mexican Pacific", *Journal of Cetacean Research and Management*, 2(2): 101-110.
- Van Buskirk, J. (1997). "Independent Evolution of Song Structure and Note Structure in American Wood Warblers", *Proceedings of the Royal Society of London B*, 264: 755-761.
- Walker, A., R. Fisher y N. Mitsakakis (1996). "Singing Maps: Classification of Whalesong Units Using a Self-organizing Feature Mapping Algorithm", *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(4): 2644.
- Winn, H. E. y L. K. Winn (1978). "The Song of the Humpback Whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies", *Marine Biology*, 47(2): 97-114.
- Winn, H. E., T. J. Thompson, W. C. Cummings, J. Hain, J. Hudnall, H. Hays, y W. W. Steiner (1981). "Songs of the Humpback Whale, Population Comparisons," *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 8: 41-46.
- Wyrтки, K. (1965). "Surface Currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean." *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 9(5):271-304.

Anexo 1

Especificaciones técnicas del equipo utilizado para hacer las grabaciones del canto de la ballena jorobada que se analizaron en este trabajo. En todos los casos se utilizaron grabadoras analógicas, con excepción de las tres grabaciones que se mencionan en el texto donadas por Danielle Cholewiak, quien utilizó una grabadora digital (Marantz PMD670).

Grabadoras

Modelo	Frecuencias de respuesta	Intervalo dinámico
SONY TC-D5M	0.02-19 kHz (con cassettes tipoIV)	58 dB
SONY TCM-25DV	0.25-6.3 kHz	-
Radio Shack CTR 121	0.02-20 kHz	50 dB
Marantz PMD670	20 kHz (PCM 44.1 kHz)	86 dB

Hidrófonos

Modelo	Sensibilidad dB re 1V/μPa	Ganancia del pre-amplificador	Direccionalidad
BM214	-162.5 (0.02-100 kHz) \pm 2.5 (con pre-amplificador)	30dB	Omnidireccional en el plano horizontal
BM 8263-2	-160 (0.02-150kHz) \pm 2 (con pre-amplificador)	35dB	Omnidireccional en el plano horizontal
HTI-96-MIN2 y HTI-96-MIN3	-168.2 (0.02-30kHz) \pm ¿?	-	Omnidireccional
JJ1	-200 (0.1-20 kHz) \pm 13	-	Omnidireccional

Anexo 2

Descripción de las 81 sesiones de canto transcritas para este estudio. El nombre de cada sesión indica el lugar (BB = Bahía de Banderas e IS = Isla Socorro), el número de cinta y lado (por ejemplo, 1A) y la fecha (día, mes y año) en las que se hizo la grabación. Los guiones después de la fecha indican que hubo más de una sesión en la grabación y la letra C indica que se transcribieron sesiones de cantores distintos escuchados en una misma grabación. Los datos se presentan en 6 secciones correspondientes a cada lugar y año e incluyen el número de formas distintas de unidades (UD) y temas (TD) que se identificaron en cada sesión, además de la tasa de unidades y frases por minuto (U/min y F/min, respectivamente) y la cantidad de frases por tema (F/T). Al final de cada sección se presentan los totales, promedios y desviaciones estándar (D.E.). Las filas marcadas con gris son sesiones con una duración menor a los 15 minutos, que fueron eliminadas al hacer el análisis de la variación. Los valores acompañados de un asterisco indican el número de formas distintas de unidades y temas, encontrados en el total de las sesiones de canto. Éstos no equivalen a la suma de cada columna porque la mayoría de estas formas aparecieron en más de una sesión.

Bahía Banderas, 2003

SESIÓN	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
BB2A190103	0:47:27	714	16	272	47	9	15.0	5.7	5.8
BB3A210103	0:47:42	1099	15	326	35	11	23.0	6.8	9.3
BB3B230103	0:47:40	1164	17	382	46	10	24.4	8.0	8.3
BB4B280103	0:01:00	22	4	9	2	2	22.0	9.0	4.5
BB5A280103-C1	0:33:53	983	16	272	38	10	29.0	8.0	7.2
BB5A280103-C2	0:07:00	224	12	74	7	7	32.0	10.6	10.6
BB6A120203	0:47:10	835	16	319	51	12	17.7	6.8	6.3
BB6B120203	0:46:35	1039	17	349	38	10	22.3	7.5	9.2
BB8A240203	0:04:08	88	5	34	7	5	21.3	8.2	4.9
BB9A100303	0:30:33	683	17	241	31	12	22.4	7.9	7.8
Total	5:13:08	6,851	22*	2,278	302	15*	21.9	7.3	7.5
Promedio	0:31:19	685.1	13.5	227.8	30.2	8.8	22.9	7.9	7.4
D.E.	0:19:49	427.8	5.0	137.3	18.2	3.2	4.9	1.3	2.0

Bahía Banderas, 2004.

SESIÓN	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
BB2A280104	0:27:00	576	12	197	32	8	21.3	7.3	6.2
BB2B310104	0:34:55	718	14	223	27	7	20.8	6.4	8.3
BB3A120204	0:47:35	891	14	298	21	5	18.7	6.3	14.2
Total	1:49:30	2,185	16*	718	80	9*	20.0	6.6	9.0
Promedio	0:36:30	728.3	13.3	239.3	26.7	6.7	20.3	6.7	9.5
D.E.	0:10:23	157.8	1.2	52.4	5.5	1.5	1.4	0.6	4.2

Bahía Banderas, 2005.

SESIÓN	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
BB1A080205	0:48:29	956	16	303	34	9	19.7	6.2	8.9
BB1B110205	0:15:00	320	13	77	13	5	21.3	5.1	5.9
BB2A250205	0:05:21	124	11	27	3	3	23.2	5.0	9.0
Total	1:08:50	1,400	19*	407	50	11*	20.3	5.9	8.1
Promedio	0:22:57	466.7	13.3	135.7	16.7	5.7	21.4	5.5	7.9
D.E.	0:22:38	435.0	2.5	147.1	15.8	3.1	1.7	0.7	1.8

Isla Socorro, 2003.

SESIÓN	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
IS1A250203	0:40:40	938	16	321	51	5	23.1	7.9	6.3
IS1B070303	0:03:47	104	6	31	2	2	27.5	8.2	15.5
IS2A110303	0:35:00	870	21	292	72	11	24.9	8.3	4.1
IS2B120303	0:34:55	891	17	285	37	10	25.5	8.2	7.7
IS3A130303	0:27:58	755	8	266	33	5	27.0	9.5	8.1
IS3B170303	00:37:22	607	17	209	27	8	16.2	5.6	7.7
IS4A170303	0:46:24	1037	17	344	37	9	22.3	7.4	9.3
IS4B220303	0:48:40	833	14	353	19	6	17.1	7.3	18.6
IS5A240303	0:04:20	73	6	36	5	3	16.8	8.3	7.2
IS5B240303	0:48:10	946	14	397	47	12	19.6	8.2	8.4
Total	5:27:16	7,054	27*	2,534	330	17*	21.6	7.7	7.7
Promedio	0:32:44	705.4	13.6	253.4	33.0	7.1	22.0	7.9	9.3
D.E.	0:16:28	345.4	5.2	126.8	21.2	3.4	4.3	1.0	4.4

Isla Socorro, 2004.

SESIÓN	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
IS1A260104	0:47:19	1035	11	396	54	8	21.9	8.4	7.3
IS1B300104	0:46:17	926	14	351	36	8	20.0	7.6	9.8
IS2A080204-1	0:17:36	285	12	129	14	5	16.2	7.3	9.2
IS2A080204-2	0:29:40	538	14	223	22	7	18.1	7.5	10.1
IS2B080204	0:10:40	191	12	81	12	7	17.9	7.6	6.8
IS3A090204	0:19:11	352	10	144	14	4	18.3	7.5	10.3
IS3B090204	0:47:16	804	10	304	34	5	17.0	6.4	8.9
IS4A120204	0:34:30	607	11	240	27	5	17.6	7.0	8.9
IS5A130204	0:46:59	900	11	338	29	5	19.2	7.2	11.7
IS4B140204	0:46:44	806	9	338	30	7	17.2	7.2	11.3
IS6A140204	0:37:15	661	10	272	28	6	14.6	6.0	9.7
IS7A170204	0:47:13	824	9	345	27	5	22.1	9.3	12.8
IS5B180204	0:45:15	826	10	316	29	5	18.2	7.0	10.9
IS6B250204	0:45:16	952	11	349	37	7	20.2	7.4	9.4
IS7B260204-C1-1	0:27:44	453	11	189	14	5	16.3	6.8	13.5
IS7B260204-C1-2	0:09:13	176	7	86	7	4	19.1	9.3	12.3
IS7B260204-C2	0:41:38	807	11	315	37	6	19.4	7.6	8.5
IS8A280204	0:47:22	935	14	341	56	11	19.7	7.2	6.1
IS8B010304	0:37:34	590	11	242	28	10	15.7	6.4	8.6
IS9A070304-1	0:15:00	219	8	103	6	6	14.6	6.9	17.2
IS9A070304-2	0:06:20	141	8	47	7	5	22.3	7.4	6.7
IS9A070304-3	0:21:00	366	10	144	10	6	17.4	6.9	14.4
IS9B080304	0:47:02	832	10	336	43	6	17.7	7.1	7.8
IS10A130304-1	0:22:30	353	10	156	16	6	15.7	6.9	9.8
IS10A130304-2	0:25:00	405	11	170	18	5	16.2	6.8	9.4
IS11A170304	0:47:07	787	12	331	28	6	16.6	7.0	11.8
IS11B220304	0:47:07	902	17	302	32	7	19.1	6.4	9.4
IS10B290304	0:47:20	916	12	329	17	7	19.4	7.0	19.4
IS12A310304-1	0:12:35	204	10	92	11	6	16.2	7.3	8.4
IS12A310304-2	0:35:00	559	12	216	29	6	16.0	6.2	7.4
IS12B310304	0:47:00	796	12	330	41	6	16.9	7.0	8.0
IS13A070404-1	0:23:15	435	11	165	11	7	18.7	7.1	15.0
IS13A070404-2	0:23:50	398	10	148	6	4	16.7	6.2	24.7
IS13B120404-1	0:06:28	109	9	42	10	6	16.9	6.5	4.2
IS13B120404-2	0:08:00	102	8	56	9	4	12.8	7.0	6.2
IS14AB140404	0:48:16	889	11	318	33	5	18.4	6.6	9.6
IS15A160404	0:47:13	861	14	313	37	6	18.2	6.6	8.5
Total	20:14:45	21,942	23*	8,597	899	15*	18.1	7.1	9.6
Promedio	0:32:50	593.0	10.9	232.4	24.3	6.1	17.8	7.1	10.4
D.E.	0:15:30	292.5	2.0	107.0	13.4	1.5	2.1	0.7	3.9

Isla Socorro, 2005.

SESIÓN	DURACIÓN (h:min:s)	#UNIDADES	UD	#FRASES	#TEMAS	TD	U/min	F/min	F/T
IS1A090205	0:47:00	1024	17	321	38	10	21.8	6.8	8.4
IS1B150205-1	0:33:50	660	20	224	33	8	19.5	6.6	6.8
IS1B150205-2	0:13:18	228	14	92	8	7	17.1	6.9	11.5
IS2A180205	0:47:40	969	16	310	40	8	20.3	6.5	7.8
ISDC190205-1	0:44:55	965	18	277	48	12	21.5	6.2	5.8
ISDC190205-2	0:11:17	232	13	71	9	7	20.6	6.3	7.9
IS2B210205-1	0:07:12	125	9	45	6	5	17.4	6.3	7.5
IS2B210205-2	0:38:56	788	16	252	28	7	20.2	6.5	9.0
IS3A240205	0:06:56	138	15	44	5	5	19.9	6.3	8.8
IS3B260205	0:47:03	978	14	326	44	7	20.8	6.9	7.4
ISDC130305	0:32:59	627	18	201	27	7	19.0	6.1	7.4
IS4A170305	0:47:00	923	18	287	40	7	19.6	6.1	7.2
ISDC180305-1	0:12:14	230	16	73	9		18.8	6.0	8.1
ISDC180305-2	0:31:40	574	19	196	23	7	18.1	6.2	8.5
IS4B280305	0:47:04	884	16	293	50	8	18.8	6.2	5.9
IS5A290305	0:47:03	916	15	284	25	6	19.5	6.0	11.4
IS5B030405	0:47:04	882	15	278	27	6	18.7	5.9	10.3
IS6A120405	0:44:48	837	17	251	34	7	18.7	5.6	7.4
Total	10:07:59	11,980	30*	3,825	494	12*	19.7	6.3	7.7
Promedio	0:33:47	665.6	15.9	212.5	27.4	7.3	19.5	6.3	8.2
D.E.	0:15:59	327.7	2.5	101.1	14.9	1.7	1.3	0.4	1.6



The lies we tell about our duty and our purposes, the meaningless words of science and philosophy, are walls that topple before a bewildered little “why.” Finally, we learned to know why we did these things. The animals were very beautiful. Here was life from which we borrowed life and excitement. In other words, we did these things because it was pleasant to do them...

Each of them [Jesus, St. Augustine, St. Francis, Roger Bacon, Charles Darwin and Einstein] in his own tempo and with his own voice discovered and reaffirmed with astonishment the knowledge that all things are one thing and that one thing is all things -plankton, a shimmering phosphorescence on the sea and the spinning planets and an expanding universe, all bound together by the elastic string of time. It is advisable to look from tide pool to the stars and then back to the tide pool again.

-John Steinbeck, *The Log from the Sea of Cortez*-

Las mentiras que decimos sobre nuestro deber y nuestros propósitos, las palabras sin sentido de la ciencia y la filosofía, son muros que se derrumban frente a un apabullado y pequeño “porqué.” Finalmente, aprendimos a saber porqué hacíamos estas cosas. Los animales eran muy hermosos. Ahí teníamos vida de la cual tomábamos prestada vida y entusiasmo. En otras palabras, hacíamos estas cosas porque era placentero hacerlas...

Cada uno de ellos [Jesus, Sn. Agustín, Sn. Francisco, Roger Bacon, Charles Darwin y Einstein] con su propio tempo y con us propia voz descubrieron y reafirmaron con asombro el saber de que todas las cosas son una cosa y de que una cosa es todas las cosas -el plankton, una fosforescencia brillante en el mar y los planetas giratorios y un universo en expansión, todos unidos por el cordel elástico del tiempo. Es recomendable mirar de la poza de marea al cielo y de vuelta a la poza de marea.

-John Steinbeck, *La Bitácora del Mar de Cortez*-



Esta tesis se escribió utilizando software libre en una plataforma Linux.