



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



DISTINCIÓN DE CLANES DE CACHALOTE
(*Physeter macrocephalus*) EN EL GOLFO DE
CALIFORNIA, MEDIANTE COMPARACIÓN DE
REPERTORIOS DE CODAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

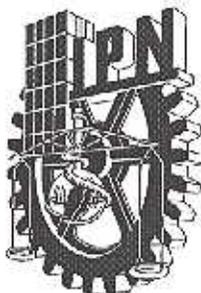
EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

ARMANDO MANOLO ÁLVAREZ TORRES

LA PAZ, B. C. S., JULIO DE 2006



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 08 del mes Junio del año 2006, el (la) que suscribe ARMANDO MANOLO ÁLVAREZ TORRES alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B041189 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DRA. NATHALIE JAQUET y cede los derechos del trabajo titulado: "DISTINCIÓN DE CLANES DE CACHALOTE (*Physeter macrocephalus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MEDIANTE COMPARACIÓN DE REPERTORIOS DE CODAS" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: armandomanolo@hotmail.com
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ARMANDO MANOLO ÁLVAREZ TORRES

nombre y firma



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 8 del mes de Junio del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"DISTINCIÓN DE CLANES DE CACHALOTE (*Physeter macrocephalus*) EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, MEDIANTE COMPARACIÓN DE REPERTORIOS DE CODAS"

Presentada por el alumno:

ALVAREZ
Apellido paterno

TORRES
materno

ARMANDO MANOLO
nombre(s)

Con registro:

B	0	4	1	1	8	9
---	---	---	---	---	---	---

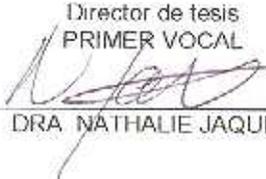
Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

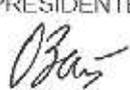
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL


DRA. NATHALIE JAQUET

PRESIDENTE


DR. OLEG ZAITSEV VIKTOROVICH

SECRETARIO


DR. VICTOR MANUEL GOMEZ MUÑOZ

SEGUNDO VOCAL


DRA. DIANE GENDRON LANIER
Co-Directora

TERCER VOCAL


DR. DAVID ALFARO SIQUEIROS BELTRONES

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE


CICIMAR

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Armando Álvarez Neyra y María Teresa Torres Peralta, mi abuela María de la Luz Neyra Granados y mi futura esposa Luzali Angélica Velderrain Algara.

Asimismo, dedico este trabajo a mis amigos Sergio Troyo Diéguez y Gabriela Prieto Azpiuazu.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) el apoyo financiero.

Agradezco a las Dras. Nathalie Jaquet y Diane Gendron su valiosa dirección, dedicación, apoyo incondicional, disposición, interés y entusiasmo.

Agradezco al Dr. Oleg Zaitsev su invaluable apoyo; así como su interesante curso sobre Física del Océano.

Agradezco al Dr. David Siqueiros Beltrones su orientación, tanto Apolínea como Dionisiaca, así como su recomendable curso sobre Filosofía de la Ciencia.

Agradezco al Dr. Víctor Gómez sus acertados comentarios.

Agradezco a Melisa Cruz Vizcaíno, Azucena Ugalde de la Cruz, Mariana Chávez Andrade, Marisol Rueda Flores, Gèraldine Rosalie Busquets Vass, Fabiola Janette Guerrero de la Rosa, Norma Angélica Flores Lozano, Isabel Contreras Arredondo, Natalia Marcela Espino Pérez, Christian Daniel Ortega Ortiz y Raúl Enrique Díaz Gamboa su compañerismo.

Agradezco a Dámaris López Medina, Shelley Salcedo Bojórquez y Manuel Peralta Bravo su camaradería.

Agradezco a Francisco Javier Álvarez Espinoza, Ciro Arista de la Rosa, Martín Cuevas Higuera y Manuel Antonio Zamarrón Núñez su gentileza en compartir su experiencia marítima.

Agradezco a Humberto Ceseña Amador su eficiencia y amabilidad.

Índice

GLOSARIO.....	v
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	4
JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVOS	9
Objetivo general	9
Objetivos particulares.....	9
MATERIAL Y MÉTODO	10
Búsqueda de cachalotes en vida libre	10
Grabación y edición de las codas	11
Asignación de codas a grupos, temporadas y áreas.....	16
Comparación de los repertorios	17
Clasificación de las codas: <i>Pruebas de K-promedios</i>	18
<i>Pruebas de K-promedios utilizando el VRC para determinar el número de grupos</i>	20
<i>Pruebas de K-promedios utilizando el criterio de Duda y Hart para determinar el número de grupos</i>	21
Comparación de los repertorios de codas entre grupos, temporadas y áreas: <i>Índice de similitud multidimensional</i>	24
RESULTADOS	26
<i>¿Cuántas codas se grabaron, de cuántos grupos y en qué sitios?</i>	26
<i>¿Cuántos tipos de coda se registraron en el Golfo de California?</i>	28
<i>¿El patrón de clasificación de las codas resultó independiente de la variante del método que se utilizó?</i>	28
<i>¿Qué tan diferentes fueron las frecuencias de los distintos tipos de coda entre los grupos de cachalote?</i>	30
<i>¿Hubo relación entre la duración de la grabación, el número de codas y el número de tipos de coda grabados por grupo de cachalote?</i>	31

<i>¿Cómo difieren los repertorios de codas grabados de distintos grupos de cachalote en el Golfo de California?</i>	33
<i>¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas grabados de distintos grupos de cachalote en el Golfo de California en temporadas distintas?</i>	36
<i>¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas grabados de distintos grupos de cachalote en el Golfo de California en diferentes áreas?</i>	37
<i>¿Dónde se localizaron los grupos pertenecientes a distintos clanes dentro del Golfo de California?</i>	41
DISCUSIÓN.....	43
Representatividad del muestreo	43
Repertorio de codas de cachalote en el Golfo de California	44
Distribución espacial y temporal de los clanes de cachalote en el Golfo de California	46
Validez y relevancia del estudio.....	48
Examen filosófico de las hipótesis	48
Relevancia; Enfoque epistemológico	50
Relevancia; Enfoque pragmático	51
CONCLUSIÓN	53
RECOMENDACIONES	54
LITERATURA CITADA.....	55
Apéndice 1.....	63
Apéndice 2.....	75
Apéndice 3.....	83
Apéndice 4.....	87

GLOSARIO

Clan: Animales que utilizan el mismo repertorio de codas.

Cultura: Información o comportamiento adquirido de conoespecíficos a través de alguna forma de aprendizaje social.

Direccionalidad (del sonido): Sector dentro del cual el pulso sónico no presenta valores por debajo de la mitad del valor máximo de su poder.

Grupo: Animales que se mueven de manera coordinada por periodos que van días a semanas.

Intensidad (del sonido): Energía que atraviesa una unidad de área en la dirección de la propagación del sonido por unidad de tiempo.

Interfase de audio: Aparato que convierte una señal analógica de audio en una señal digital.

Intervalo entre clicks: Tiempo que pasa entre el principio de un click y el principio del click siguiente.

Omnidireccional: Propiedad de un sensor que es capaz de registrar una señal acústica procedente de cualquier dirección.

Unidad: Animales que permanecen y se mueven juntos por periodos que van de años a décadas.

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio. La línea continua señala el límite del área de estudio, y la línea discontinua el límite del área donde se llevó a cabo la mayor parte del esfuerzo de búsqueda de cachalotes.

Figura 2. Secuencia de conexiones de los elementos del hidrófono omnidireccional que se utilizó en la grabación de las codas.

Figura 3. Ventana que muestra el programa Rainbow Click 3.01.0013 (Gillespie, 1997; Leaper *et al.*, 2000) en modo de detección. Cada sonido tipo click es representado como un círculo diferente en la ventana que presenta la dirección *versus* el tiempo, indicada con un recuadro rojo.

Figura 4. Ventana que muestra el programa Rainbow Click 3.01.0013 (Gillespie, 1997; Leaper *et al.*, 2000) en modo de identificación de ballenas. Los clicks que conforman secuencias estereotipadas de clicks están unidos con una línea roja que los identifica como parte de una coda en la ventana que presenta la dirección *versus* el tiempo, indicada con un recuadro rojo.

Figura 5. En el mapa se indican las tres áreas consideradas en la comparación espacial de los repertorios. El área A corresponde al sur de la Isla de San Pedro Mártir, el área B a la costa de la Península de Baja California y el área C a la costa de Sinaloa y Sonora.

Figura 6. Distribución de los sitios donde se realizaron grabaciones de grupos de cachalotes en el Golfo de California. Los círculos rojos señalan aquellos grupos con un tamaño de muestra aceptable (24 o más codas grabadas por grupo).

Figura 7. Distribución de grupos con 24 o más codas de acuerdo a la estacionalidad. Se indica con triángulos rojos la posición de grupos grabados en primavera 2002, con cruces azules en otoño 2002, y con círculos verdes en primavera 2003. Sólo el área sur de la Isla de San Pedro Mártir contó con grabaciones para las tres estaciones.

Figura 9. Relación entre la duración de la grabación y el número de tipos de coda grabados por grupos.

Figura 10. Relación entre el número de codas y el número de tipos de coda grabados por grupo.

Figura 11. Clasificación del repertorio de codas entre 7 grupos de cachalotes mediante un índice de similitud multidimensional, utilizando diferentes distancias y niveles de resolución del índice. El número que aparece arriba de cada separación indica el número de veces que la rama fue reproducida exactamente de un proceso de 100 re-muestreos.

Figura 12. Clasificación del repertorio de codas grabadas en tres diferentes temporadas mediante un índice de similitud multidimensional ($b=0.001$, distancia máxima absoluta). El número que aparece arriba de cada separación indica el número de veces que la rama fue reproducida exactamente de un proceso de 100 remuestreos.

Figura 13. Clasificación del repertorio de codas grabadas en tres diferentes áreas, el sur de la Isla de San Pedro Mártir (SSPM), la costa de la Península de Baja California (CPBC) y la Costa de Sinaloa y Sonora (CSS), mediante un índice de similitud multidimensional, utilizando diferentes tipos de distancia y niveles de resolución del índice (b). El número que aparece arriba de cada separación indica el número de veces que la rama fue reproducida exactamente de un proceso de 100 re-muestreos.

Figura 14. Distribución de los clanes grabados en el Golfo de California. Cada símbolo representa la posición de un grupo de cachalotes (7 grupos). El clan A se indica con un recuadro rojo, el clan B con un triángulo verde y el clan C con cruces azules.

Lista de tablas

Tabla I. Información sobre las grabaciones de 15 grupos de cachalotes grabados en el Golfo de California en tres temporadas. Solo aquellas codas grabadas de grupos señalados con un asterisco se consideraron en el análisis numérico.

Tabla II. Distintas frecuencias de tipos de coda obtenidas a partir de 8 variantes diferentes del método de clasificación basado en pruebas K-promedios con el criterio de Duda y Hart para determinar el número de grupos ($\alpha= 0.05$). Se consideró distintos tipos de distancia; número de iteraciones y tipos de variable. Se indica entre paréntesis el número total de tipos de coda obtenido para cada variante del método, y en el caso de la última columna, el número total de codas grabadas.

RESUMEN

En el Golfo de California (GoC) los cachalotes (*Physeter macrocephalus*) se presentan durante todo el año. Sin embargo, estudios con base en foto-identificación y exámenes de ácidos grasos sugieren que en la parte central del GoC, nuestra área de estudio principal, diferentes grupos de cachalotes frecuentan el área en primavera y otoño. Para conocer si distintos clanes frecuentan el GoC en primavera y otoño, se examinó la variación espacial y estacional del repertorio de codas grabadas entre tres temporadas, primavera 2002, otoño 2002 y primavera 2003. Los clanes son grupos de cachalotes que comparten un mismo repertorio de codas. Los datos se tomaron utilizando técnicas estándar de foto-identificación y grabación de sonidos emitidos por cachalotes. Las codas fueron extraídas de las grabaciones con el programa Rainbow Click. Los repertorios de codas se compararon de dos maneras, clasificando las codas en tipos mediante pruebas de k-promedios, y comparando los repertorios entre temporadas, áreas y grupos, mediante un índice de similitud multidimensional. Se grabaron 509 codas de 15 grupos de cachalotes, 120 en primavera 2002, 304 en otoño 2002, y 85 en primavera 2003; se clasificaron 401 codas en 278 tipos. La similitud más alta entre las áreas se presentó entre los cachalotes grabados al sur de la Isla de San Pedro Mártir y la costa de la Península de Baja California, y entre estaciones entre primavera 2002 y otoño 2002. El patrón de similitud entre siete grupos de cachalote sugiere la existencia de al menos tres clanes en el GoC. Considerando que el tamaño de muestra no es suficiente para todas las áreas durante las tres temporadas, no se generaliza el patrón de similitud espacial y temporal entre repertorios de codas. Sin embargo, este patrón de distribución, i.e., tres clanes simpátricos que frecuentan un área muy productiva, la parte central del GoC, es similar al patrón descrito para los clanes de cachalote en Galápagos. Esto se considera como evidencia de que, al menos tres clanes, frecuentaron el GoC durante el periodo de estudio, de que diferentes grupos de un mismo clan frecuentaron el GoC en diferentes temporadas de un mismo año, y de que más de un clan frecuentó una misma área.

ABSTRACT

Sperm whales are present year round in the Gulf of California (GoC). However, in the Central GoC, our main study area, photo-identification and fatty acid studies suggested that different individuals may frequent the area in spring and fall. To investigate whether different clans (groups of whales that share the same coda repertoire) are present in the GoC in spring and fall, I examined seasonal and spatial variations in coda repertoires among spring 2002, fall 2002, and spring 2003. Data were collected using standard techniques of photo-identification and recording. Codas were extracted using Rainbow Click software. Comparison of coda repertoires was made by classifying codas into types through k-means algorithms and by comparing coda repertoires among seasons, areas and groups using a multivariate similarity measure. Five hundred and nine codas were recorded from 15 sperm whale's groups, 120 in spring 2002, 304 in fall 2002, and 85 in spring 2003. Codas were classified in 278 types. The highest similarity in repertoires among areas was between whales recorded south of San Pedro Martir and along the coast of the Baja California Peninsula and among seasons between spring 2002 and Fall 2002. The similarity in repertoires among 7 groups suggested the existence of three clans in the GoC. Since sample size did not cover all areas for every season, it is not yet possible to generalize about seasonal and spatial similarity of coda repertoires. However, there are strong evidences that at least three clans frequented the GoC during the study period, that different groups of the same clan can be present in different seasons of the same year, and in different areas during the same season. This pattern of three sympatric clans sharing a very productive area such as the central GoC is very similar to the pattern described for clans in Galapagos.

INTRODUCCIÓN

El cachalote (*Physeter macrocephalus*) presenta características extremas dentro del reino animal (Whitehead, 2003a). Es el más grande de los odontocetos vivos (Berta y Sumich, 1999), presenta el mayor grado de dimorfismo sexual entre los cetáceos y posee el cerebro más pesado. Además, es una de las especies más ampliamente distribuida en el planeta (Rice, 1989; Whitehead, 2003a). Se encuentra en todos los océanos, desde el Ecuador hasta los límites del hielo polar (Reeves *et al.*, 2002). Las hembras y jóvenes habitan aguas cálidas en latitudes no mayores a los 40° en ambos hemisferios (excepto en el Pacífico Norte donde el límite de su distribución alcanza los 50° N). En cambio, los machos adultos migran hacia aguas más frías, cerca de los límites del hielo polar en ambos hemisferios, y regresan hacia aguas más cálidas para la reproducción (Best, 1979; Rice, 1989; Bonner, 2002).

Los cachalotes son depredadores mesopelágicos que normalmente no se encuentran en aguas con profundidad menor a los 1,000 m (Whitehead y Weilgart, 2000). Su dieta está constituida principalmente por calamares meso y batipelágicos (Kawakami, 1980; Whitehead, 2003a). Los cachalotes pasan la mayor parte de su tiempo en aguas oscuras y profundas, donde el uso del sonido es esencial para su comunicación, la navegación, y detección de sus presas.

El repertorio de sonidos producidos por los cachalotes está compuesto principalmente por diferentes tipos de clicks, i.e., impulsos vocales de banda ancha con un espectro de energía que se detecta entre los 2 KHz (Backus y Shevill, 1966) y los 25 KHz (Madsen *et al.*, 2002), una intensidad mayor que 223 dB en referencia a 1 μ Pa (Mohl *et al.*, 2000), así como una estructura compuesta de múltiples pulsos (Norris y Harvey, 1972). Los clicks de cachalote se clasifican en cuatro categorías: clicks normales, trenes de clicks, clicks lentos y codas. Las cuatro categorías se pueden distinguir con base en los intervalos de tiempo entre clicks característicos; aunque también presentan

distintos niveles de intensidad, de direccionalidad y de frecuencia. Las codas son secuencias cortas y estereotipadas de 3 a 40 clicks de banda ancha, que normalmente duran hasta 3 segundos (Watkins y Schevill, 1977). Se caracterizan por presentar una intensidad de 180 dB re 1 μ Pa, baja direccionalidad, frecuencias de 5 KHz, duración de 35 ms, una duración del pulso de 0.5 ms, e intervalos de tiempo entre clicks que van de los 0.1 a los 0.5s (Madsen *et al.*, 2002; Whitehead, 2003a).

Las codas se escuchan principalmente en presencia de grupos de hembras y jóvenes durante la socialización (Whitehead y Weilgart, 1991). La función principal que se ha inferido sobre el uso de las codas es el de la comunicación entre los cachalotes (Whitehead, 2003a). De acuerdo con Whitehead y Weilgart (2000) y Whitehead (2003b), los cachalotes presentan una sociedad y una cultura muy complejas, con diferentes niveles de organización. Las hembras y los jóvenes viven en *unidades* sociales estables, integradas por conjuntos de 10 a 12 individuos que pueden albergar varias líneas matriarcales, donde los individuos que las conforman mantienen una estrecha relación que dura entre años y décadas (Christal *et al.*, 1998; Whitehead y Weilgart, 2000; Whitehead, 2003a). En torno a estas *unidades* existen evidencias de cooperación entre individuos, asistencia a críos (Whitehead, 1996) y defensa contra depredadores (Pitman y Chivers, 1999).

El siguiente nivel de organización social entre los cachalotes es el llamado *grupo* social. Un *grupo* social se compone de dos o más *unidades* sociales que coordinan sus movimientos durante días (Whitehead, 2003a). No se conocen *grupos* o *unidades* sociales en machos adultos, con excepción de ciertas agregaciones ocasionales donde los machos coordinan sus movimientos (Lettevall *et al.*, 2002).

El nivel de organización social jerárquica más alto que se conoce entre los cachalotes es el clan. Un clan está integrado por animales que comparten un mismo repertorio de codas. El repertorio de codas de un clan representa un dialecto compartido por varios *grupos* sociales (Rendell y Whitehead, 2003a; Whitehead, 2003a). Anterior al descubrimiento de los clanes de cachalote, la

existencia de dialectos en cetáceos solo se había registrado para una comunidad de orcas (*Orcinus orcas*) en las costas de British Columbia (Ford, 1989, 1991).

Dentro de un mismo océano, la estructura de la población de cachalotes está dictada por la presencia de clanes simpátricos que probablemente sean determinados culturalmente (Rendell y Whitehead, 2003a).

El estudio de los repertorios de codas, así como otras evidencias sobre comportamientos determinados culturalmente en otras especies como las orcas (*Orcinus orca*), el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), fueron parte de una extensa argumentación para demostrar la existencia de cultura en ballenas y delfines (Rendell y Whitehead, 2001). En la actualidad, dado que las técnicas para comparar los repertorios de codas ya han sido bien descritas (Rendell y Whitehead, 2003b), y que gracias a ello, se ha demostrado que los grupos y unidades de cachalotes pueden ser asignados adecuadamente en clanes, al menos en el Pacífico Sur y el Caribe (Rendell y Whitehead, 2003a), se puede decir que la importancia del factor cultural en la biología poblacional de esta especie ha sido puesta de manifiesto (Rendell y Whitehead, 2003a).

Para el Golfo de California no existen estudios previos sobre el repertorio de codas de cachalote. Esta investigación representa el primer esfuerzo dirigido a describir el repertorio de codas de cachalote en esta área y determinar si distintos clanes frecuentan la zona. Para ello, se puso a prueba la hipótesis de que distintos clanes de cachalote se encuentran en el Golfo de California dependiendo de la estación o el área, mismos que exhibirán distintos repertorios de codas que permitirían su discriminación.

ANTECEDENTES

El conocimiento sobre la estructura social de los cachalotes ha mejorado considerablemente en las últimas tres décadas. Esto se debe a una serie de investigaciones que se han llevado a cabo mediante técnicas de estudio no invasivas que han remplazado gradualmente las técnicas utilizadas durante la caza de ballenas. Dichos estudios tuvieron dos propósitos principales: determinar la estructura de edad y sexo de los grupos, y describir el patrón de distribución y abundancia de los cachalotes. Los primeros registros sobre segregación de machos, existencia de grupos de machos, distribución tropical y subtropical de grupos mixtos, así como migración de los machos a latitudes altas datan de tal época (Best, 1979).

Antes de la década de los noventa, se aceptaba que la estructura social del cachalote seguía el modelo de “harem”, en el que solo unos pocos machos se aparean con muchas hembras (Best, 1979). Sin embargo, esta concepción era errónea y trajo consigo consecuencias desastrosas para la población de cachalotes, ya que dicho modelo suponía que la caza de los machos más grandes no mermaba el éxito reproductivo de las hembras.

Recientemente, estudios más detallados han descrito de mejor manera la estructura social de los cachalotes. Actualmente, la sociedad de los cachalotes se concibe compuesta de hembras muy sociales y machos que visitan grupos de hembras para aparearse (Whitehead y Weilgart, 2000).

El propósito de la mayoría de los estudios sobre los cachalotes, incluyendo aquellos sobre su estructura social, fue determinar “stocks” o “subpoblaciones” para su aprovechamiento (caza). Los cachalotes ya no son cazados legalmente, sin embargo la determinación de subpoblaciones sigue siendo un asunto importante para su conservación. Uno de los enfoques más utilizados para determinar subpoblaciones dentro de una población, es mediante el estudio de las diferencias genéticas entre individuos localizados en distintas áreas.

Aunque esta técnica ha tenido éxito con varias especies, los cachalotes de un mismo océano no presentan diferencias claras en el ADN mitocondrial (Dillon, 1996), lo cual sugiere que la población es homogénea a esta escala. Sin embargo, estudios recientes sobre el comportamiento acústico de los cachalotes, específicamente sobre el repertorio de codas, han mostrado la existencia de un nivel de organización social entre los cachalotes que podría ser utilizado como criterio para la determinación de subpoblaciones utilizable en su conservación: el clan.

La primera descripción de coda nos dice que son secuencias cortas, irregulares y estereotipadas de clicks que se repiten muchas veces en un periodo de pocas decenas de segundos, cuya función probable es la comunicación social entre los cachalotes (Backus y Shevill, 1966). Con el tiempo, se han generado descripciones cada vez más detalladas sobre lo que es una coda. En la actualidad, la descripción más reconocida es de Watkins y Schevill (1977), quienes definen una coda como una secuencia estereotipada compuesta por 3 a 40 clicks, que dura normalmente menos de 3 segundos.

La idea de que las codas son utilizadas por los cachalotes para comunicarse fue reforzada por Whitehead y Weilgart (1991), quienes encontraron una correlación significativa entre la producción de codas y diversas variables que definen el comportamiento social. En un inicio, algunos investigadores sugirieron la hipótesis de que la función de las codas era la identificación individual (Watkins y Schevill, 1977); sin embargo, se observó que los patrones de codas son compartidos por diferentes individuos, lo cual sugiere otra función (Moore *et al.*, 1993). Un mayor entendimiento acerca de la probable función de las codas vino a partir del estudio de Weilgart y Whitehead (1997), quienes encontraron evidencias sobre la existencia de dialectos específicos en ciertos grupos de cachalotes del Pacífico Sur, sin que estos dialectos presentaran una variación geográfica considerable. Más adelante, Whitehead *et al.* (1998) encontraron que el repertorio de codas estaba correlacionado con el haplotipo mitocondrial y con los patrones de marcas en la aleta caudal, nuevamente sin separación geográfica evidente. Por ello, sugirieron que la estructura de la

población de cachalotes en el Pacífico Sur no está separada geográficamente, y que el repertorio de codas, así como las técnicas de defensa contra depredadores, probablemente se adquieran por línea materna y culturalmente (Whitehead *et al.*, 1998).

Las investigaciones más recientes que, de alguna manera, se relacionan con el estudio de las codas se han enfocado a estudiar principalmente cinco temas: a) el valor adaptativo que representa pertenecer a un cierto clan (Whitehead y Rendell, 2004), b) el papel que juega la cultura en la conservación de los cetáceos, c) el uso y función de las codas, d) la comprensión de los procesos que determinan la evolución y el uso de los dialectos en los cachalotes, y e) la posibilidad de que se presente intercambio genético entre miembros de diferentes clanes (Rendell *et al.*, 2005)

Sobre la función de las codas, Rendell y Whitehead (2004) encontraron que las codas grabadas de una unidad social representan un repertorio compartido, ya que la producción de codas no está limitada a un solo animal y a que varios tipos de coda son compartidos por diferentes individuos. En un estudio posterior, los mismos autores realizaron experimentos de tipo “*play back*” con el propósito de entender de mejor manera cual es la función de las codas (Rendell y Whitehead, 2005a). Este tipo de experimentos consiste en reproducir sonidos grabados previamente en presencia de individuos o grupos con el propósito de observar su reacción. Hasta el momento no se ha encontrado indicio de una mayor respuesta de los grupos de cachalotes hacia los sonidos grabados de miembros de su mismo clan.

Los estudios sobre los procesos que determinan la evolución y el uso de los dialectos se han llevado a cabo mediante comparaciones espaciales y temporales del repertorio de codas dentro de un mismo clan (Rendell y Whitehead, 2005b). Se ha encontrado que los repertorios de codas representan dialectos locales que presentan poca variación geográfica y un uso estable a través del tiempo.

Es importante señalar que hasta la fecha, la mayoría de las tesis sobre la función, evolución e implicaciones de los repertorios de codas han sido desarrolladas a partir de los estudios de la población de cachalotes del Pacífico Sur y el Caribe, especialmente del área cercana a las Islas Galápagos.

Sólo en tiempos recientes se ha comenzado a estudiar el repertorio de codas de cachalote en otras áreas como el Mediterráneo (Pavan *et al.*, 2000). Sin embargo, estos estudios no aportan ninguna teoría sobre la distribución espacial y temporal de los clanes.

En el Golfo de California, los cachalotes se han comenzado a estudiar más a fondo desde 1996 (Gendron, comunicación personal ^{*1}) y se ha observado que: se encuentran todo el año en la zona (Gendron, 2000), que su distribución (Jaquet y Gendron, 2002), sus movimientos, y su comportamiento varían en función de los posibles cambios en la abundancia de su alimento (Jaquet *et al.*, 2003). Asimismo, se han registrado re-capturas fotográficas entre individuos avistados en el Golfo de California y las Islas Galápagos (Jaquet *et al.*, 2003); relación trófica entre los cachalotes estudiados en la zona y el calamar gigante *Dosidicus gigas* (Ruiz-Cooley *et al.*, 2004), así como dos subpoblaciones de cachalotes identificadas mediante sus perfiles de ácidos grasos (Cruz-Vizcaíno, 2005). Por otra parte, existe una probable diferenciación en los cachalotes según el patrón de marcas de la aleta caudal (Zavala-Hernández *et al.*, 2004) que no se relaciona con la estacionalidad (Guerrero-De-La-Rosa, 2006). Además, hay pocas foto-recapturas entre primaveras y otoños, lo cual sugiere una segregación estacional de individuos (Jaquet, comunicación personal ^{*2}). Sin embargo, a la fecha, éste es el primer estudio sobre el repertorio de codas de *P. macrocephalus* en el Golfo de California. En este sentido, la distinción de clanes de cachalote en el Golfo de California mediante la determinación del repertorio de codas contribuirá a definir más claramente si las subpoblaciones de cachalote en la zona presentan una segregación temporal o espacial.

* ¹ Gendron, Diane. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. A. P. 592, La Paz, Baja California Sur. México. C. P. 23000.

* ² Jaquet, Nathalie. Center for Coastal Studies, 59 Commercial Street, Provincetown, MA, 02657, USA

JUSTIFICACIÓN

La diferenciación de una población en subpoblaciones es una estrategia básica utilizada en la conservación de muchas especies. En cachalotes, el enfoque genetista clásico utilizado para determinar subpoblaciones ha fallado al momento de intentar diferenciarlas dentro de un mismo océano (Dillon, 1996). Sin embargo, estudios recientes sobre el comportamiento acústico de esta especie han mostrado que la población entera del Pacífico Sur puede ser dividida en 5 clanes simpátricos con base en sus repertorios de codas (Rendell y Whitehead, 2003a). Cada clan prepresenta una serie de estrategias adaptativas relacionadas con la defensa contra depredadores, movimientos y comportamiento alimentario característicos (Whitehead *et al.*, 1998; Whitehead y Rendell, 2004). Así, los clanes pueden ser considerados como unidades evolutivas de referencia para la conservación (Whitehead *et al.*, 2004).

A pesar de que se encuentran distribuidos en todos los océanos (Rice, 1989), el patrón de distribución de los clanes sólo ha sido descrito para el Pacífico Sur (Rendell y Whitehead, 2003a). En el Golfo de California no hay estudios encaminados a conocer si distintos clanes de cachalote frecuentan el área, a pesar de que esta zona se considera de importancia para la reproducción de la especie (Jaquet *et al.*, 2003). Por esta razón, una mejor comprensión sobre la posible existencia de uno o varios clanes de cachalote en el Golfo de California contribuiría a mejorar la conservación de esta especie en una escala mayor.

OBJETIVOS

Objetivo general

Inferir si distintos clanes de cachalote frecuentan el Golfo de California, México.

Objetivos particulares

Describir el repertorio de codas de cachalote grabadas en el Golfo de California.

Determinar si los diferentes grupos de *Physeter macrocephalus* identificados corresponden a clanes distintos.

Determinar si los clanes de *Physeter macrocephalus* presentan una segregación espacial dentro del Golfo de California.

Determinar si los clanes de *Physeter macrocephalus* presentan una segregación temporal dentro del Golfo de California.

MATERIAL Y MÉTODO

Búsqueda de cachalotes en vida libre

Las codas de cachalote se grabaron durante tres temporadas de campo en el Golfo de California (desde los 24° 20' N, hasta los 28° 30' N), a bordo del velero de 42 pies "*R/V Adia*" en Mayo 2002 y Abril-Mayo 2003, y abordo de la embarcación de 8 metros "*R/V CICIMAR-XV*" en Octubre-Noviembre 2002.

Se realizó una búsqueda no sistemática de cachalotes durante las horas de luz en la "*R/V CICIMAR-XV*" y durante las 24 horas en el "*R/V Adia*", cubriendo por completo el área de estudio; aunque con mayor esfuerzo de búsqueda en el área localizada entre la Isla Tortuga y la Isla de San Pedro Mártir (Fig. 1). Los cachalotes fueron localizados acústicamente, escuchando a través de un hidrófono omnidireccional estéreo de dos elementos, con 100 m de cable y un rango de detección que va de los 10 a los 15 kilómetros, en busca de clicks característicos de la especie (Backus y Shevill, 1966). La embarcación fue detenida una vez cada hora para escuchar detenidamente durante 2 a 5 minutos, sin la interferencia del ruido producido por el motor. Una vez que los clicks eran escuchados, los cachalotes se siguieron visualmente utilizando un hidrófono direccional para determinar la dirección de donde procedían los clicks. Normalmente, sólo un grupo de cachalotes fue seguido por cada día. Las grabaciones se realizaron en presencia de grupos de hembras y jóvenes durante la socialización.

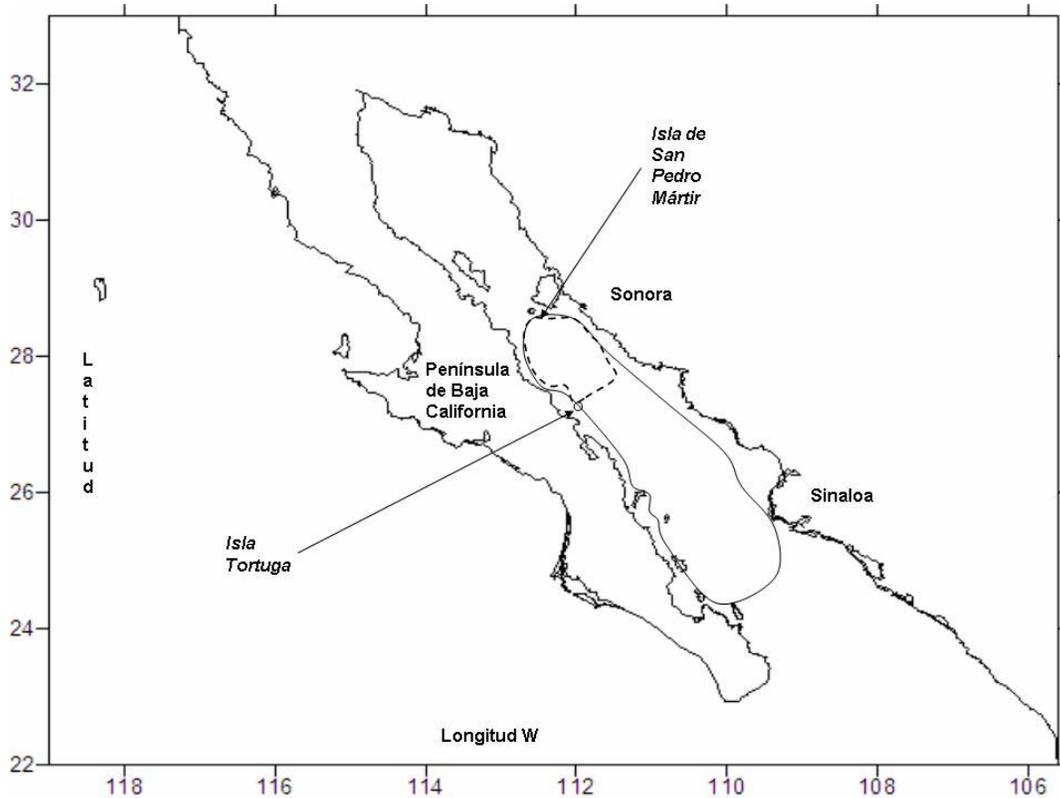


Figura 1. Área de estudio. La línea continua señala el límite del área de estudio, y la línea discontinua el límite del área donde se llevó a cabo la mayor parte del esfuerzo de búsqueda de cachalotes.

Grabación y edición de las codas

La grabación de las codas se realizó utilizando un hidrófono omnidireccional Benthos AQ-4 (frecuencia de respuesta de 20 Hz a 60 KHz, ± 3 dB) de dos elementos. Cada elemento fue colocado a tres metros de distancia uno del otro dentro de un tubo lleno de aceite. Cada elemento fue conectado a un preamplificador Magrec HP-01 y después a una grabadora tipo DAT Casio D7 mediante un amplificador HP/27ST (Fig. 2). El filtro fue ajustado en todas las ocasiones a 500 Hz. Las grabaciones se digitalizaron en una computadora mediante una interfase de audio ESI Wave-terminal U24, utilizando el programa Cool Edit Ver. 2.

Todas las grabaciones se digitalizaron en modo estéreo, con 16 bits de resolución y con una tasa de muestreo de 44.1 KHz. Se midió el intervalo de tiempo entre clicks de las codas (el tiempo que pasa entre el principio de un click y el principio del siguiente click) mediante el análisis de los archivos PCM (WAV) (Pulse Code Modulation) con Rainbow Click 3.01.0013, programa diseñado *ex profeso* para el análisis de los sonidos de cachalote (Gillespie, 1997; Leaper *et al.*, 2000), disponible en <http://www.ifaw.org/> de la IFAW. Se utilizó el programa Rainbow Click en dos modos de operación, el modo de detección y el modo de identificación de ballenas. Durante el modo de detección (Fig. 3), el programa escaneó automáticamente la fuente original de datos, en este caso los archivos PCM (WAV), en busca de sonidos tipo click. Para ello, Rainbow Click utiliza diferentes niveles de filtración. Aunque los niveles de filtración de Rainbow Click pueden ser ajustados por el usuario; en nuestro estudio se utilizaron solo los niveles predeterminados por el programa. De esta manera, los clicks fueron extraídos de los archivos PCM (WAV), desplegados en una pantalla y guardados en forma de archivos de Rainbow Click (CLK) para su posterior examen en modo de identificación de ballenas (Fig. 4). En este modo, los clicks previamente detectados y guardados en archivos (CLK), fueron desplegados en la pantalla. Así, se re-escucharon los archivos (CLK) y se detectaron y señalaron como codas, las secuencias estereotipadas de clicks. Aquellos archivos (CLK) que presentaron niveles altos de ruido ambiental o aglomeración de clicks en cercanía de codas, fueron desechados. Una vez que todas las codas fueron detectadas, se guardó la información correspondiente a los intervalos de tiempo entre clicks (ICI) de las codas en archivos de texto (TXT) para su posterior análisis.

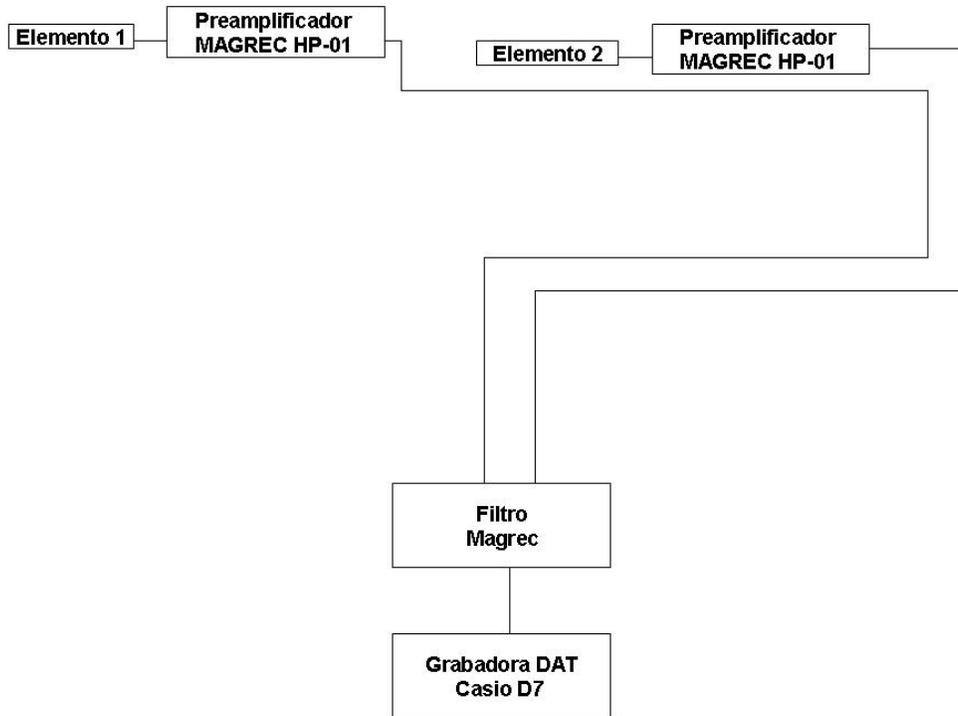


Figura 2. Secuencia de conexiones de los elementos del hidrófono omnidireccional que se utilizó en la grabación de las codas.

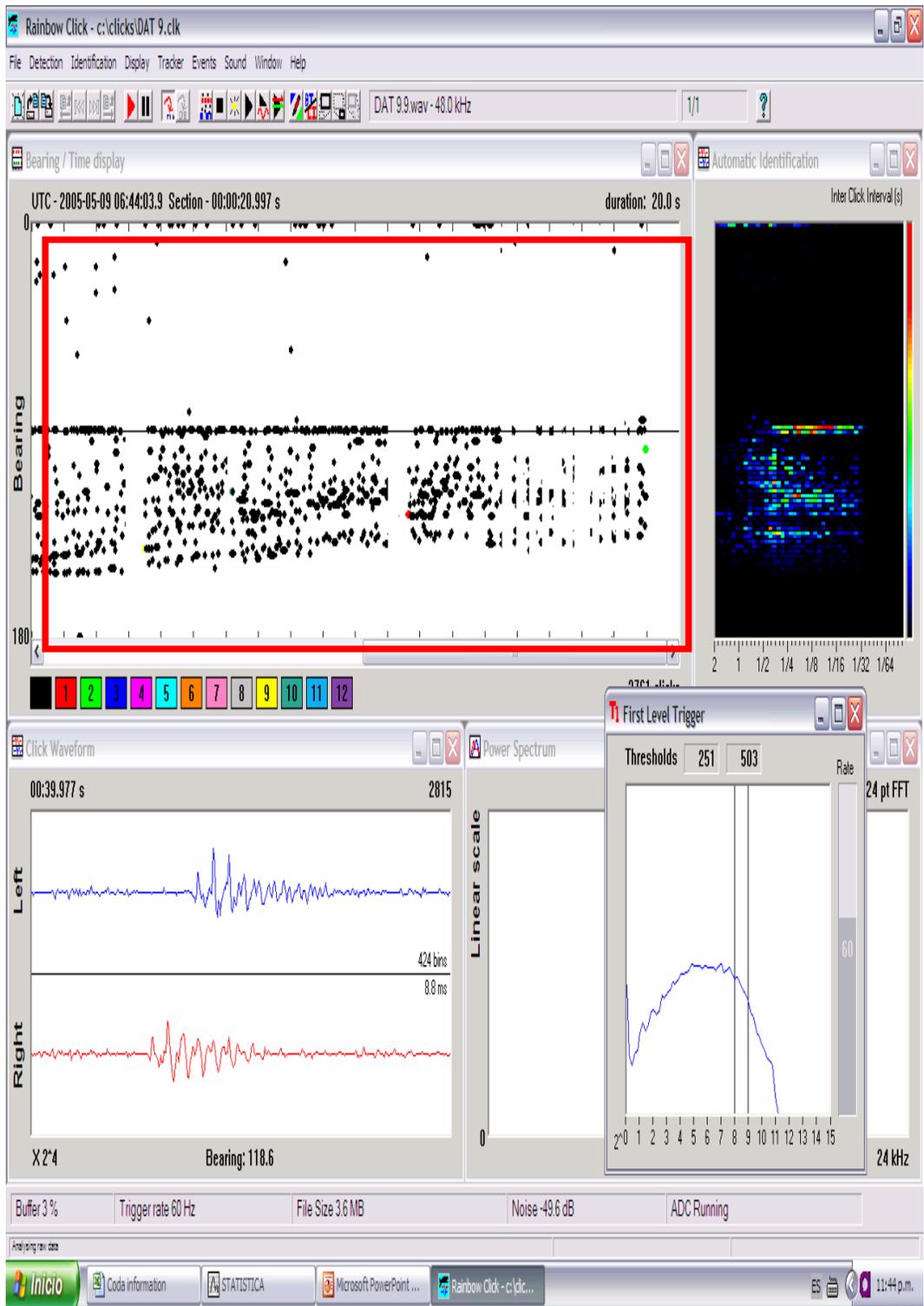


Figura 3. Ventana que muestra el programa Rainbow Click 3.01.0013 (Gillespie, 1997; Leaper *et al.*, 2000) en modo de detección. Cada sonido tipo click es representado como un círculo diferente en la ventana que presenta la dirección *versus* el tiempo, indicada con un recuadro rojo.

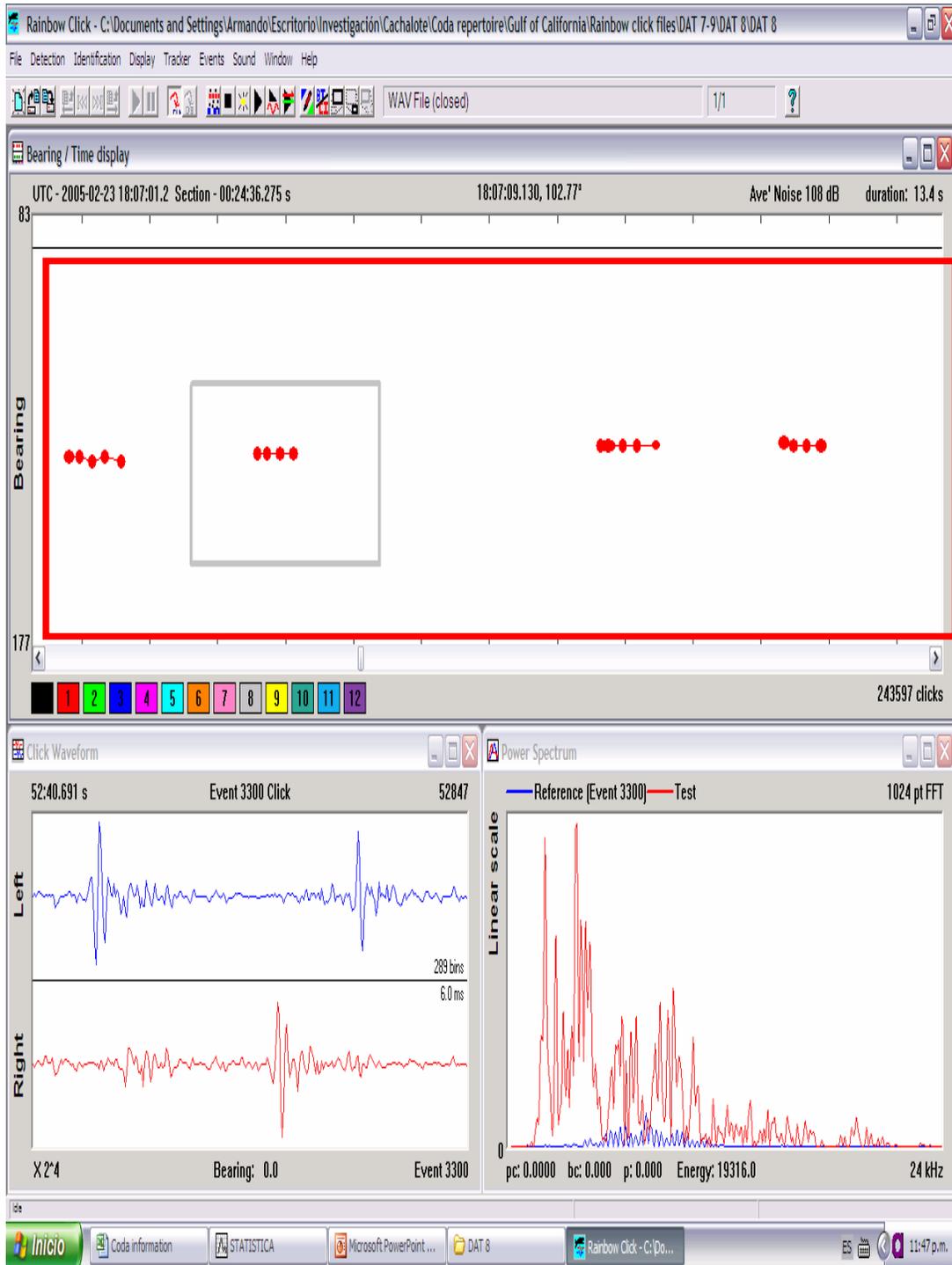


Figura 4. Ventana que muestra el programa Rainbow Click 3.01.0013 (Gillespie, 1997; Leaper *et al.*, 2000) en modo de identificación de ballenas. Los clicks que conforman secuencias estereotipadas de clicks están unidos con una línea roja que los identifica como parte de una coda en la ventana que presenta la dirección *versus* el tiempo, indicada con un recuadro rojo.

Asignación de codas a grupos, temporadas y áreas

Para comparar los repertorios de codas entre grupos de cachalotes, se asignaron las grabaciones a grupos de individuos previamente foto-identificados. En la foto-identificación solo se consideraron fotografías de buena calidad siguiendo el criterio de $Q \geq 3$ (Arnbom, 1987) y las sugerencias de Dufault y Whitehead (1993). El valor de Q es un indicador de la calidad de la imagen en términos de enfoque, contraste, tamaño y orientación de la aleta en la imagen, que va de $Q = 1$, para fotografías difícilmente utilizables, hasta $Q = 5$, para imágenes de excelente calidad. Las codas grabadas durante un mismo día se consideraron como provenientes de un mismo grupo (Rendell y Whitehead, 2003a). Las codas grabadas en dos días diferentes se consideraron del mismo grupo sólo cuando el número de individuos recapturados entre los días fue mayor a un valor crítico de acuerdo con la siguiente fórmula propuesta por Weilgart y Whitehead (1997) y utilizada por Rendell y Whitehead (2003a).

$$m_{ab} \geq \frac{\min(n_a, n_b)}{2}$$

Donde

m_{ab} es el número de individuos foto-identificados en ambos días.

n_a es el número de individuos foto-identificados el primer día.

n_b es el número de individuos foto-identificados el segundo día.

Para comparar los repertorios de codas entre temporadas, se asignó cada una de las grabaciones a una de tres temporadas, dependiendo de la fecha de grabación: primavera 2002 (Mayo), otoño 2002 (Octubre y Noviembre) y primavera 2003 (Abril y Mayo).

Finalmente, para comparar los repertorios de codas entre áreas, se asignó cada una de las grabaciones a una de tres áreas, la Costa de la Península de

Baja California, la costa de Sinaloa y Sonora, y el sur de la Isla de San Pedro Mártir, en la parte central del Golfo de California (Fig. 5). Para ello, previamente se localizó en un mapa la primera posición registrada por el GPS durante un avistamiento para cada grupo.

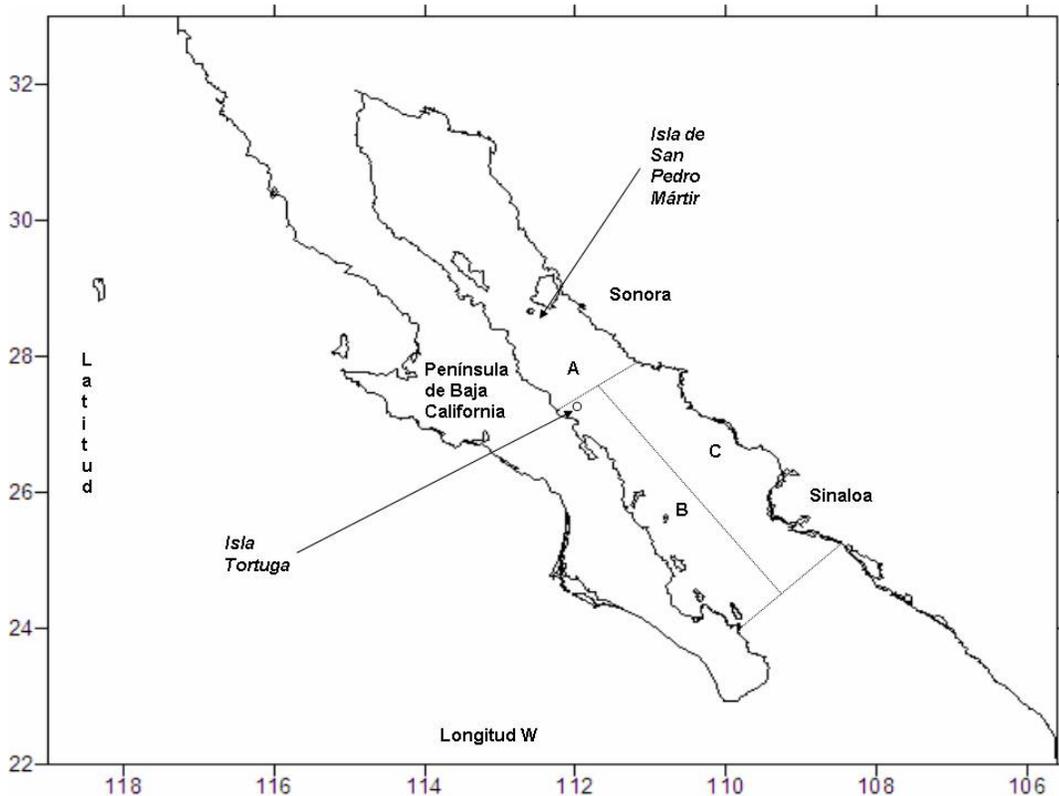


Figura 5. En el mapa se indican las tres áreas consideradas en la comparación espacial de los repertorios. El área A corresponde al sur de la Isla de San Pedro Mártir, el área B a la costa de la Península de Baja California y el área C a la costa de Sinaloa y Sonora.

Comparación de los repertorios

Para la comparación de los repertorios se utilizaron dos métodos propuestos por Rendell y Whitehead (2003b): 1) las pruebas de K-promedios y 2) un índice multidimensional de similitud. Las pruebas K-promedios se basan en la comparación de las frecuencias de los distintos tipos de coda entre grupos, resultado de un proceso previo de clasificación de las codas en tipos. En cambio, el método multidimensional de similitud se basa en la comparación

directa de los repertorios mediante un índice que no considera una clasificación previa de las codas.

En todos los análisis numéricos se consideraron únicamente codas de grupos que contaron con 24 o más datos (codas). Se consideró un tamaño mínimo de muestra similar al utilizado por Rendell y Whitehead (2003a) con el propósito de hacer comparables los resultados de ambos estudios. Tanto la clasificación de las codas como la comparación con el índice se hicieron con el programa MATLAB Ver. 13 (R14) y con las rutinas de MATLAB (cortesía de L. Rendell*).

Clasificación de las codas: *Pruebas de K-promedios*

Una manera de comparar repertorios de codas es revisando si la frecuencia con que se presentan los distintos tipos de codas varía entre repertorios (Rendell y Whitehead, 2003b). Para hacer esto, las codas fueron clasificadas en tipos. Así, las codas que presentaban distinto número de clicks (tamaño de la coda) se clasificaron como tipos de coda diferentes; mientras que las codas con igual número de clicks fueron clasificadas utilizando pruebas de K-promedios. Una limitante de las pruebas de K-promedios es que antes de aplicarlas es necesario establecer, *a priori* al proceso de clasificación, el número de grupos en que se desea se divida el conjunto de objetos (codas). Para ello, se requiere de un criterio objetivo para determinar el número de grupos. Criterios para establecer el número de grupos son reportados comúnmente en la literatura como “reglas de detención” (“stopping rules”) (Milligan y Cooper, 1985). Por esta razón, en este estudio se utilizaron separadamente dos reglas de detención para establecer el número de grupos en la clasificación de las codas, el criterio conocido como VRC (Variance Ratio Criterion) de Calinski y Habarasz (1974); así como el criterio de Duda y Hart (Milligan y Cooper, 1985).

* DR. LUKE RENDELL, Gatty Marine Laboratory, School of Biology, University of St Andrews, UK.

Calinski y Habarasz (1974) sugieren que el número de grupos óptimo se infiere a partir del primer máximo local del VRC conforme aumenta k, con base en la siguiente fórmula.

$$VRC = \frac{BGSS}{k-1} \div \frac{WGSS}{n-k}$$

VRC= tasa de cambio de la varianza.

BGSS= suma de cuadrados entre grupos.

WGSS= suma de cuadrados dentro de grupos.

K= número de grupos.

N= número de observaciones.

Aunque se ha encontrado que el VRC es mejor para determinar el número de grupos cuando se aplica a datos bien agrupados (Milligan y Cooper, 1985), no dio un buen resultado cuando fue utilizado para clasificar las codas de cachalote grabadas en el Pacífico Sur y el Caribe (Rendell y Whitehead, 2003a). Por esta razón, se aplicó también el criterio de Duda y Hart, el que ha mostrado ser el segundo mejor para determinar el número de grupos cuando se aplica a datos bien agrupados (Milligan y Cooper, 1985).

Este criterio pone a prueba la hipótesis nula de que la partición de un conjunto de datos en dos grupos no es válida dado un nivel de significación, rechazando la hipótesis nula si,

$$\frac{WGSS_{(2)}}{TSS} \leq 1 - \frac{2}{\pi m} - \alpha \sqrt{\frac{2(1-\alpha) + (\pi^2 m)}{nm}}$$

Donde

TSS= suma de las desviaciones cuadráticas de la media para los datos sin dividir.

$WGSS_{(2)}$ = suma de cuadrados dentro para los mismos datos divididos en dos grupos.

m = número de dimensiones en los datos.

n = número de observaciones.

α = el valor estándar del error tipo I establecido a 0.05

Pruebas de K-promedios utilizando el VRC para determinar el número de grupos

Para clasificar las codas en tipos mediante pruebas de K-promedios, utilizando el VRC para determinar el número de grupos, se estandarizaron los intervalos de tiempo entre clicks (ICI) de las codas guardados en los archivos de texto (TXT) en relación a la duración total de cada coda. Esto se hizo dividiendo cada intervalo entre la duración total de cada coda. Una vez calculados los intervalos de tiempo entre clicks estandarizados (SICI), se aplicaron 20 pruebas de K-promedios para cada combinación de tamaño de coda y número de grupos. De estas 20 pruebas se seleccionó aquella que presentó la menor suma de cuadrados entre grupos como la solución óptima para cada tamaño de coda. Para ello, se consideraron ocho distintos tamaños de coda (desde 3 hasta 10 clicks) y 9 diferentes números de grupos (desde 2 hasta 10 grupos) sumando un total de 1440 pruebas K-promedios.

Se calculó el VRC para cada tamaño de coda, considerando únicamente la solución óptima en cada caso. Más adelante, se examinaron las gráficas que relacionaron los valores de k (número de grupos) con el valor del VRC en busca de un valor máximo local que indique el número de grupos, donde la suma de cuadrados *entre* grupos es máxima y la suma *dentro* de grupos es mínima.

El procedimiento de clasificación se hizo dos veces, utilizando primero la distancia euclidiana y después la distancia máxima absoluta. Después, se compararon los gráficos obtenidos con ambos tipos de distancia para evaluar si el tipo de distancia utilizado afectaba el resultado de la clasificación de las codas.

Pruebas de K-promedios utilizando el criterio de Duda y Hart para determinar el número de grupos

Para clasificar las codas en tipos mediante pruebas de K-promedios, utilizando el criterio de Duda y Hart para determinar el número de grupos, se calculó la suma de la desviación cuadrada de la media, considerando todos los datos sin dividir (TSS) para cada tamaño de coda. Después se calculó la suma de cuadrados *dentro* para los mismos datos, divididos en dos grupos (WGSS₍₂₎). Si la tasa entre la (WGSS₍₂₎) y la (TSS) es más grande que un valor crítico, entonces se considera que hay dos tipos de coda. Si hay dos tipos de coda, entonces se repite el mismo proceso utilizando un algoritmo de agrupación jerárquico hasta que ningún conjunto de datos pueda ser dividido de acuerdo al nivel de significación ($\alpha = 0.05$).

Para conocer si el número de pruebas afectaba el patrón resultante de la clasificación, el proceso se hizo dos veces, la primera considerando únicamente la primera solución obtenida para cada prueba de K-promedios, y la segunda considerando la mejor solución de 20 pruebas.

Además, para conocer si el tipo de distancia afectaba el patrón de clasificación de las codas, se realizó el proceso utilizando, tanto la euclidiana, como la distancia máxima absoluta. La distancia euclidiana se calculó con base en la siguiente fórmula.

$$dE_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^c (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Donde

c= número de intervalos de tiempo estandarizados entre clicks que representan las codas i y j.

x_{jk}= el k-ésimo intervalo de la coda j.

dE_{ij}= distancia euclidiana entre las codas i y j.

La distancia máxima absoluta se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$DMA = \| x_i - x_j \|_{\infty}$$

y

$$\| x_i - y_i \|_{\infty} = \underset{1 \leq i \leq k}{\text{Max}} |x_i - y_i|$$

Donde

DMA se define como la diferencia máxima absoluta entre el vector x_i y x_j .

Aunque se tiene el supuesto de que el ritmo (representado por los SICI) es biológicamente más importante para los cachalotes que el tiempo (representado por los ICI) (Moore *et al.*, 1993), se repitió el proceso de clasificación utilizando independientemente ambos tipos de variables (SICI e ICI). Esto permitió conocer si el uso de diferentes tipos de variables, las cuales reflejan diferentes supuestos, tiempo y ritmo respectivamente, afectaba el resultado de la clasificación de las codas.

Se compararon las frecuencias de los diferentes tipos de coda producidos por las ocho variantes del proceso de clasificación que consideraron diferentes tipos de distancia, variable y número de pruebas, mediante pruebas de bondad de ajuste ji-cuadrada (Zar, 1984), considerando únicamente aquellos tamaños de coda que sumaron el 90% o más del total de codas grabadas (9 clicks \geq tamaño de coda \geq 3 clicks). Se eligieron las pruebas de bondad de ajuste ji-cuadrada considerando que todos los tamaños de coda estuvieron representados por al menos una coda. De esta manera se evitó el riesgo de considerar una frecuencia de tipos de codas producida por alguna variante del método (frecuencia esperada) igual a cero.

Finalmente, se elaboró un gráfico de dispersión entre: a) la duración de la grabación y el número de codas grabadas por grupo; b) la duración de la grabación y el número de tipos de coda por grupo, así como entre; c) el número de codas grabadas y el número de tipos de coda por grupo. Esto se hizo con el propósito de determinar un tamaño mínimo de muestra. Considerando que el repertorio de codas de un grupo no es infinitamente variado, es de esperarse una asíntota en el gráfico que relaciona el número de codas grabadas y el número de tipos de coda, la cual estaría reflejando el tamaño mínimo de muestra, donde un aumento en el número de codas ya no aumenta considerablemente el número de tipos de coda. Así, una vez determinado el número mínimo de codas necesario para representar el repertorio de un grupo, se podrá determinar en el gráfico que relaciona la duración de la grabación y el número de codas, la duración de la grabación que corresponda al número mínimo de muestra. Con ello, se determinará con mayor precisión el tiempo de grabación que se requiere para contar con un tamaño de muestra suficiente que represente el repertorio de un grupo.

Para visualizar mejor el patrón de dispersión de las codas sin clasificar se elaboraron diferentes gráficos con base en el número de clicks. Para las codas de 3 clicks, se graficó la distribución de frecuencias del primer SICI. Para las codas de 4 clicks, se contrastaron los valores del primero *versus* el segundo SICI. Para las codas con 5 o más clicks, se aplicaron análisis de componentes principales y se graficaron los valores obtenidos para el primero y segundo componentes, calculados a partir de los valores de los SICI. Tanto las correlaciones, histogramas, análisis de componentes principales y pruebas de ji-cuadrada se hicieron utilizando el programa Statistica Ver. 7.

Comparación de los repertorios de codas entre grupos, temporadas y áreas: Índice de similitud multidimensional

Se utilizó un índice de similitud multidimensional propuesto por Rendell y Whitehead (2003a) para comparar los repertorios de codas entre grupos, temporadas y áreas. Éste compara los repertorios de codas utilizando las distancias entre éstas en el espacio multidimensional para cada par de repertorios con base en la siguiente fórmula.

$$S_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} \sum_{j=1}^{n_B} \frac{b}{b + d_{ij}}}{n_A \cdot n_B}$$

Donde

S_{AB} = similitud entre el repertorio A y B

n_A = número de codas en el repertorio A

n_B = número de codas en el repertorio B

b = nivel de resolución del índice.

d = distancia euclidiana o distancia máxima absoluta.

l_i = número de clicks en la coda i del repertorio A

l_j = número de clicks en la coda j del repertorio B

Para ello, el índice utiliza los SICl de las codas y un nivel de resolución (b) que permite comparar codas de diferente tamaño (número de clicks) (Rendell y Whitehead, 2003b). Se utilizaron dos tipos de distancia, la euclidiana y la distancia máxima absoluta, para conocer si el tipo de distancia afectaba el patrón de similitud entre repertorios. De igual manera, se utilizaron diferentes niveles de resolución ($b=0.1$, $b= 0.01$ y $b= 0.001$) para conocer si el nivel de resolución del índice afectaba el patrón de similitud entre repertorios.

Finalmente, se creó un dendrograma utilizando el método del vecino más cercano (Manly, 1994) para cada una de las matrices de similitud obtenidas (grupos, temporadas y áreas). Este dendrograma representa el patrón de clasificación de los grupos, temporadas y áreas, según sea el caso, con base en sus repertorios de codas. Para saber si el patrón de cada rama del dendrograma era producto del azar, se aplicó un proceso de re-muestreo para calcular el número de veces que cada rama era reproducida exactamente como resultado de un proceso de 100 re-muestreos al azar con reemplazo.

RESULTADOS

¿Cuántas codas se grabaron, de cuántos grupos y en qué sitios?

Se registraron 507 codas de 15 grupos de cachalotes socializantes. La mayor parte de las grabaciones se realizaron en la zona central del Golfo de California, aunque las costas este y oeste del área, también estuvieron representadas (Fig. 6).

De las 507 codas registradas, sólo 401 fueron incluidas en el análisis numérico debido a que fueron grabadas de grupos que contaron con un tamaño de muestra aceptable de 24 o más codas grabadas por grupo (Tabla I).

Tabla I. Información sobre las grabaciones de 15 grupos de cachalotes grabados en el Golfo de California en tres temporadas. Solo aquellas codas grabadas de grupos señalados con un asterisco se consideraron en el análisis numérico.

Número de grupo	Número de codas	Fecha de grabación	Duración de la grabación (min)	Latitud	Longitud
9	15	17/05/2002	67	28.1974	112.2110
10*	34	18/05/2002	35	28.2760	112.2749
11*	34	19/05/2002	23	28.2552	112.2585
6	8	26/05/2002	29	28.1781	112.1897
5	15	28/05/2002	22	27.2562	110.7255
3	14	29/05/2002	42	27.0218	111.6716
29*	29	27/10/2002	10	28.2743	112.3006
20*	59	01/11/2002	67	28.2243	112.2913
26	19	04/11/2002	7	28.0753	112.3005
27	18	07/11/2002	24	28.2556	112.3520
28*	178	14/11/2002	178	25.4453	110.9376
41	4	25/04/2003	11	25.7498	109.9346
46*	42	30/04/2003	14	28.1956	112.2575
52	14	08/05/2003	6	28.0706	111.9501
42*	24	13/05/2003	15	27.1853	110.7295

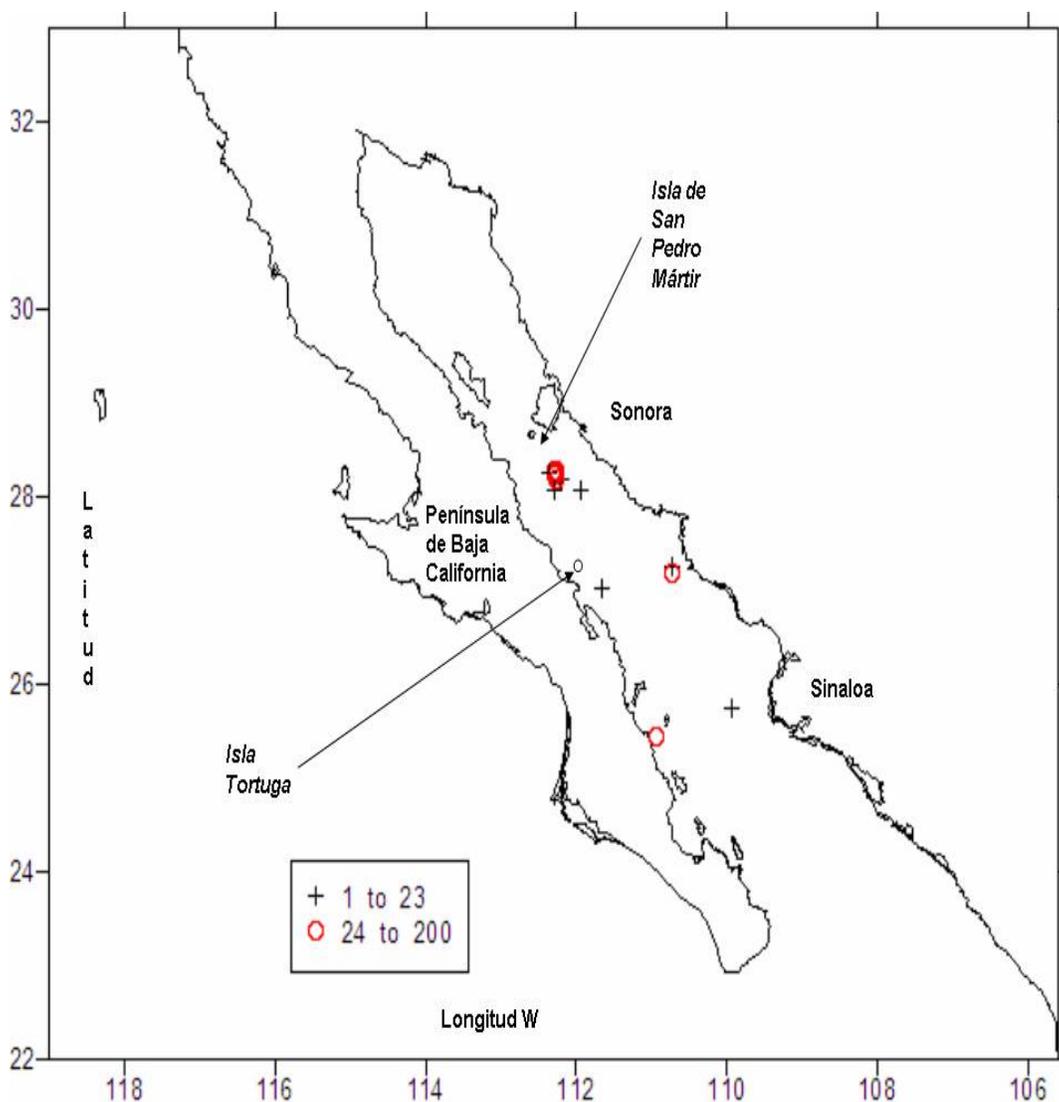


Figura 6. Distribución de los sitios donde se realizaron grabaciones de grupos de cachalotes en el Golfo de California. Los círculos rojos señalan aquellos grupos con un tamaño de muestra aceptable (24 o más codas grabadas por grupo).

Ningún grupo fue grabado más de una vez. Sólo el área que se encuentra al Sur de la Isla de San Pedro Mártir contó con grabaciones para todas las temporadas, primavera 2002, otoño 2002 y primavera 2003. El área cercana a la costa de la Península de Baja California contó con la grabación de un solo grupo en otoño 2002. De igual manera, el área cercana a la costa de Sinaloa y Sonora contó con la grabación de un sólo grupo en primavera 2003 (Fig. 7).

¿Cuántos tipos de coda se registraron en el Golfo de California?

El VRC no resultó en la determinación del número de grupos (tipos de coda) dado que en las gráficas que presentan la relación tamaño de coda *versus* el VRC, no se encontró un máximo local claro y a que el tipo de distancia afectó el resultado del análisis en 8 de los 11 tamaños de coda analizados (Apéndice 1). En cambio, utilizando el criterio de Duda y Hart (Milligan y Cooper, 1985), se clasificaron 401 codas en 278 tipos (Tabla II) considerando la distancia máxima absoluta, la mejor solución de 20 pruebas, y los SICI como variables.

¿El patrón de clasificación de las codas resultó independiente de la variante del método que se utilizó?

Las frecuencia en que se presentaron los distintos tipos de coda, para las codas de 3, 4, 6 y clicks, varió dependiendo del tipo de variable (SICI e ICI respectivamente) y el número de pruebas (primera solución o mejor solución de 20 pruebas) en aquellas clasificaciones que utilizaron la distancia euclidiana (Tabla II). En cambio, para aquellas pruebas que utilizaron la distancia máxima absoluta, el patrón de clasificación fue el mismo, no importando el tipo de variable o número de pruebas utilizado (Tabla II). Asimismo, solo las comparaciones entre métodos que consideraron la distancia euclidiana (46% de 28 comparaciones) presentaron diferencias significativas en cuando a las frecuencias en los tipos de coda por tamaño de coda (en pruebas de ji-cuadrada; $P < 0.00001$).

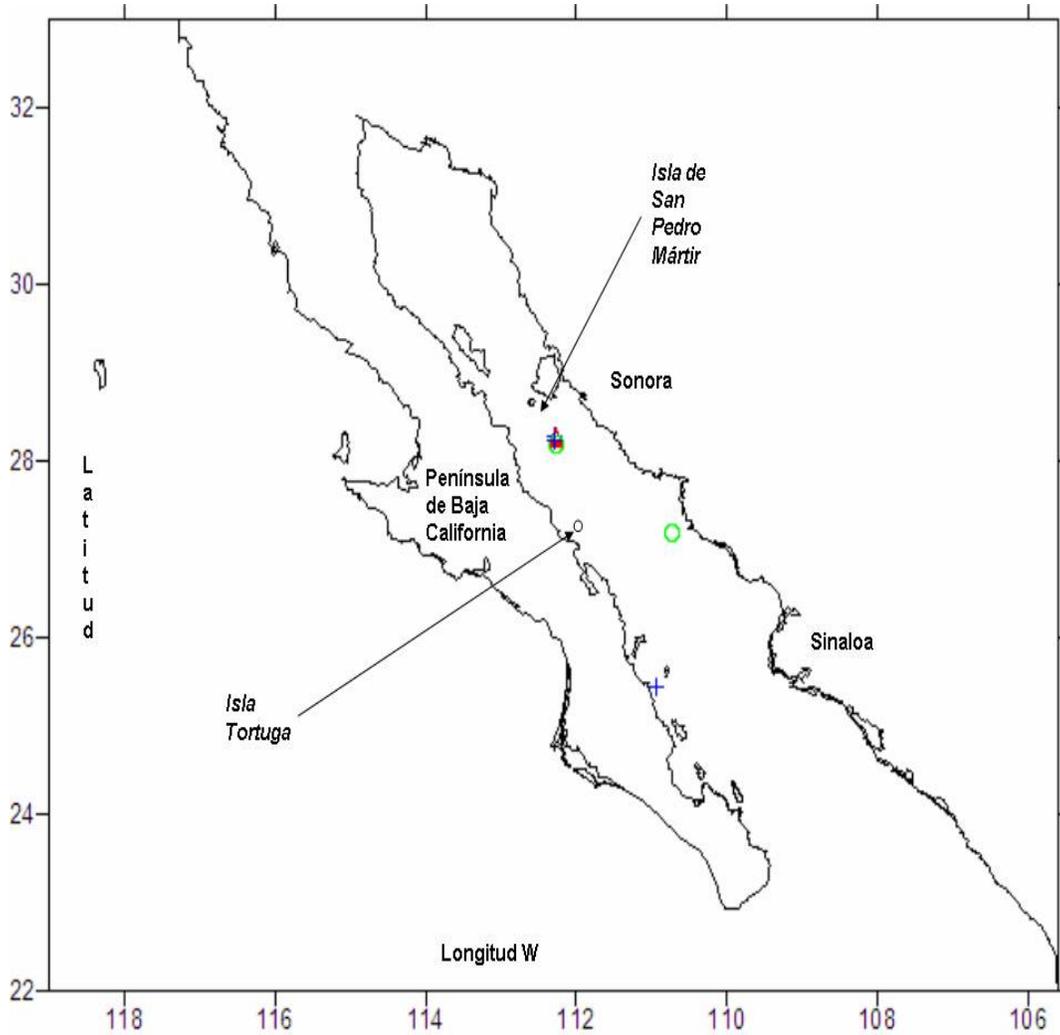


Figura 7. Distribución de grupos con 24 o más codas de acuerdo a la estacionalidad. Se indica con triángulos rojos la posición de grupos grabados en primavera 2002, con cruces azules en otoño 2002, y con círculos verdes en primavera 2003. Sólo el área sur de la Isla de San Pedro Mártir contó con grabaciones para las tres estaciones.

Tabla II. Distintas frecuencias de tipos de coda obtenidas a partir de 8 variantes diferentes del método de clasificación basado en pruebas K-promedios con el criterio de Duda y Hart para determinar el número de grupos ($\alpha= 0.05$). Se consideró distintos tipos de distancia; número de iteraciones y tipos de variable. Se indica entre paréntesis el número total de tipos de coda obtenido para cada variante del método, y en el caso de la última columna, el número total de codas grabadas.

Tamaño de coda	Distancia euclidiana				Distancia máxima absoluta				Porcentaje de las codas
	20 pruebas		Primera solución		20 pruebas		Primera solución		
	SICI	ICI	SICI	ICI	SICI	ICI	SICI	ICI	
3	78	78	78	2	78	78	78	78	19.45
4	83	83	1	1	83	83	83	83	21.70
5	1	1	1	1	1	1	1	1	29.93
6	58	58	58	2	58	58	58	58	14.46
7	11	11	11	11	11	11	11	11	2.74
8	7	7	7	7	7	7	7	7	1.75
9	1	12	12	12	12	12	12	12	2.99
10	3	3	3	3	3	3	3	3	0.75
11	7	7	7	7	7	7	7	7	1.75
12	1	8	8	8	8	8	8	8	2.00
13	7	7	1	7	7	7	7	7	1.75
14	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25
15	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25
16	1	1	1	1	1	1	1	1	0.25
	(260)	(278)	(190)	(64)	(278)	(278)	(278)	(278)	(401)

¿Qué tan diferentes fueron las frecuencias de los distintos tipos de coda entre los grupos de cachalote?

No fue posible determinar qué tan diferentes fueron las frecuencias de los distintos tipos de coda entre los grupos de cachalote. Esto se debió a que la frecuencia con que se presentaron los distintos tipos de coda varió considerablemente entre los grupos (Apéndice 2) dado que como resultado de la clasificación se obtuvieron muchos tipos de coda diferentes (Tabla II), sin

que se visualizara una separación clara de grupos en las gráficas que representan los datos sin clasificar (Apéndice 3). Por ésta razón, no fue posible establecer una correspondencia entre ciertos grupos con algún tipo de coda en particular. Una excepción a lo anterior fue el caso del grupo 28, en donde una gran proporción (52%) de sus codas pertenecieron a un solo tipo, el tipo de coda #33.

¿Hubo relación entre la duración de la grabación, el número de codas y el número de tipos de coda grabados por grupo de cachalote?

Aunque el número de tipos de coda aumentó conforme se incrementaba el número de codas grabadas por grupo en el gráfico de dispersión (Fig. 8), no fue posible observar claramente una asíntota que reflejara un tamaño mínimo de muestra, debido a que la mayor parte de los grupos cuentan con un tamaño de muestra bajo y sólo un grupo cuenta con un tamaño de muestra alto. De igual manera, no fue posible determinar un tiempo de grabación mínimo, ya que sólo un grupo presentó un tiempo de grabación alto (Figs. 9 y 10).

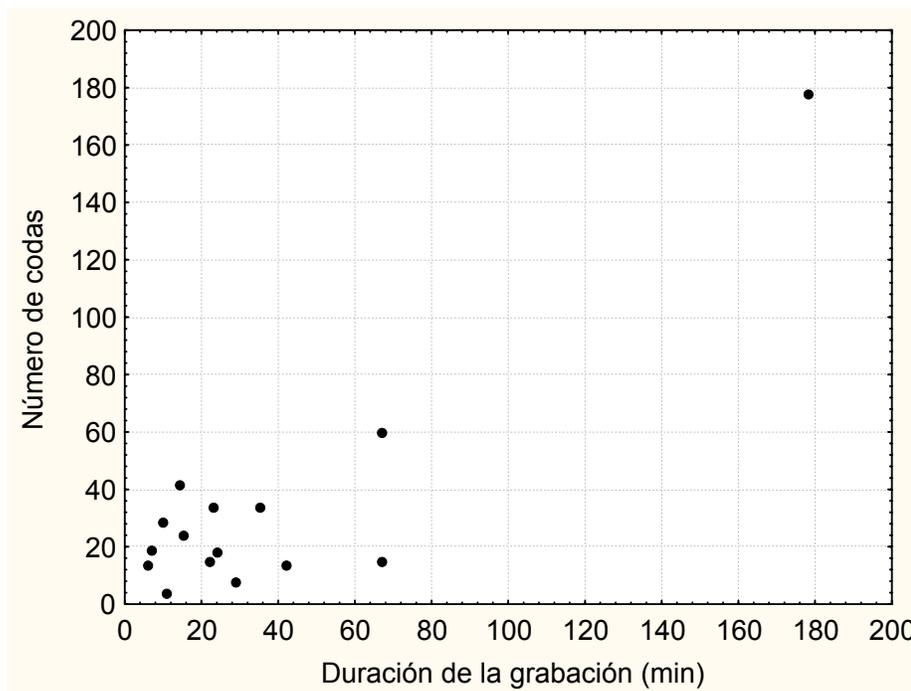


Figura 8. Relación entre la duración de la grabación y el número de codas grabadas por grupo.

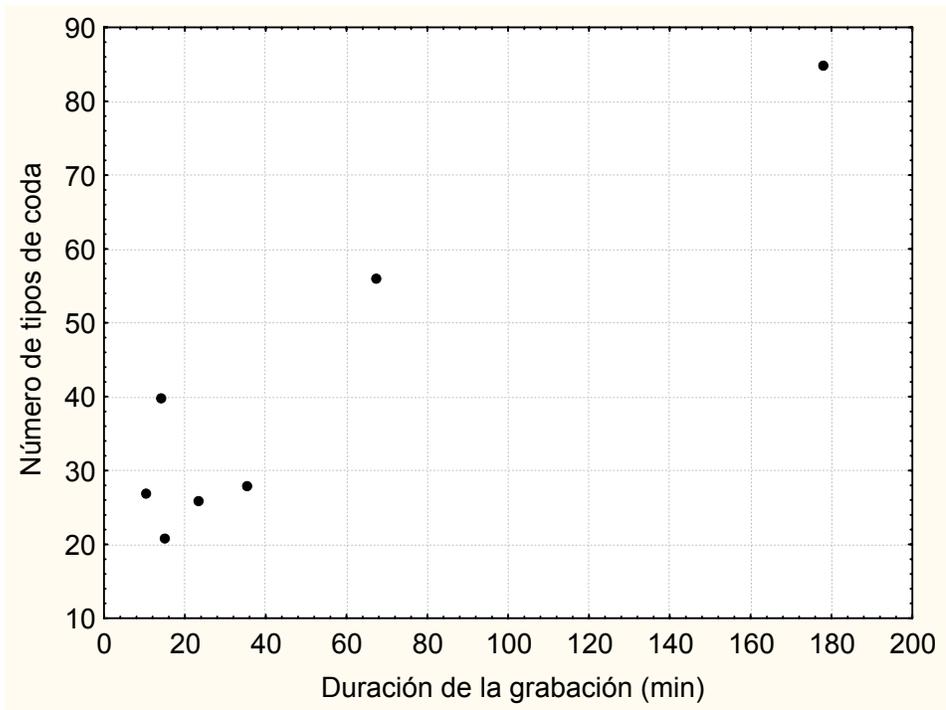


Figura 9. Relación entre la duración de la grabación y el número de tipos de coda grabados por grupos.

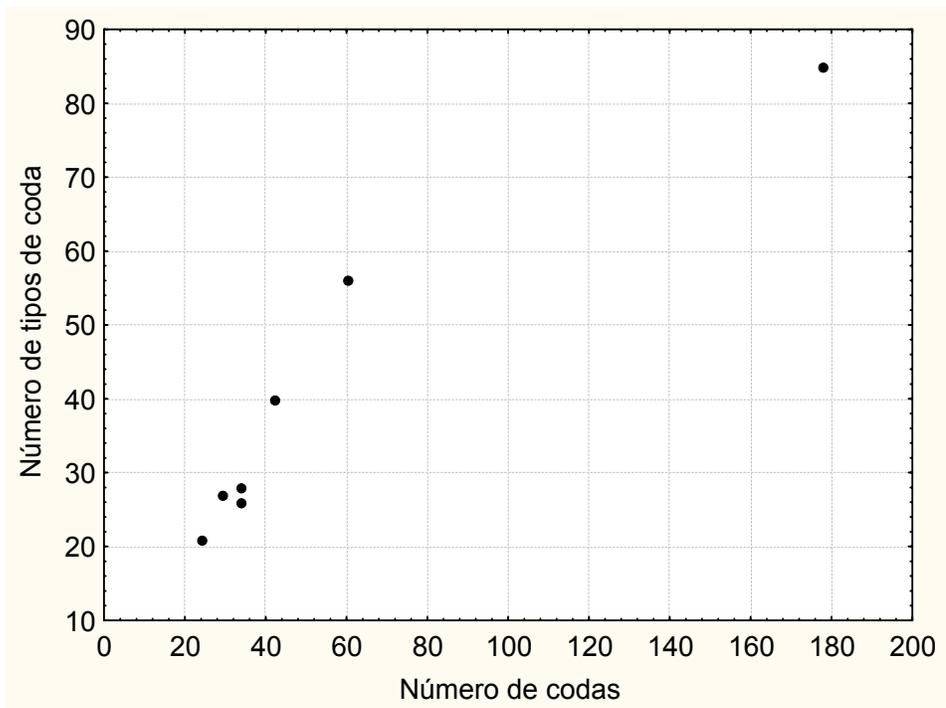


Figura 10. Relación entre el número de codas y el número de tipos de coda grabados por grupo.

¿Cómo difieren los repertorios de codas grabados de distintos grupos de cachalote en el Golfo de California?

El patrón de similitud entre repertorios de coda de cachalotes encontrado para siete grupos fue consistente, independientemente del tipo de distancia (euclidiana o distancia máxima absoluta) o el nivel de resolución del índice ($b=0.001$, $b=0.01$ o $b=0.1$) utilizado (Fig. 11). El grupo 11 y el grupo 28 presentaron una alta similitud entre sus repertorios de codas, seguido por el grupo 20 y el grupo 29. En contraste, el grupo 46 y el grupo 42 presentaron una similitud baja con el resto de los grupos y fueron agrupados en dos ramas separadas en los dendrogramas. La baja similitud entre los repertorios del grupo 42 y grupo 46, en relación con el resto de los grupos, indica la presencia de tres clanes en el Golfo de California. El clan A, representado por un solo grupo, el grupo 46, el clan B, representado también por un solo grupo, el grupo 42, y el clan C, representado por 5 grupos, los grupos 10, 11, 20, 28 y 29 (Fig. 11).

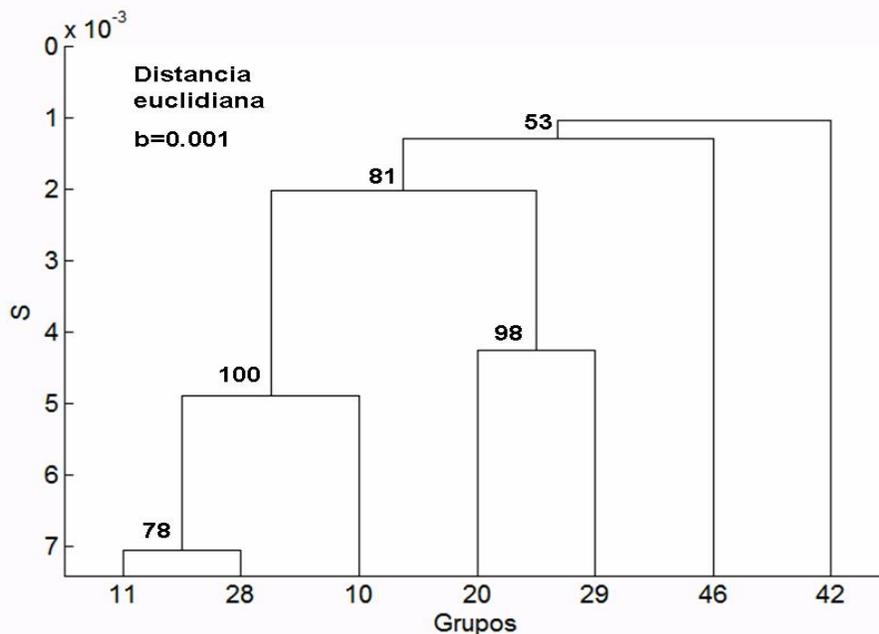
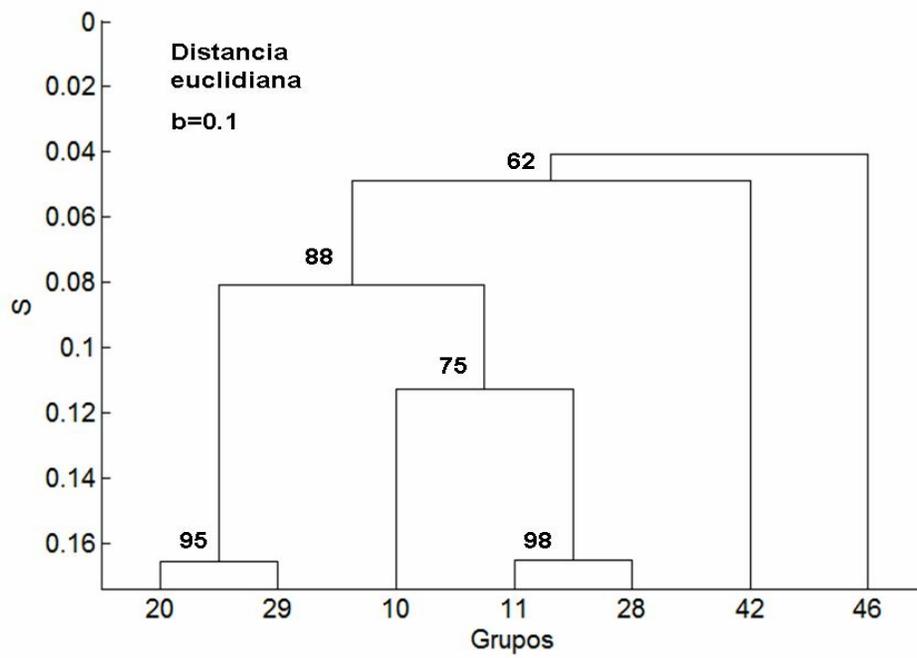
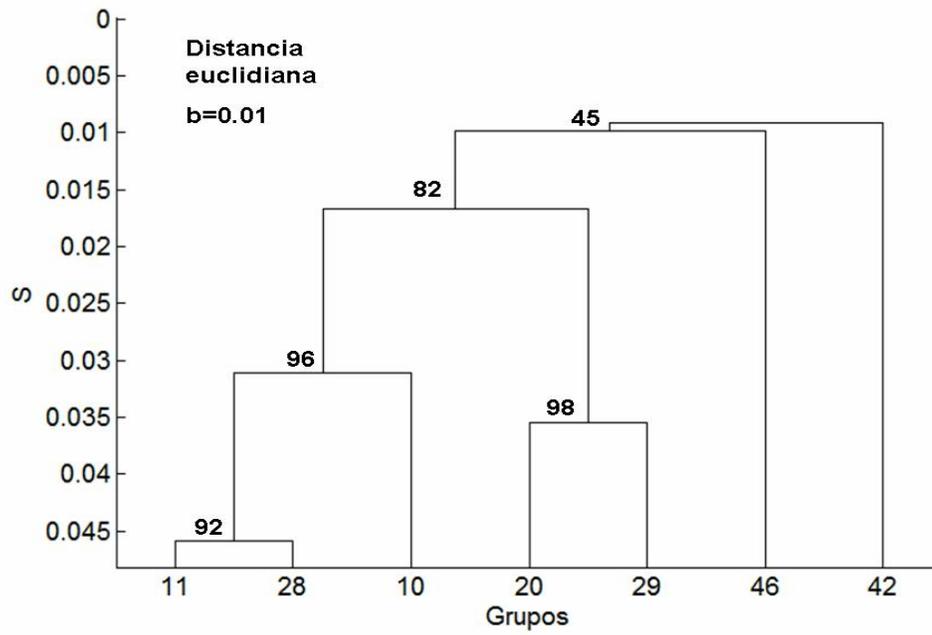
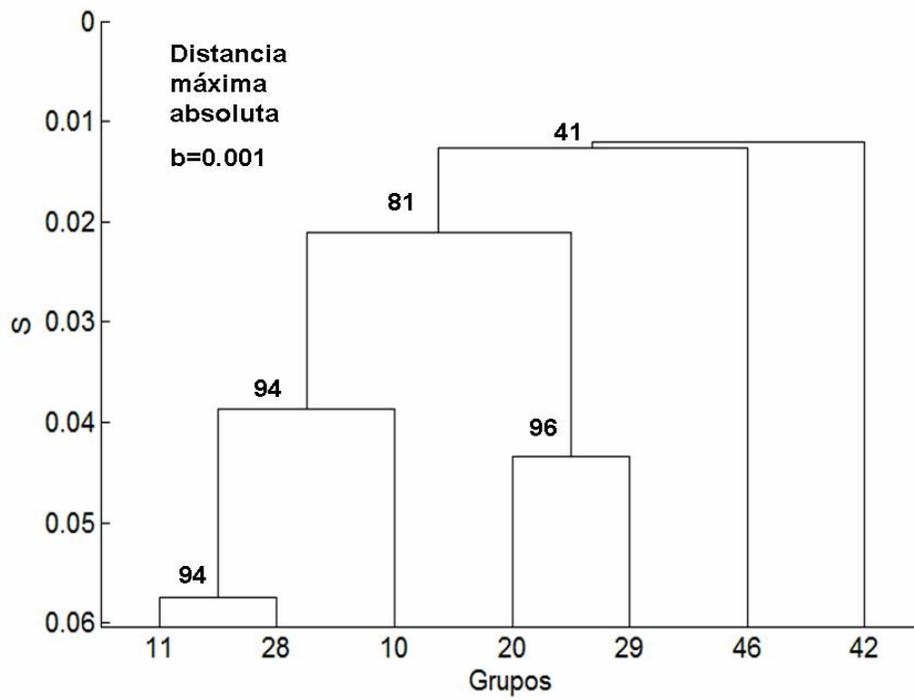
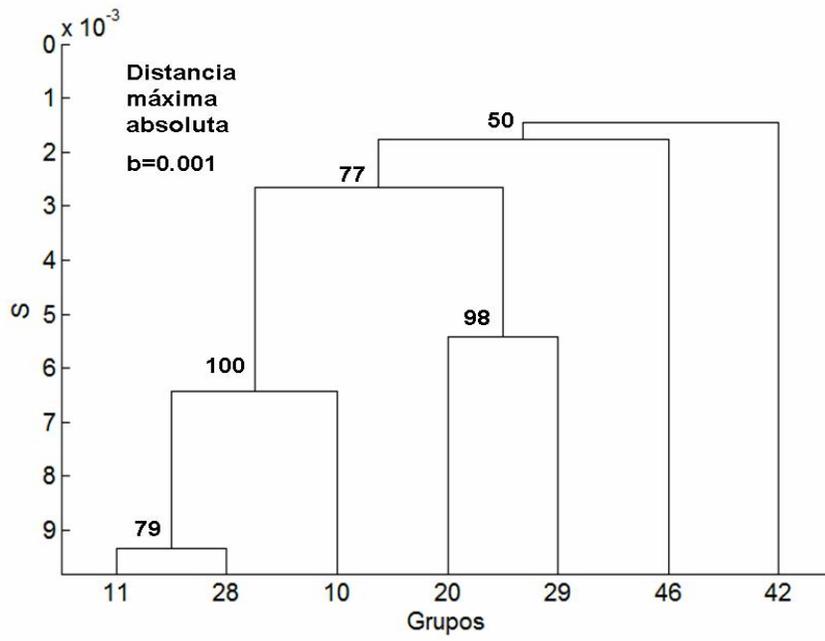


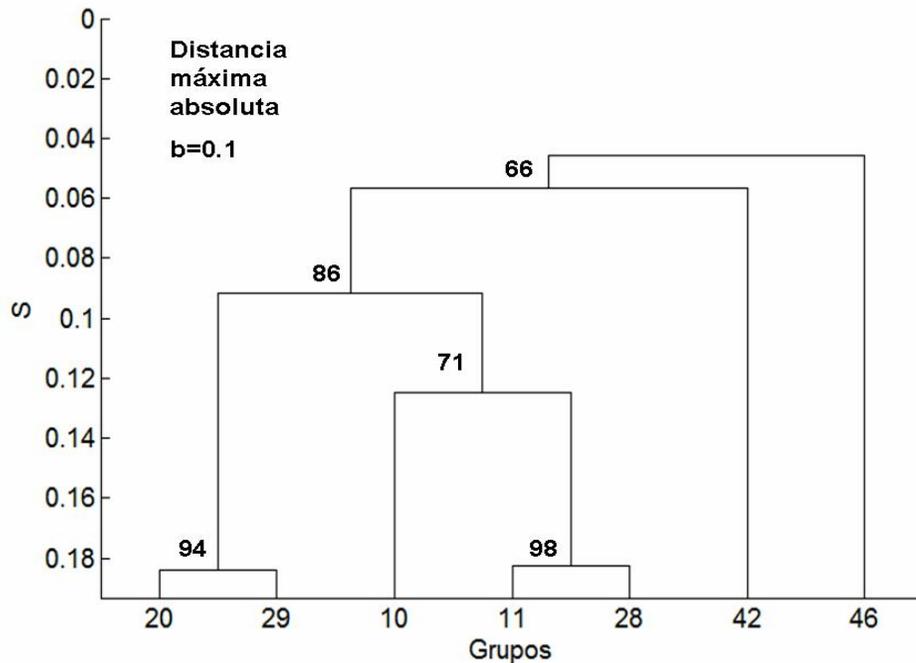
Figura 11. Clasificación del repertorio de codas entre 7 grupos de cachalotes mediante un índice de similitud multidimensional, utilizando diferentes distancias y niveles de resolución del índice. El número que aparece arriba de cada separación indica el número de veces que la rama fue reproducida exactamente de un proceso de 100 re-muestreos.



Continuación Figura 11



Continuación Figura 11



Continuación Figura 11

¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas grabados de distintos grupos de cachalote en el Golfo de California en temporadas distintas?

El patrón de similitud entre los repertorios de coda de cachalotes grabados en tres distintas temporadas fue consistente, independientemente de los tipos de distancia (euclidiana o distancia máxima absoluta) o el nivel de resolución del índice (b=0.001, b=0.01 o b=0.1) utilizado (Fig. 12).

Primavera y otoño 2002 formaron un solo grupo, mientras que primavera 2003 se agrupó en una rama separada en todos los casos. La única rama que incluye este dendrograma fue reproducida perfectamente 100 veces para todos los tipos de distancia y niveles de resolución del índice utilizados. Por esta razón, se presenta sólo un dendrograma en este documento que se considera representativo (Fig. 12).

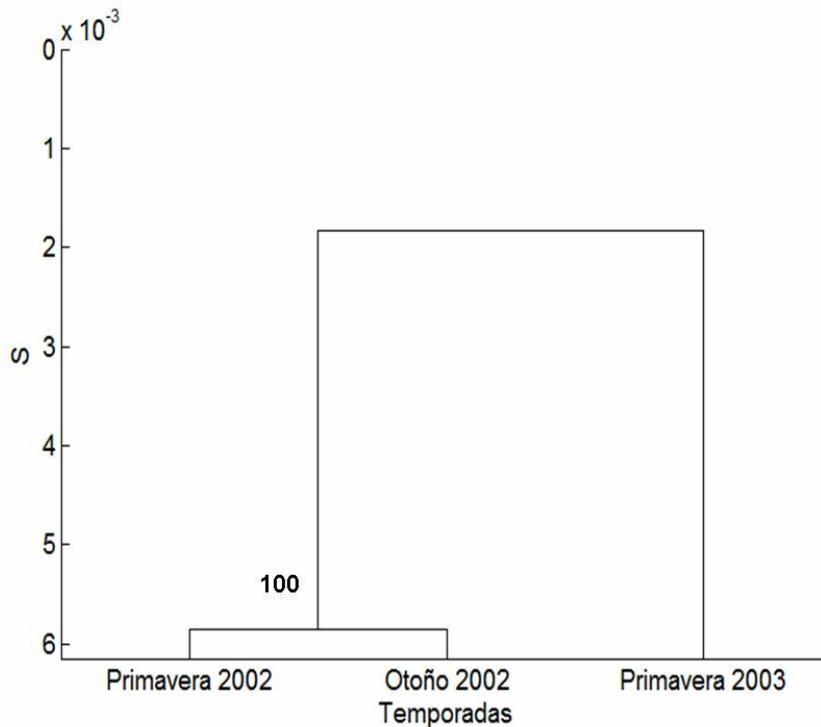


Figura 12. Clasificación del repertorio de codas grabadas en tres diferentes temporadas mediante un índice de similitud multidimensional ($b=0.001$, distancia máxima absoluta). El número que aparece arriba de cada separación indica el número de veces que la rama fue reproducida exactamente de un proceso de 100 remuestreos.

¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas grabados de distintos grupos de cachalote en el Golfo de California en diferentes áreas?

El patrón de similitud entre los repertorios de coda de cachalotes grabados en tres distintas áreas fue consistente, independientemente del tipo de distancia (euclidiana o distancia máxima absoluta) o el nivel de resolución del índice ($b=0.001$, $b=0.01$ o $b=0.1$) utilizado (Figura 13).

El área cercana a la costa de la Península de Baja California y el área que se encuentra al sur de la Isla de San Pedro Mártir formaron un solo grupo, mientras que el área cercana a la costa de Sinaloa y Sonora formó un grupo aparte en todos los casos.

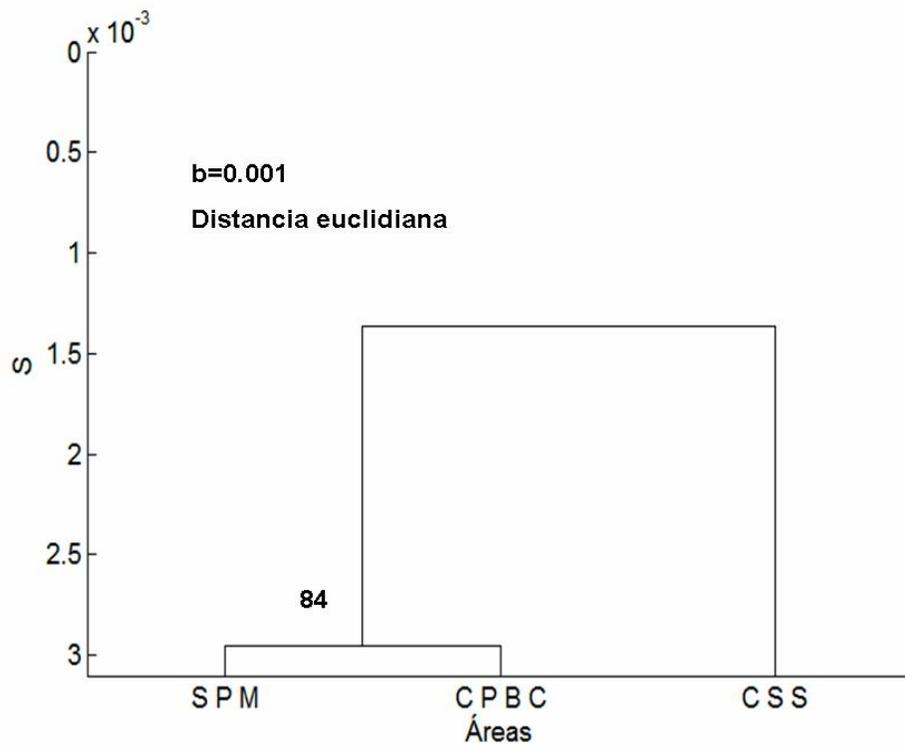
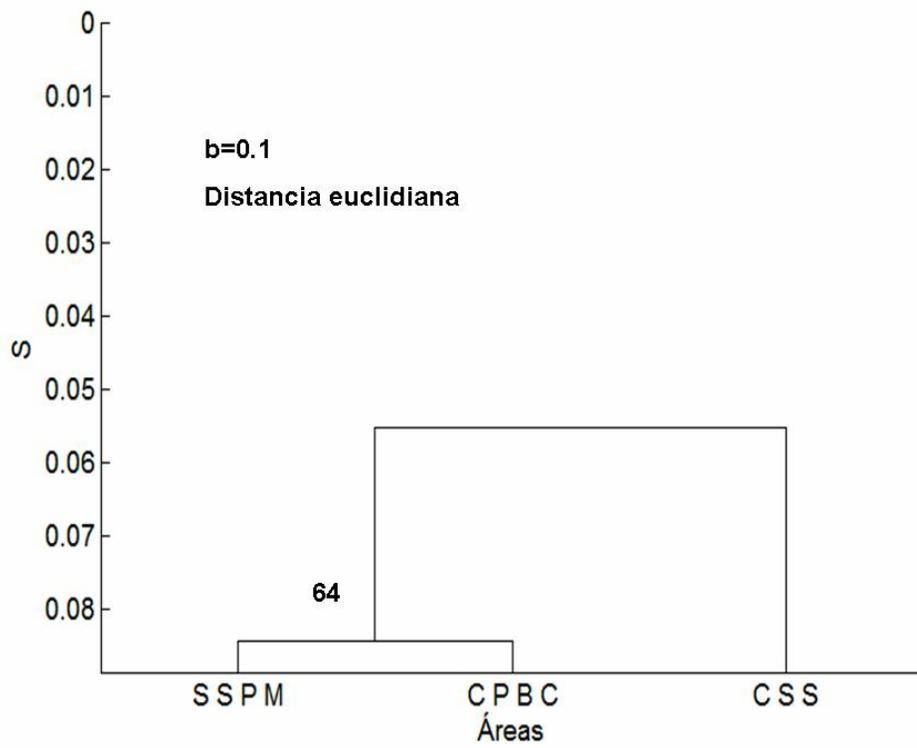
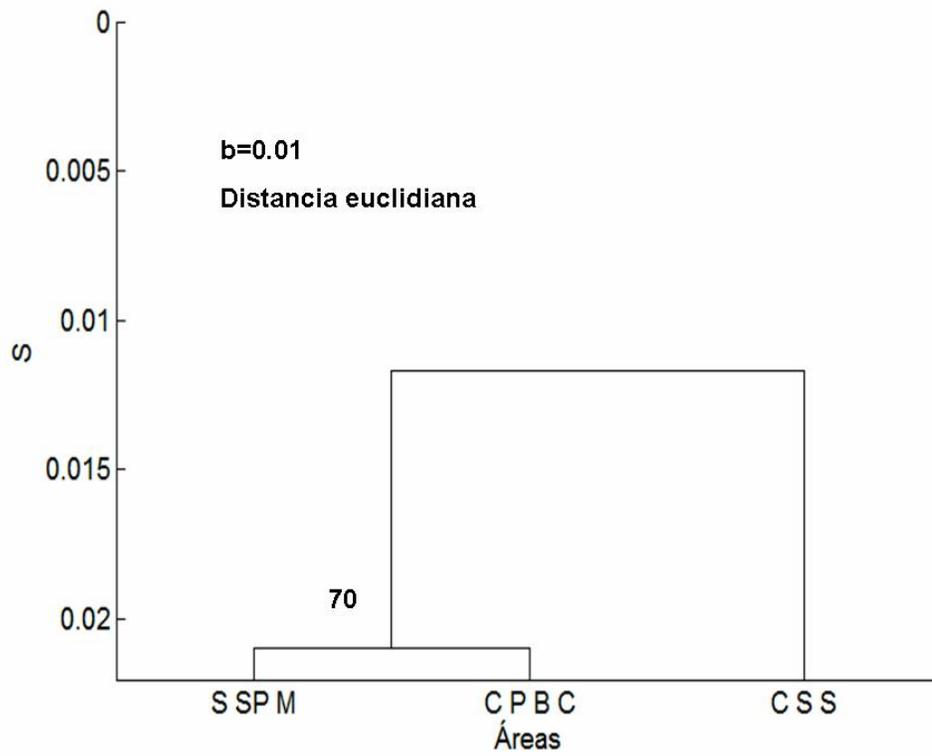
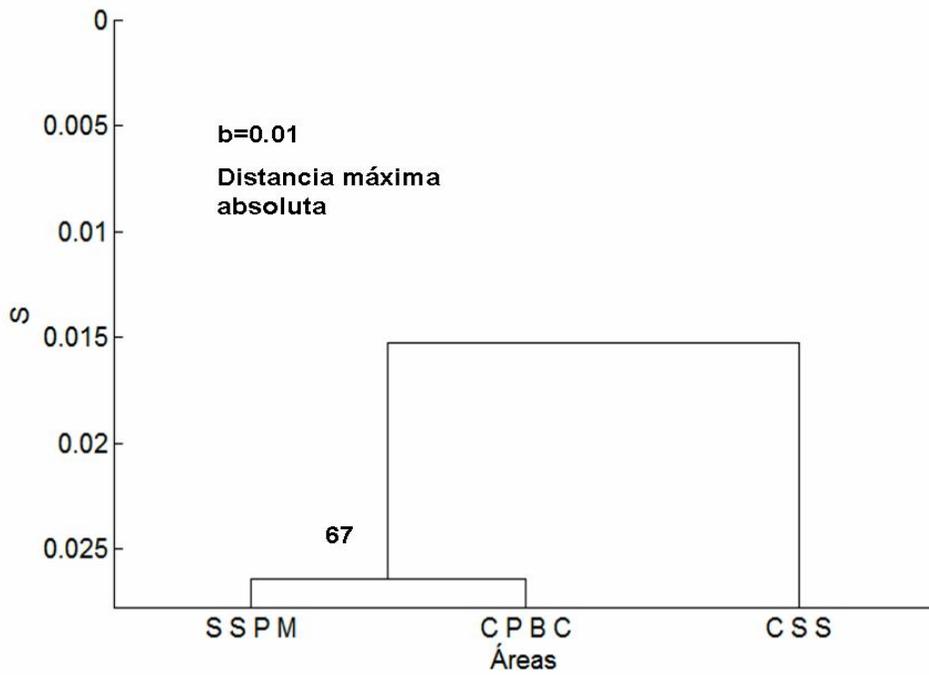
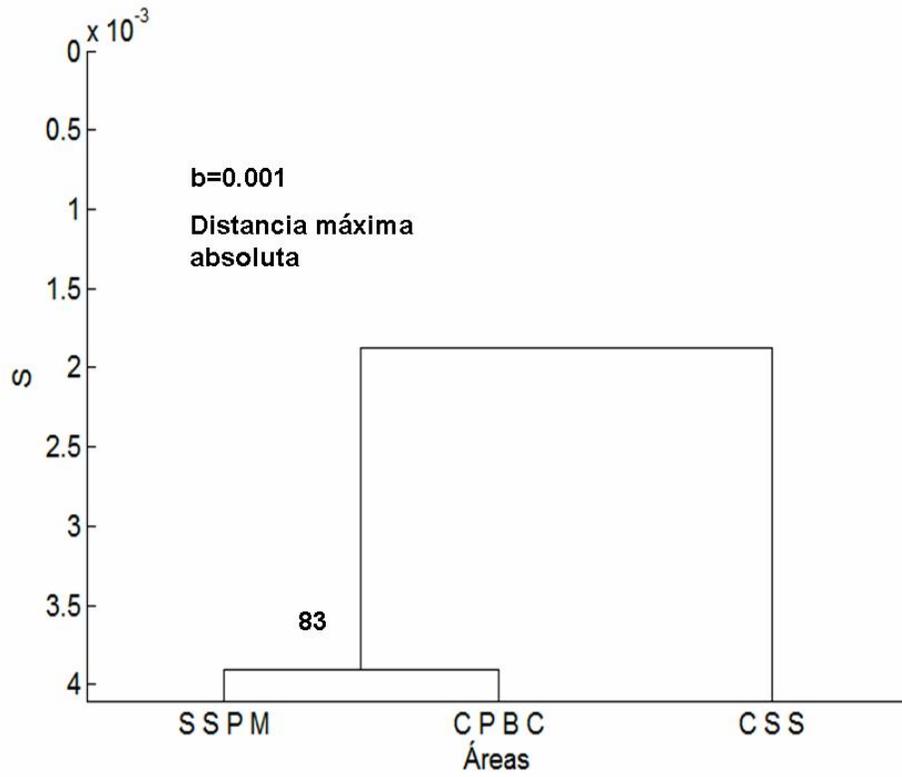


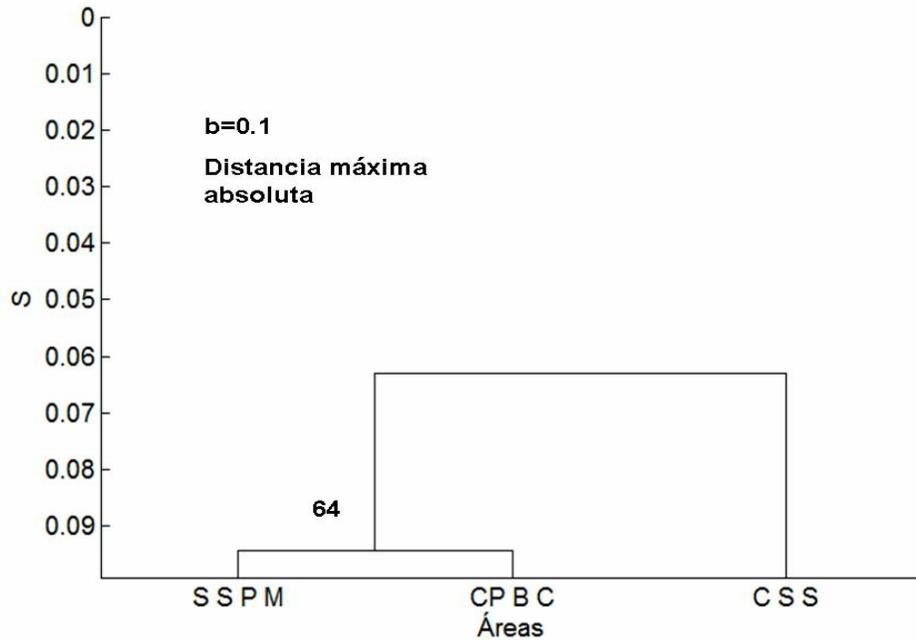
Figura 13. Clasificación del repertorio de codas grabadas en tres diferentes áreas, el sur de la Isla de San Pedro Mártir (SSPM), la costa de la Península de Baja California (CPBC) y la Costa de Sinaloa y Sonora (CSS), mediante un índice de similitud multidimensional, utilizando diferentes tipos de distancia y niveles de resolución del índice (b). El número que aparece arriba de cada separación indica el número de veces que la rama fue reproducida exactamente de un proceso de 100 re-muestreos.



Continuación Figura 13



Continuación Figura 13



Continuación Figura 13

¿Dónde se localizaron los grupos pertenecientes a distintos clanes dentro del Golfo de California?

El clan A, representado por el grupo 46 (Fig. 11), fue observado solo una vez al sur de la Isla de San Pedro Mártir. El clan B, representado por el grupo 42 (Fig. 11), fue observado una sola vez en el área cercana a la Costa de Sinaloa y Sonora. Y por último, el clan C, representado por 5 grupos: 10, 11, 20, 28 y 29 (Fig. 11), se observó al sur de la Isla de San Pedro Mártir y cerca de la costa de la Península de Baja California (Fig.14).

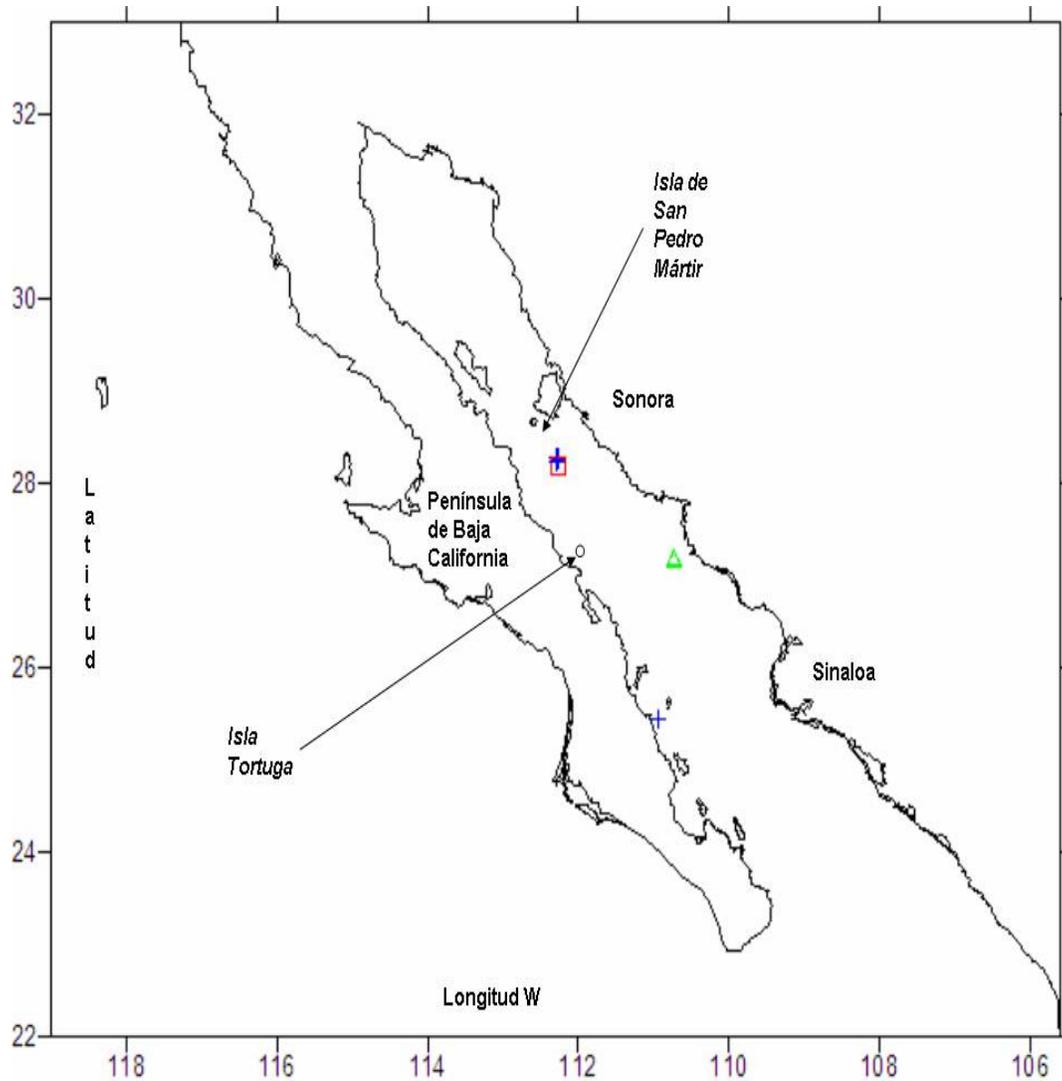


Figura 14. Distribución de los clanes grabados en el Golfo de California. Cada símbolo representa la posición de un grupo de cachalotes (7 grupos). El clan A se indica con un recuadro rojo, el clan B con un triángulo verde y el clan C con cruces azules.

DISCUSIÓN

Representatividad del muestreo

El tamaño de muestra utilizado en este estudio fue bajo comparado con el utilizado en el trabajo de Rendell y Whitehead (2003a). Estos autores analizaron 13941 codas de 64 grupos grabados en el Pacífico Sur y el Caribe; mientras que en este trabajo se analizaron 401 codas grabadas de 7 grupos en el Golfo de California (Tabla I). Aunque la diferencia en cuanto al tamaño de muestra entre estos dos trabajos es considerable, el criterio que se utilizó para determinar si un grupo debía ser incluido en el análisis fue muy similar. En este trabajo se consideraron únicamente grupos con 24 o más codas grabadas y en el trabajo de Rendell y Whitehead (2003a) grupos con 25 o más codas grabadas. Considerando lo anterior, las comparaciones entre los repertorios de codas entre los grupos realizadas en este estudio son equivalentes a las del Pacífico Sur y el Caribe.

Aunque la distinción de clanes de cachalote en el Pacífico Sur y el Caribe se haya logrado satisfactoriamente utilizando un tamaño mínimo de muestra de 25 codas por grupo (Rendell y Whitehead, 2003a), este valor es hasta cierto punto arbitrario, ya que estos autores no presentan un argumento explícito de carácter probabilístico o empírico que justifique el uso de 25 codas como tamaño mínimo de muestra.

El repertorio de codas de un grupo es limitado debido a que distintos tipos de codas son compartidos por diferentes individuos (Rendell y Whitehead, 2004), así que es razonable suponer que el número de tipos de coda no va a crecer al infinito solo con agregar más tamaño de muestra. Si este supuesto sobre un número limitado de tipos de codas por grupo es verdadero, entonces, cuando observamos la gráfica que relaciona el número de codas *versus* el número de codas por grupo (Fig. 10), deberíamos observar en algún momento una asíntota. Esta asíntota estaría reflejando el tamaño de muestra mínimo

deseable de manera empírica, donde un incremento en el número de codas grabadas ya no aumenta el número de tipos de coda.

Desafortunadamente, sólo uno de los grupos grabados durante nuestro estudio cuenta con un tamaño de muestra grande (Tabla I), así que no es posible aplicar esta propuesta para determinar el tamaño de muestra mínimo hasta que se cuenten con más grabaciones. Sin embargo, en un futuro este método podría ofrecer una alternativa para determinar empíricamente si 25 codas son suficientes para conocer el repertorio de codas de un grupo de cachalotes.

En relación a la representatividad espacial y estacional del muestreo, no se cuenta con grupos grabados para todas las combinaciones de estaciones y áreas (Fig. 7), así que las conclusiones de este estudio no pueden generalizarse en relación a un patrón espacial o temporal.

Repertorio de codas de cachalote en el Golfo de California

Al igual que en el estudio realizado en el Pacífico Sur y el Caribe (Rendell y Whitehead, 2003a; 2003b), el VRC falló al momento de clasificar las codas en tipos en el Golfo de California (Apéndice 1); en cambio, el criterio de Duda y Hart (Milligan y Copper, 1985) clasificó sin ambigüedad las codas en varios tipos (Tabla II) en concordancia con el trabajo de Rendell y Whitehead (2003a). Éste método clasificó 401 codas en 278 tipos (Tabla II). Este número de tipos de coda es muy alto comparado con el reportado para los clanes en el Pacífico Sur y el Caribe, donde se encontró que 64 grupos de seis clanes presentaron únicamente 32 tipos de coda (Rendell y Whitehead, 2003a). Esta diferencia tan grande entre ambos trabajos podría deberse a que, 1) un mayor número de tipos de coda realmente se hubieran grabado en el Golfo de California, 2) existe un efecto ocasionado por el bajo tamaño de muestra con que se cuenta en el Golfo de California; 3) el método de clasificación no sea el más adecuado.

En relación a la alternativa que considera el efecto de un bajo tamaño de muestra tenemos lo siguiente. Considerando que en el Golfo de California el

tamaño de muestra es bajo para casi todos los grupos (Tabla I), deberíamos esperar menos tipos de coda en el Golfo de California que en el Pacífico Sur. Por ello, el bajo tamaño de muestra no es una explicación del todo satisfactoria. Además, incluso el grupo que presentó el tamaño de muestra más alto (178 codas; Apéndice 2) presentó más tipos de coda que cualquier grupo de cachalotes grabado en el Pacífico Sur (Rendell y Whitehead, 2003a).

En relación a la alternativa que considera la posibilidad de que el método de clasificación no sea adecuado, las frecuencias de los distintos tipos de coda resultado de diferentes variantes en el método no presentaron diferencias significativas, al menos para aquellas variantes que utilizaron la distancia máxima absoluta (Tabla II).

Por ello, hasta el momento no hay evidencia convincente de que la diferencia en cuanto al número de tipos de coda entre el Golfo de California y el Pacífico Sur de deba a la diferencia en el tamaño de muestra o a inconsistencias en el método de clasificación. Sin embargo, se espera que en un futuro, cuando un mayor tamaño de muestra está disponible para el Golfo de California, se pueda aclarar esta situación.

Aunque la comparación entre las frecuencias de los distintos tipos de coda no fue posible debido a la gran variedad de tipos de coda encontrados (Tabla II, Apéndice 2), un hecho interesante fue el alto porcentaje del tipo de coda #33 en el repertorio de codas del grupo 28, el grupo con más codas grabadas y tiempo de grabación disponible (Apéndice 2, Tabla II). El ritmo del tipo de coda #33 corresponde a un tipo de coda regular compuesto de cinco clicks que presentan intervalos de tiempos entre clicks regulares, un patrón previamente reportado para las Islas Galápagos (Rendell y Whitehead, 2003a). La hipótesis de que algunos grupos grabados en el Golfo de California provengan de las Islas Galápagos, como podría ser nuestro grupo 28, es plausible si consideramos que existe evidencia de que algunos individuos foto-identificados en Galápagos fueron foto-identificados también en el Golfo de California (Jaquet *et al.*, 2003). Sin embargo, la proporción de individuos que realizan ésta clase de movimientos a gran escala es todavía desconocida, debido a que

hasta el momento existen pocas recapturas entre estas dos áreas y a que el número de individuos foto-identificados en el Golfo de California todavía no refleja la mayor parte de la población (Jaquet *et al.*, 2003).

Dado que el proceso de clasificación de las codas depende de la matriz de datos de inicio, no se podrá estar seguro de que el tipo de coda #33 corresponde con seguridad al tipo de coda 5R reportado por Rendell y Whitehead (2003a), hasta que las codas de ambos estudios sean clasificadas en un mismo proceso.

Distribución espacial y temporal de los clanes de cachalote en el Golfo de California

Dado que todas las clasificaciones (dendrogramas) presentaron un buen soporte por re-muestreo y que el uso de diferentes niveles de resolución no afectó el patrón de similitud (Figs. 11, 12 y 13), es válido suponer que el patrón de similitud entre los repertorios de codas no es un artefacto del método. El patrón de similitud entre los repertorios de codas entre los distintos grupos (Fig. 11) sugiere que, al menos, tres clanes visitaron el Golfo de California durante el periodo de estudio, el mismo número de clanes registrado para las Islas Galápagos (Rendell y Whitehead, 2003a).

Esta semejanza en cuanto al número de clanes entre el Golfo de California y Galápagos sugiere que de alguna manera ambas áreas presentaron en su momento condiciones favorables similares para los cachalotes. Sin embargo, hacen falta más estudios sobre clanes en otras áreas, tanto de alta como de baja productividad, que permitan aclarar empíricamente si existe una correlación entre el número de clanes y la productividad o producción del ambiente.

El Golfo de California es un área muy productiva (Santamaría-del-Angel *et al.*, 1994), con alta abundancia de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) (Nevárez-Martínez *et al.* 2000), la presa principal del cachalote en la zona (Ruiz-Cooley

et al., 2004), donde se han reportado super-agregaciones de esta especie (Jaquet y Gendron, 2002) en áreas como el sur de la Isla de San Pedro Mártir, y las depresiones de Guaymas y el Farallón (Jaquet y Gendron, 2002). La presencia de dos clanes distintos registrados en una misma área, el sur de San Pedro Mártir (Fig. 14 y Tabla I), coincide con una alta abundancia de calamar (Nevárez-Martínez *et al.* 2000) y una alta abundancia de cachalotes (Jaquet y Gendron, 2002); sin embargo, la hipótesis sobre la relación entre estas tres variables, el número de cachalotes, número de clanes y la presencia de su alimento el calamar, requeriría de más estudio tanto en áreas de baja abundancia de individuos (tanto calamar como cachalotes), como en áreas de alta abundancia como la depresiones del Farallón y Guaymas dentro del Golfo.

La alta similitud entre los repertorios de coda entre primavera 2002 y otoño 2002 (Fig. 12) sugiere que los clanes dentro del Golfo de California no están segregados por temporada. Sin embargo, esta conclusión no puede ser generalizada debido a que no se cuenta con grabaciones para todas las áreas durante cada estación (Fig. 7). Ahora, por eliminación, se supone que diferentes grupos de un mismo clan estuvieron presentes en el Golfo de California en ambas estaciones de un mismo año. Además, considerando que un grupo de cachalotes no va a pertenecer a más de un clan a la vez, la alta proporción de individuos foto-identificados entre primavera 2002 y 2003 (Jaquet, comunicación personal ^{*1}) sugiere que un mismo clan estuvo presente en primavera 2002 y primavera 2003; aunque la similitud entre los repertorios de codas entre estos dos años sea baja. Además, considerando que el tamaño de muestra para primavera 2003 fue menor al obtenido para las dos estaciones del 2002, es posible que uno de estos dos clanes no se haya grabado en primavera 2003. Esto remarca la importancia de utilizar diferentes técnicas, como la foto-identificación y el análisis de codas, de manera simultánea si se quiere entender e interpretar adecuadamente la organización social, así como la distribución temporal y espacial de los clanes.

La baja similitud entre los repertorios de codas entre la costa de Sinaloa y Sonora con el resto de las áreas (Fig. 13) sugiere que, posiblemente, el clan B (Fig. 14) prefiera la costa de Sinaloa y Sonora. Esta idea es tentativa, debido a nuestro bajo tamaño de muestra (Tabla I). Sin embargo, por eliminación, se supone que un clan puede estar presente en dos áreas y que dos clanes pueden estar presentes en la misma área (Fig. 14) en el Golfo de California. Este patrón es muy similar al reportado para las Islas Galápagos, donde tres clanes simpátricos están presentes en un área muy productiva (Rendell y Whitehead, 2003a).

Validez y relevancia del estudio

El concepto de metodología *sensu stricto* obliga a hacer la siguiente reflexión: Una tesis es “*Disertación escrita que presenta a la universidad el aspirante al título de doctor en una facultad*” y/o “*Conclusión, o proposición que se mantiene con razonamientos*” (Real Academia Española, 1995). Esto es, una “tesis” es una idea sustentada por *razonamientos*, escrita en un documento, no el documento por sí mismo.

En la *praxis*, comúnmente consideramos nuestras tesis “*científicas*” cuando han sido revisadas y aprobadas por comités antes de su publicación, sin embargo, considero esta práctica aceptable si con base en las definiciones anteriores de “*tesis*”, éstas, cumplen además con ciertos argumentos de “*razonamiento*”. Por ello, a continuación discuto sobre la validez, congruencia y relevancia de la tesis sustentada en este documento desde la perspectiva de la disciplina que considero más adecuada para tal labor, la Filosofía de la Ciencia.

Examen filosófico de las hipótesis

Las hipótesis secundarias consideradas en este trabajo (Apéndice 4) se relacionaron con alguno de los objetivos particulares, mostrando así congruencia entre objetivos y estructura de las hipótesis. Así mismo, las hipótesis cumplieron con el principio de refutabilidad, sin embargo, los criterios

de refutación variaron considerablemente; ya que se utilizaron, desde criterios que dependen de la interpretación de un gráfico, hasta criterios basados en principios de significación estadística (Apéndice 4).

Esta variación en cuanto a los criterios de refutación permitió inferir algunos fallos en el método. Por ejemplo, en el caso de los dendrogramas (Apéndice 4), si existe la posibilidad de una doble interpretación del patrón de clasificación dependiendo de la percepción del observador, entonces, aunque la hipótesis original que se planteó sea refutable, este tipo de criterio no es completamente válido como método de refutación de acuerdo con Popper (2004). El pensamiento de Popper en torno a los criterios de cientificidad nos dice que no es válido considerar una hipótesis como científica si ésta no puede ser refutada sin ambigüedad, es decir, presume la existencia de un criterio metodológico lo suficientemente ingenioso que permita rechazar la hipótesis en cuestión.

El dendrograma es un método diseñado para analizar que tan diferentes son los objetos, más no para decidir si un objeto pertenece a una cierta clase o no. En nuestro estudio, los dendrogramas analizaron que tan diferentes eran los grupos en relación a los repertorios de codas. Esto representa un problema metodológico porque, aunque los dendrogramas fueron útiles para visualizar la similitud entre los grupos, no ofrecieron un criterio que permitiera, sin problemas de apreciación, discriminar si un grupo pertenecía a un clan con base en un criterio refutable.

Por esta razón, se necesitan nuevos métodos que ayuden resolver este inconveniente metodológico. Una investigación más a fondo sobre el comportamiento del índice de similitud podría ofrecer una alternativa para determinar empíricamente una regla de decisión que permita establecer si un grupo pertenece a un clan o no.

Este fallo en el método no significa que las interpretaciones de nuestras clasificaciones estén del todo equivocadas, más bien señala la necesidad de desarrollar métodos de comparación más precisos. Ya algunos autores han prevenido sobre los abusos y errores que se cometen cuando se asume una

posición extrema sobre la teoría de Popper (2004); ya que “la refutabilidad es válida como regla empírica pero insignificante como condición de razonamiento científico” (Feyerabend, 1989). i. e., resulta muy útil plantear hipótesis refutables, pero la refutabilidad no es el único criterio que otorga a un trabajo la cientificidad. Si la refutabilidad fuera el único criterio de cientificidad válido, el registro de anomalías que permiten el surgimiento de nuevos paradigmas (Kuhn, 2004) quedarían fuera de la labor científica, ya que una anomalía no se previene y por lo tanto no se puede considerar *a priori* en forma de una hipótesis.

Considero que el examen filosófico de las hipótesis fue útil para detectar fallos en el método de comparación de repertorios de codas, sin anular los resultados; pero, sugiriendo la necesidad de proponer o redefinir las técnicas de comparación de repertorios de codas.

Relevancia; Enfoque epistemológico

Este trabajo fue encontrado como relevante porque contribuye al proceso de generación, consolidación y cambio del conocimiento descrito por Kuhn (2004) como parte del proceso de desarrollo de la Ciencia. Kuhn (2004) nos dice que la Ciencia no es un proceso uniforme; presenta pulsos. Cada pulso representa un cambio en un paradigma y recibe el nombre de revolución científica. Los episodios cuando ocurren una revolución científica se caracterizan por el desarrollo de trabajos que prueban teorías que fueron útiles para explicar algunos hechos en cierto momento y circunstancia en otros contextos (Kuhn, 2004). Por esta razón, el estudio sobre el repertorio de codas que presento en este documento es un buen ejemplo de ciencia normal, ya que pone a prueba una teoría (la relación entre la estructura social de los cachalotes y la cultura) que fue útil para explicar algunos hechos en otra circunstancia (la población de cachalotes del Pacífico Sur) en un contexto diferente (el Golfo de California).

Además, Kuhn (2004) también nos dice que los episodios que anteceden a una revolución científica se caracterizan por el desarrollo de trabajos que presentan

nuevos paradigmas que explican de mejor manera algunos hechos que otros paradigmas más viejos no habían podido explicar del todo. Normalmente estos trabajos no son aceptados por toda la comunidad científica inmediatamente (Kuhn, 2004). La influencia de la cultura en la estructura social de los cetáceos no ha sido totalmente aceptada por toda la comunidad científica (Freeberg, 2001; Ingold, 2001; Kuczaj, 2001; Maestripieri y Whitham, 2001; Miller, 2001; Mitchell, 2001; Premack y Hauser, 2001; Ripoll y Vauclair, 2001; Slater, 2001). Además, la existencia de clanes culturales en cachalotes ha explicado mejor cómo es que se organiza la población de cachalotes comparado con los enfoques clásicos como el genético y el geográfico (Rendell y Whitehead, 2003a). Considerando que actualmente hay muy pocos estudios sobre la cultura en los cachalotes (Rendell y Whitehead, 2003a; Whitehead y Rendell, 2004; Rendell y Whitehead, 2005a; Rendell y Whitehead, 2005b; Rendell *et al.*, 2005), considero que este estudio, en una escala más general, también está contribuyendo a la consolidación de un nuevo paradigma, la importancia de la cultura en la biología de los cetáceos.

Relevancia; Enfoque pragmático

Una de las estrategias más comunes utilizadas en la conservación de las especies es la definición de unidades para manejo y conservación. En el caso de los cachalotes, estudios recientes han mostrado que la población del Pacífico Sur puede ser dividida en 5 clanes que no están segregados geográficamente (Rendell y Whitehead, 2003a). Para aquellas especies que presentan sub-poblaciones simpátricas, como los cachalotes, la definición de unidades de conservación por debajo del nivel de subespecie es muy importante, debido a que las distintas variantes culturales representan diferentes estrategias de sobre vivencia (Whitehead y Rendell, 2004). Por esta razón, si consideramos la importancia de la cultura en la organización social de los cetáceos, entonces es posible redefinir el concepto de “unidad evolutiva significativa” (Moritz, 1994) y aceptar que los clanes de cachalote representan variantes simpátricas determinadas culturalmente que pueden ser

consideradas como unidades de manejo y conservación (Whitehead *et al.*, 2004).

Diferentes enfoques se han utilizado con el propósito de definir subpoblaciones dentro del Golfo de California. El perfil de ácidos grasos (Cruz-Vizcaíno, 2005) y el patrón de marcas en la aleta caudal (Guerrero de la Rosa, 2006; Zavala-Hernández *et al.*, 2004) de los cachalotes del Golfo, sugieren la presencia de dos sub-poblaciones en la zona. Considerando que distintos clanes han mostrado diferencias en cuanto al uso del hábitat, movimientos, estrategias alimentarias (Whitehead y Rendell, 2004) y patrones de marcas en la aleta caudal (Whitehead *et al.*, 1998); se propone aquí que, las dos subpoblaciones que se han sugerido frecuentan el Golfo de California, podrían corresponder a dos diferentes clanes. Sin embargo, se requiere recolectar más datos sobre codas, ácidos grasos y tipos de marcas en la aleta caudal manera simultánea con el propósito de corroborar esta hipótesis empíricamente.

CONCLUSIÓN

Al menos tres clanes de cachalote frecuentaron el Golfo de California en primavera y otoño 2002 y primavera 2003, presentando un patrón de distribución simpátrico similar al encontrado para los clanes en las Islas Galápagos en la zona situada al Sur de la Isla de San Pedro Mártir. Con base en este resultado se puede concluir que la población de cachalotes en el Golfo de California está estructurada en clanes al igual que la población del Pacífico Sur. Así mismo, se concluye que es necesario precisar los métodos de comparación de repertorios con base en el principio de refutabilidad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el tamaño de muestra en al menos otras dos áreas que presentan alta abundancia de cachalotes, las fosas Farallón y Guaymas, con el propósito de poder generalizar en un futuro el patrón espacial y temporal de los clanes dentro del Golfo de California.

Dado que existen re-capturas fotográficas entre cachalotes avistados en el Golfo de California y las Islas Galápagos, así como similitudes entre algunos tipos de coda, se recomienda comparar los repertorios de codas grabadas en el Golfo de California y el Pacífico Sur. De esta manera se espera en un futuro determinar con más precisión si el patrón de distribución de algunos clanes abarca ambos hemisferios dentro del Océano Pacífico.

Las herramientas metodológicas que se han desarrollado hasta el momento para comparar los repertorios de codas se basan en la comparación visual de patrones de clasificación y la convergencia de este patrón con las frecuencias en que se presentan distintos tipos de codas. Por tal razón, se recomienda determinar en un futuro un valor crítico del índice de similitud entre repertorios propuesto por Rendell y Whitehead (2003a) que permita discriminar con un criterio estadístico de refutación si un grupo de cachalote pertenece a un cierto clan.

LITERATURA CITADA

- Arnbom, T. 1987. Individual identification of sperm whales. *Report of the International Whaling Commission*. **37**, 201–204.
- Backus, R. H. & W. E. Shevill. 1966. Physeter clicks. 510-527. En: *Whales, dolphins and porpoises* (Norris, K. Ed.) University of California Press, Berkley.
- Berta, A. & J. L. Sumich. 1999. *Marine mammals: Evolutionary Biology*. San Diego Academic Press, San Diego. 494p.
- Best, P. B. 1979. Social organization in sperm whales, *Physeter macrocephalus*. 227-289. En: *Behavior of marine animals, vol. 3* (Winn, H. E. & B. L. Olla Eds.). Plenum Press, New York.
- Bonner, N. 2002. *Whales of the world*. Facts on File Inc., New York. 191p.
- Calinski, R. B. & J. Habarasz, 1974. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics*. **3**, 1-27.
- Christal, J., Whitehead, H. & E. Lettevall. 1998. Sperm whale social units: variation and change. *Canadian Journal of Zoology*. **76**, 1431-1440.
- Cruz-Vizcaíno, M. 2005. Relación del perfil de ácidos grasos del cachalote (*Physeter macrocephalus*) y el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz. 72p.
- Dillon, M. C. 1996. Genetic structure of sperm whale populations assessed by mitochondrial DNA sequence variation. Tesis de doctorado, Dalhousie University, Halifax.

- Dufault, S. y H. Whitehead. 1993. Assessing the stock identity of sperm whales in the Eastern Equatorial Pacific. *Report of the International Whaling Commission*. **43**, 469–475.
- Feyerabend, P. 1989. *Diálogo sobre el Método*. Cátedra Teorema, Madrid. 165.
- Ford, J. K. B. 1989. Acoustic behavior of resident Killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island British Columbia. *Canadian Journal of Zoology*. **67**, 727-745.
- Ford, J. K. B. 1991. Vocal traditions among resident Killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. *Canadian Journal of Zoology*. **69**, 1454-1483.
- Freeberg, T. M. 2001. Communicative cultures in cetaceans: Big questions are unanswered, functional analyses are needed. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Gendron, D. 2000. Family Physeteridae. 635. En: *Mamíferos del Noroeste de México*. (Álvarez-Castañeda, S. T. y J. L. Patton Eds). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz. México.
- Gillespie, D. 1997. An acoustic survey for sperm whales in the Southern Ocean sanctuary conducted from the R/V Aurora Australis. *Report of the International Whaling Commission*. **47**, 897–908.
- Guerrero-De-La-Rosa, F. 2006. Análisis de la frecuencia y tipos de marcas en la aleta caudal de cachalotes del Golfo de México y Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Área de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz. 54.
- Ingold, T. 2001. The use and abuse of ethnography. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.

- Jaquet, N. & D. Gendron. 2002. Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology*. **141**, 591-601.
- Jaquet, N., Gendron, D. & A. Coakes. 2003. Sperm whales in the Gulf of California: Residency, movements, behavior, and the possible influence of variation in food supply. *Marine Mammal Science*. **19**(3), 545-562.
- Kawakami, T. 1980 A review of sperm whale food. *Scientific Report Of the Whales Research Institute Tokyo* **32**, 199-218.
- Kuczaj, S. 2001. Cetacean culture: Slippery when wet. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Kuhn, T. 2004. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 351p.
- Leaper, R., Gillespie, D. & V. Papastavrou. 2000. Results of passive acoustic surveys for odontocetes in the Southern Ocean. *Journal of Cetacean Research and Management*. **2**(3), 187–196.
- Letteval, E., Ritcher, C., Jaquet, N., Slooten, E., Dawson, S., Whitehead, H., Chirstal, J., y P. M. Howard. 2002. Social structure and residency in aggregations of male sperm whales. *Canadian Journal of Zoology*. **80**, 1189-1196.
- Madsen, P. T. Wahlberg, M. & B. Møhl. 2002. Male sperm whale (*Physeter macrocephalus*) acoustics in a high-latitude habitat: implications for echolocation and communication. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. **53**, 31–41.

- Maestriperi, D. & J. Whitham. 2001. Teaching in marine mammals? Anecdotes versus science. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Manly, B. F. 1994. *Multivariate statistical methods*. Chapman & Hall. New York. 215p.
- Miller, P. J. 2001. Cetacean science does not have to be pseudo-science. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Milligan, G. W. & M. C. Cooper. 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*. **50**, 159–179.
- Mitchell, R. W. 2001. On not drawing the line about culture: Inconsistencies in interpretation of nonhuman cultures. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Møhl, B., Wahlberg, M., Madsen, P. T., Miller, L. A. & A. Surlykke. 2000. Sperm whale clicks: Directionality and source level revisited. *Journal of the Acoustical Society of America*. **107**, 638–648.
- Moore, K. E., Watkins, W. A. & P. L. Tyack, 1993. Pattern similarity in shared codas from sperm whales (*Physeter catodon*). *Marine Mammal Science*. **9**, 1–9.
- Moritz, C., 1994. Defining 'evolutionary significant units' for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. **9**, 373–375.
- Nevárez-Martínez, M. O., Hernández-Herrera, A., Morales-Bojórquez, E., Balmori-Ramírez, A., Cisneros-Mata, M. A., & R. Morales-Azpeitia. 2000. Biomass and distribution of the jumbo squid (*Dosidicus gigas* d'Orbigny, 1835) in the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research* **49**, 129–140.

- Noris, K. S. & G. H. Harvey. 1972. An Theory for the function of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon* L.). 397-417. En: *Animal orientation and navigation*. (Galler, S. R., Schmidt-Koenig, K., Jacobs, G. J. & R. E. Bellevile Eds.) NASA. Washington D. C.
- Pavan ,G., Haywrad, T. J., Borsani, J. F., Priano, M., Manghi, M., Fosati, C. & J. Gordon. 2000. Time patterns of sperm whale codas recorded in the Mediterranean sea 1985-1996. *Journal of the Acoustical Society of America*. **107**(6), 3487-3495.
- Pitman, R. L. & S. J. Chivers, 1999. Terror in black and white. *Natural History* **107**, 26–29.
- Popper, K. 2004. *La lógica de la investigación científica*. Ed. Tecnos. Madrid. 451p.
- Premack, D. & M. D. Hauser. 2001. A whale of a tale: Calling it culture doesn't help. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Real Academia Española, 1995. *Diccionario de Lengua Española*. Edición Electrónica Ver. 2.1.0
- Reeves, R. R., Stewart, B. S., Clapham, P. J. & J. A. Powell. 2002. *Guide to marine mammals of the world*. National Audubon Society, New York. 527p.
- Rendell, L. E. & H. Whitehead. 2001. Culture in whales and dolphins. *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309-382.
- Rendell, L. E. & H. Whitehead. 2003a. Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*. **270**, 225-231.

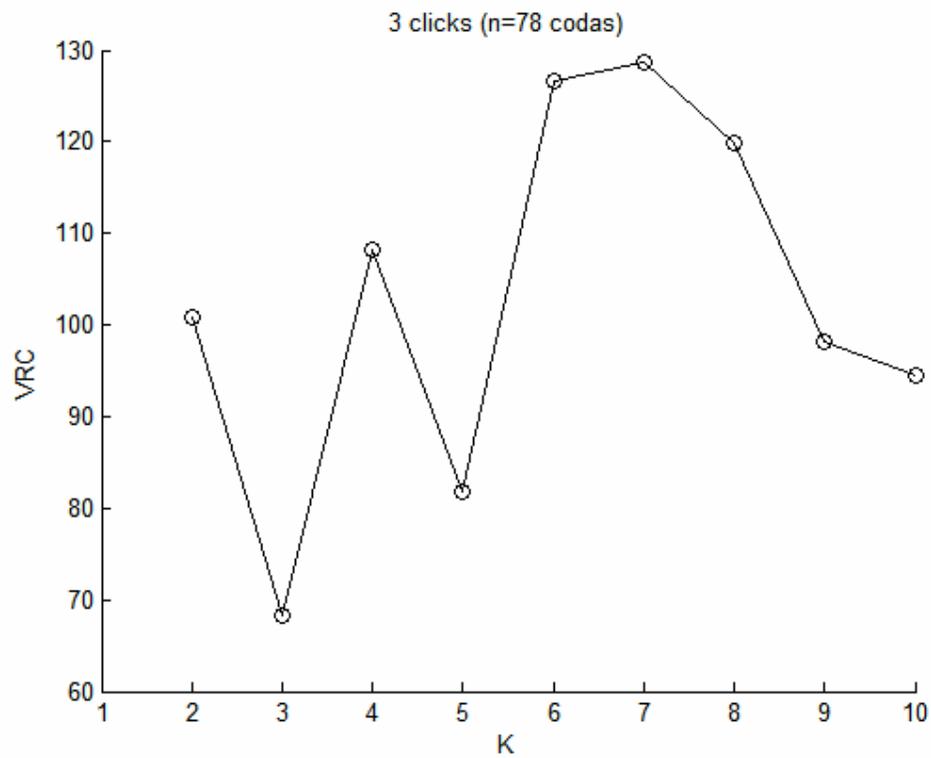
- Rendell, L. E. & H. Whitehead. 2003b. Comparing repertoires of sperm whales: a multiple methods approach. *Bioacoustics*. **14**, 61-81.
- Rendell, L. E. & H. Whitehead. 2004. Do sperm whales share coda vocalizations? Insights into coda usage from acoustic size measurements. *Animal Behaviour*. **67**, 845–874.
- Rendell, L. & H. Whitehead. 2005a. Coda playbacks to sperm whales in Chilean waters. *Marine Mammal Science*. **21**, 106-115.
- Rendell, L. E., & H. Whitehead. 2005b. Spatial and temporal variation in sperm whale coda vocalizations: Stable usage and local dialects. *Animal Behaviour* **70**, 191-198.
- Rendell, L., Whitehead, H. & A. Coakes. 2005. Do breeding male sperm whales show preferences among vocal clans of females? *Marine Mammal Science*. **21**: 116-120.
- Rice, D. W. 1989. Sperm whale. *Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758. 177-233. En: *Handbook of marine mammals. Vol (4). River dolphins and the larger toothed whales*. (Ridgway, S. & R. Harrison, Eds.). Academic Press, London.
- Ripoll, T. & J. Vauclair. 2001. Can culture be inferred only from the absence of genetic and environment actors? *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Ruiz-Cooley, R. I., Gendron, D., Aguñiga, S., Mesnick, S. & J. D. Carriquiry. 2004. Trophic relationships between sperm whales and jumbo squid using stable isotopes of C and N. *Marine Ecology Progress Series*. **277**, 275–283.

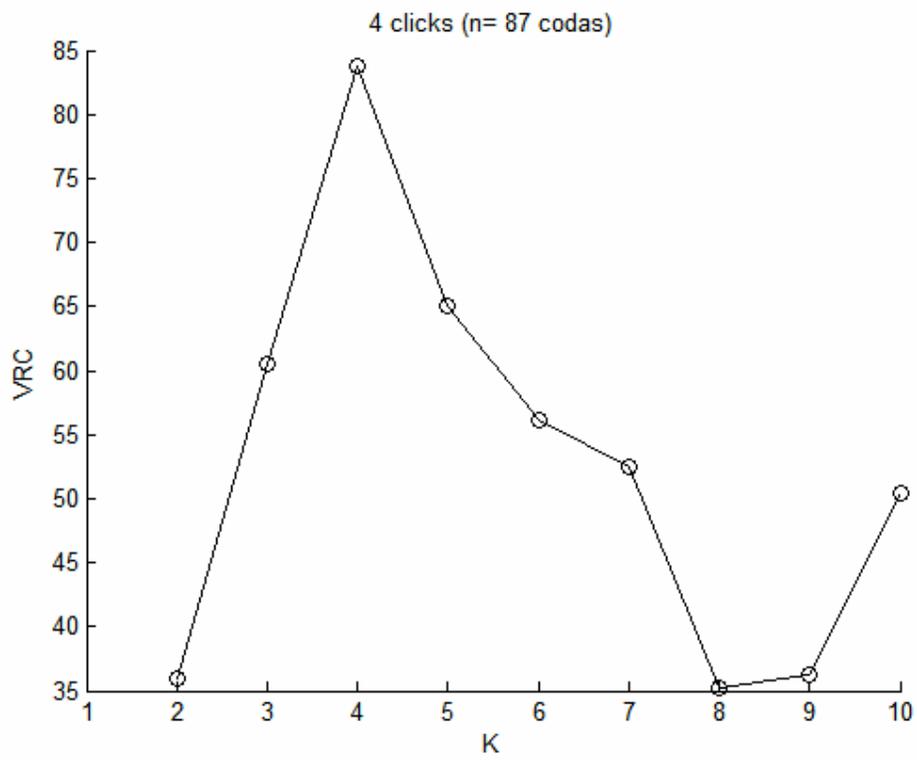
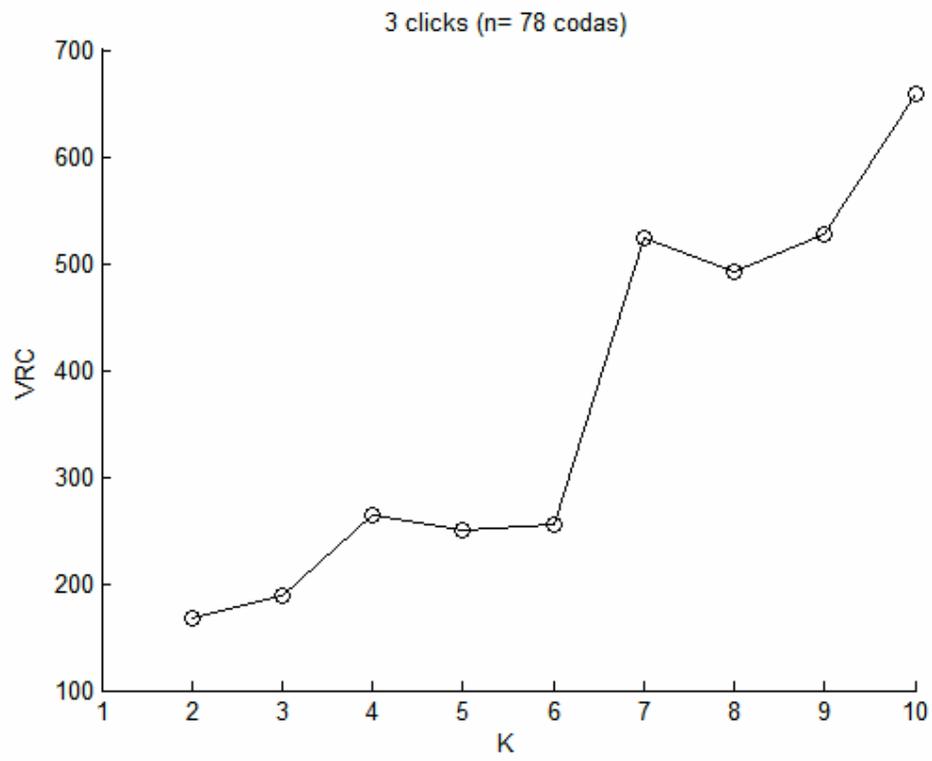
- Santamaría-del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S. & F. E. Müller-Karger. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. **99**, 7411–7421.
- Slater, P. J. 2001. There's CULTURE and "Culture". *Behavioral and Brain Sciences*. **24**, 309–382.
- Watkins, W. A. & W. E. Schevill, 1977. Sperm whale codas. *Journal of the Acoustical Society of America*. **62**, 1486–1490.
- Weilgart, L. & H. Whitehead. 1997. Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire in South Pacific sperm whales. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. **40**, 277-285.
- Whitehead, H. 1996. Babysitting, dive synchrony and indications of alloparental care in sperm whales. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. **38**, 237-244.
- Whitehead, H. & L. Weilgart. 1991. Patterns of visually observable behavior and vocalizations in groups of female sperm whales. *Behaviour*. **118**, 275-296.
- Whitehead, H., Dillon, M., Dufault, S., Weilgart, L. & J. Wright. 1998. Non-geographically based population structure of South Pacific sperm whales: dialects, fluke-markings and genetics. *Journal of Animal Ecology*. **67**, 253–262.
- Whitehead, H. & L. Weilgart. 2000. The sperm whale: Social females and roving males. 154-172. En: *Cetacean Societies*. (Mann, J. Connor, C. C., Tyack, P. L. & H. Whitehead Eds.) University of Chicago Press, Chicago.

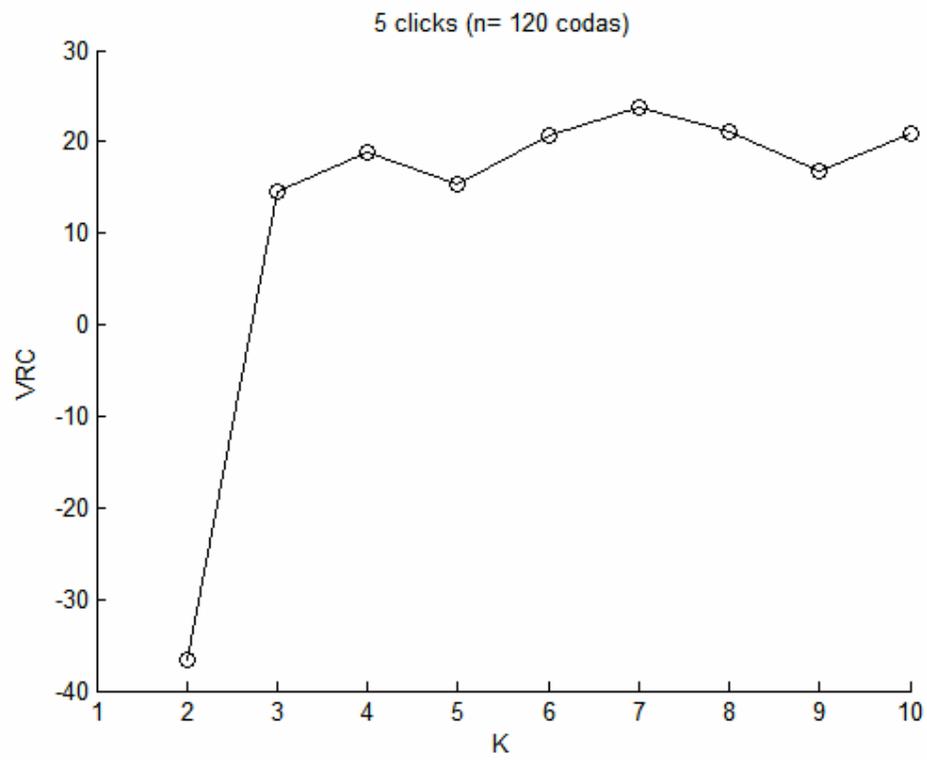
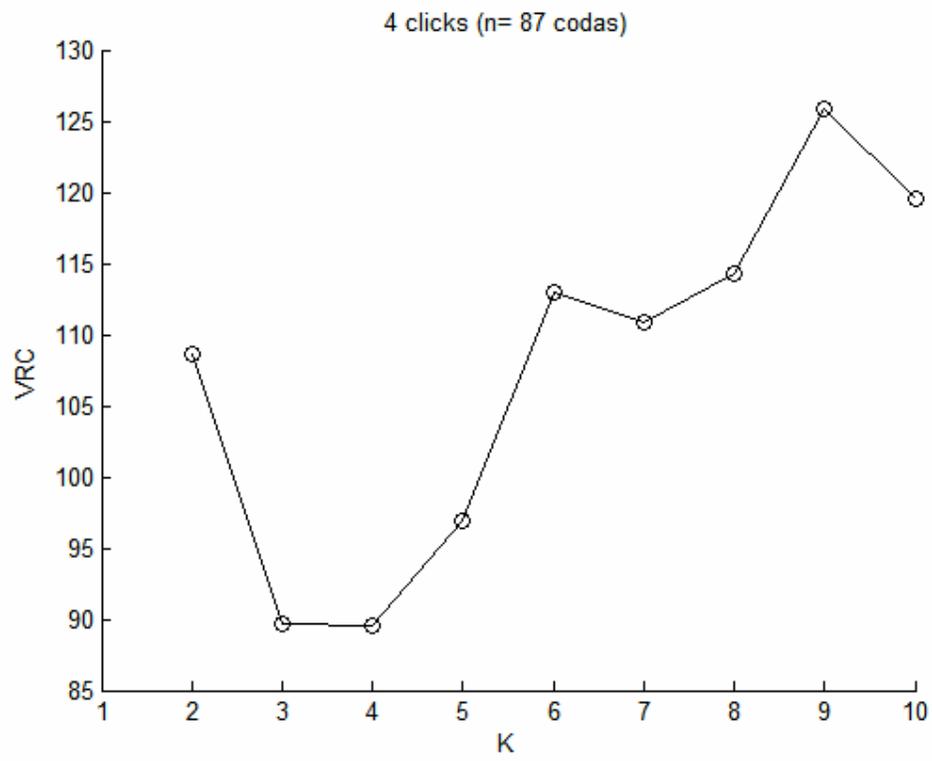
- Whitehead, H. 2003a. *Sperm whales: Social evolution in the ocean*. The University of Chicago Press, Chicago. 431p.
- Whitehead, H. 2003b. Society and culture in the deep and open ocean: The sperm whale and other cetaceans. 444-464. En: *Animal Social Complexity: Intelligence, culture and individualized societies*. (Waal, F. B. M. & P. L. Tyack Eds.) Harvard University Press, Cambridge.
- Whitehead, H. & L. Rendell. 2004. Movements, habitat use and feeding success of cultural clans of South Pacific sperm whales. *Journal of Animal Ecology*. **73**, 190–196.
- Whitehead, H., Rendell, L. Osborne, R. W. & B. Würsig. 2004. Culture and conservation of non-humans with reference to whales and dolphins: review and new directions. *Biological Conservation*. **120**, 431–441.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall. New Jersey. 718p.
- Zavala-Hernández, V., Gendron, D., & N. Jaquet. 2004. Diferenciación de grupos de cachalotes del Golfo de California por los tipos de marcas en las aletas caudales. XXIX Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos. La Paz, México.

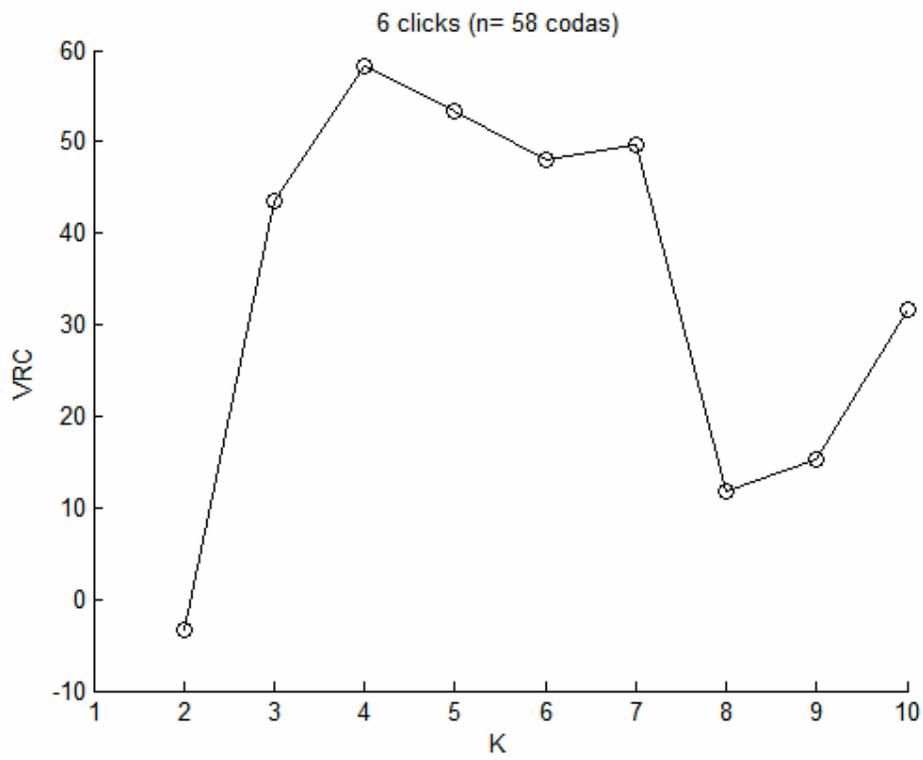
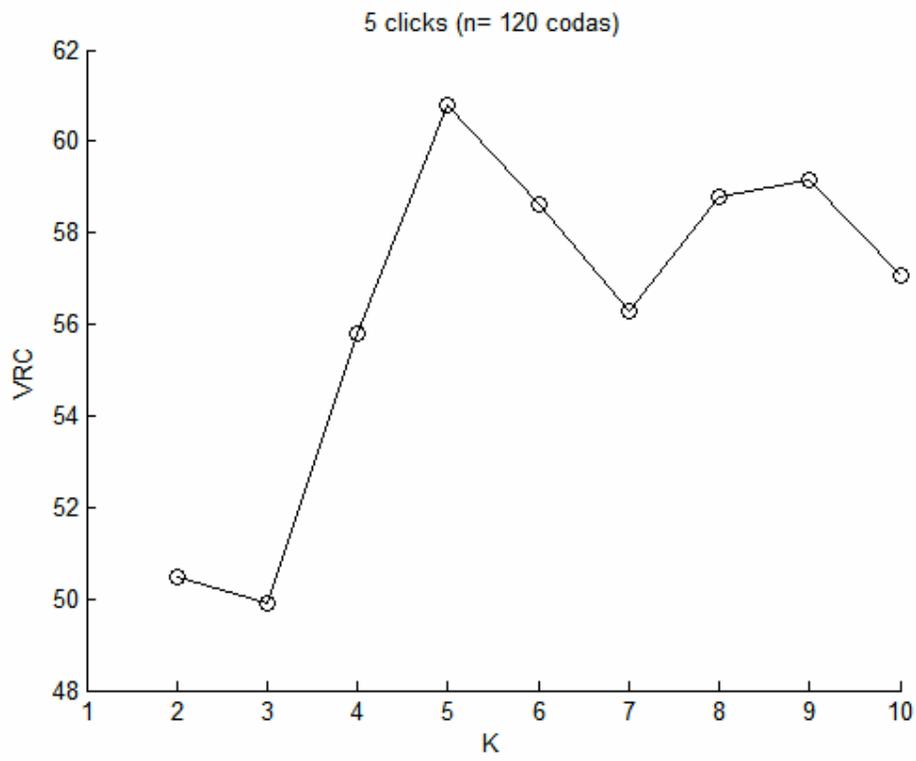
Apéndice 1

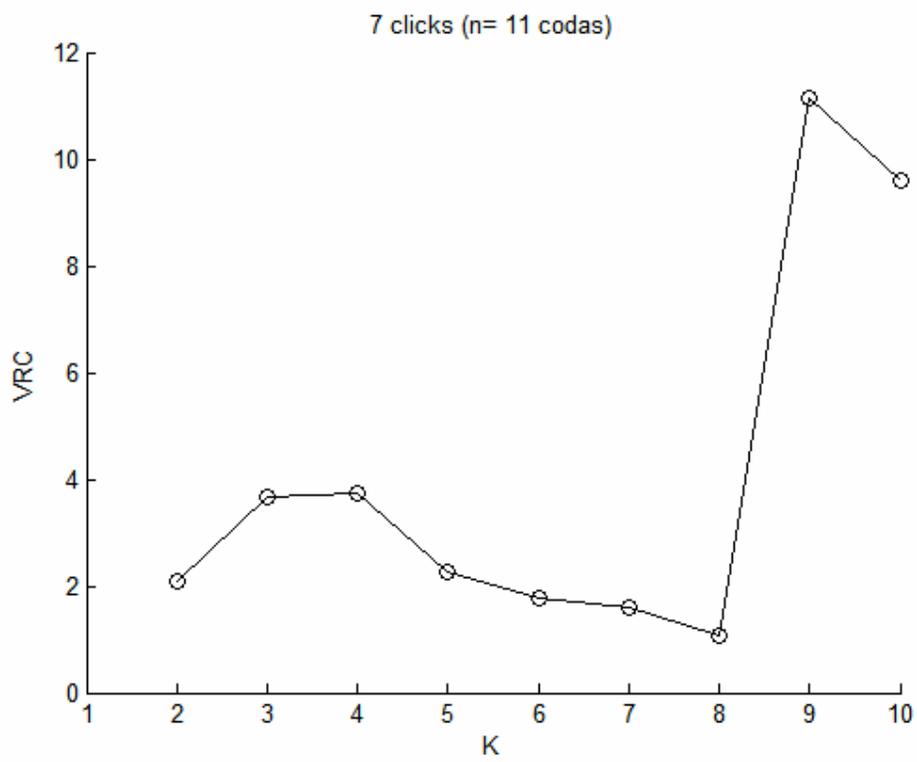
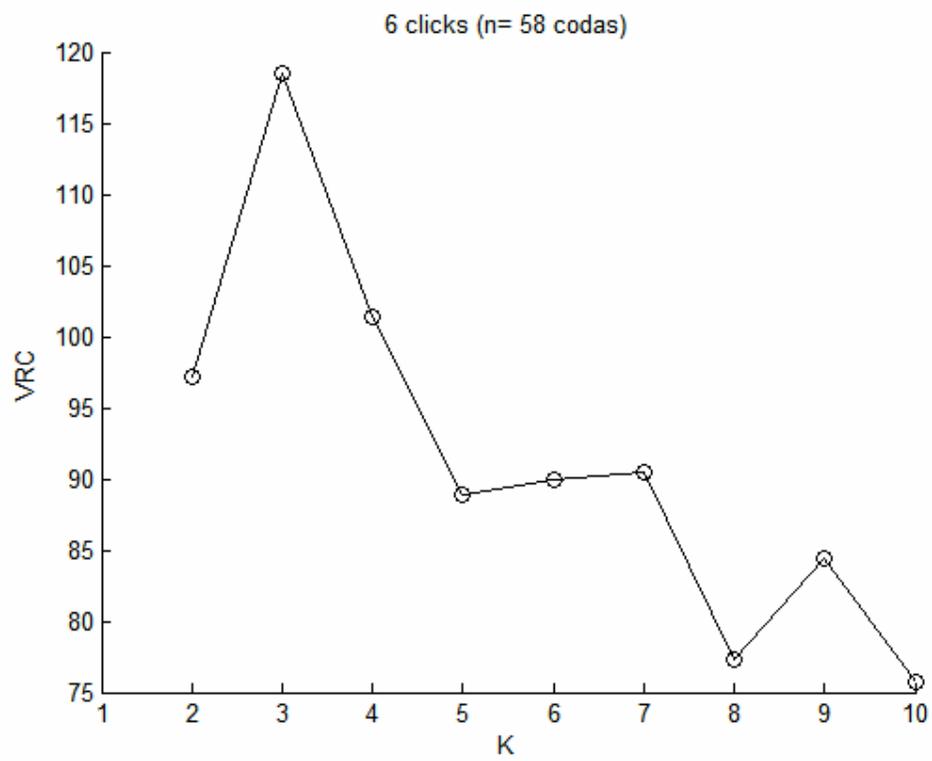
Relación entre la tasa de cambio de la varianza (VRC) *versus* el número de grupos ($1 < k < 11$) para codas de diferentes tamaños (de 3 a 13 clicks), a partir de pruebas de K-promedios utilizando dos tipos distintos de distancia, la euclidiana y la distancia máxima absoluta. Nótese la ausencia de un máximo local claro en la mayoría de las gráficas. En todos los casos se presenta primero el resultado obtenido con distancia euclidiana seguido del obtenido mediante distancia máxima absoluta.

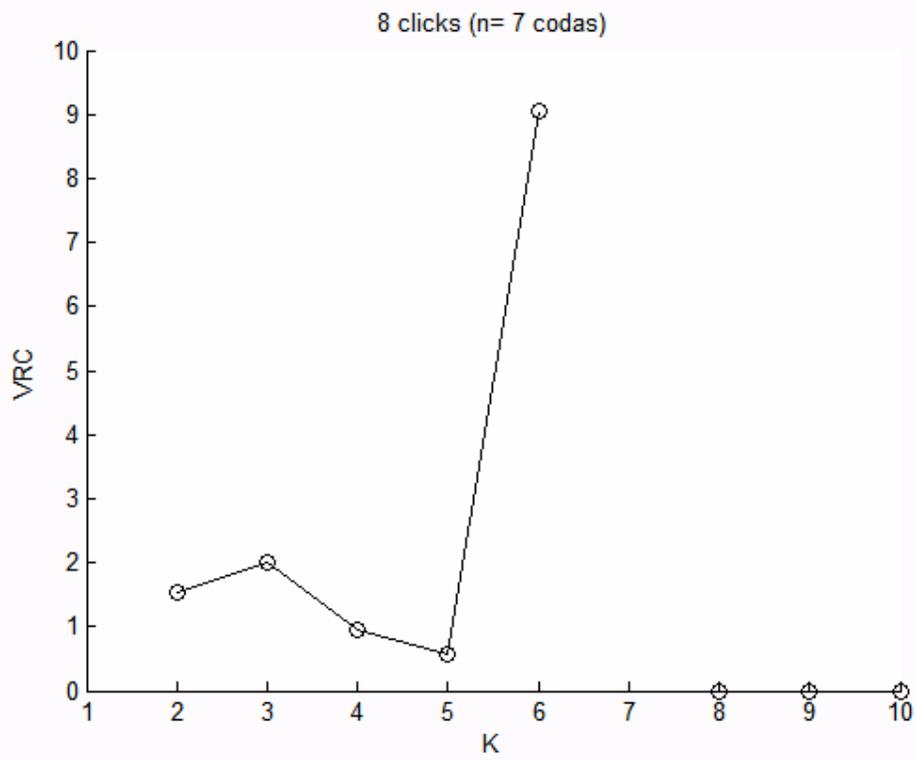
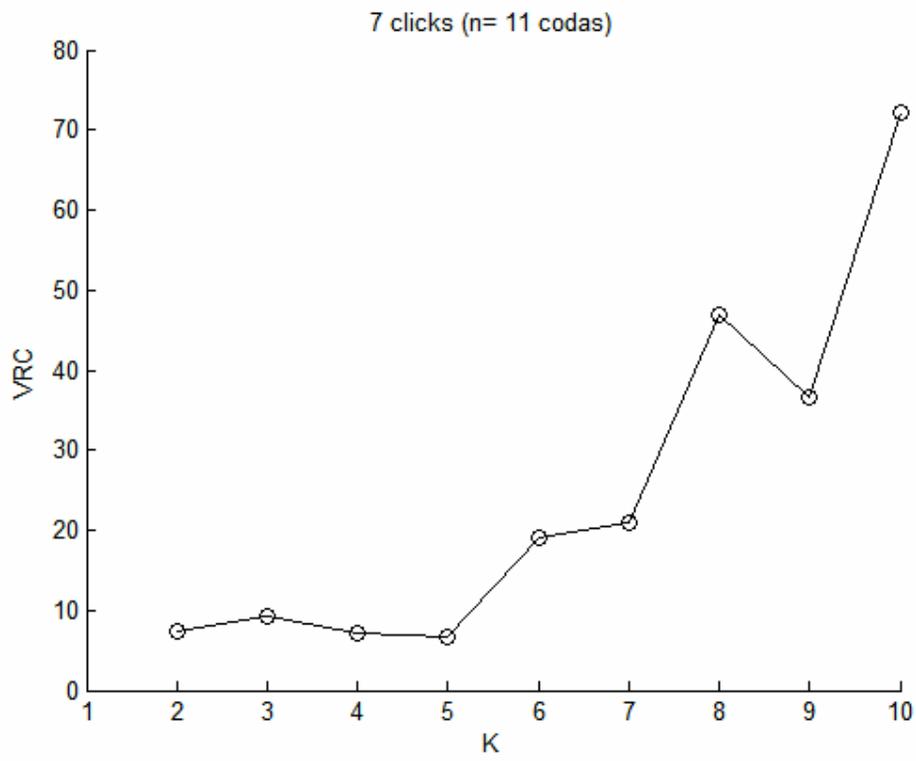


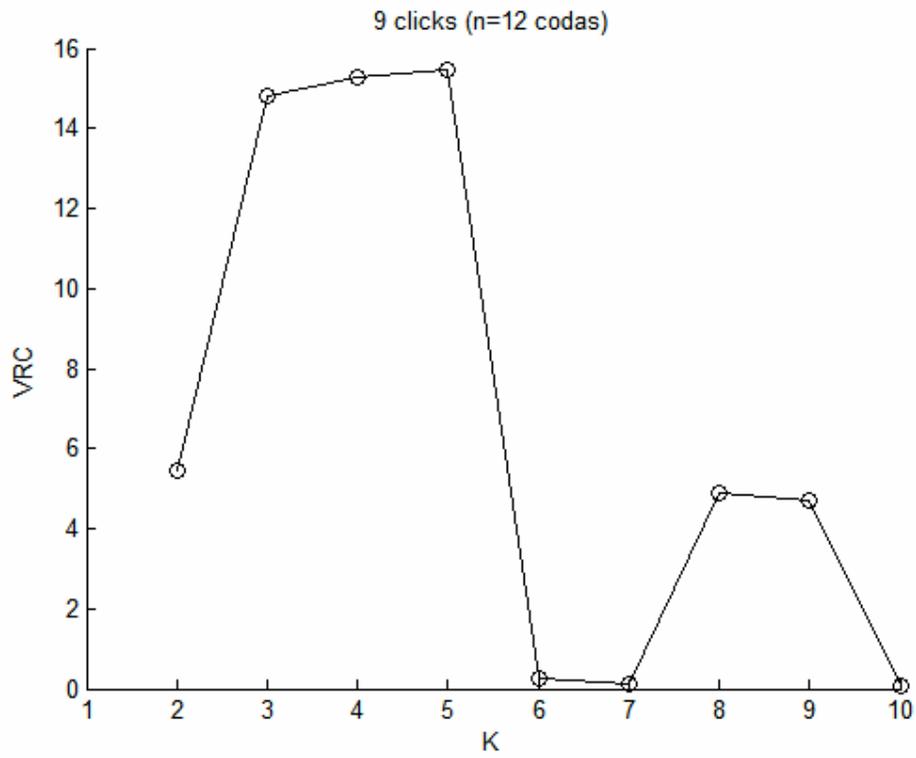
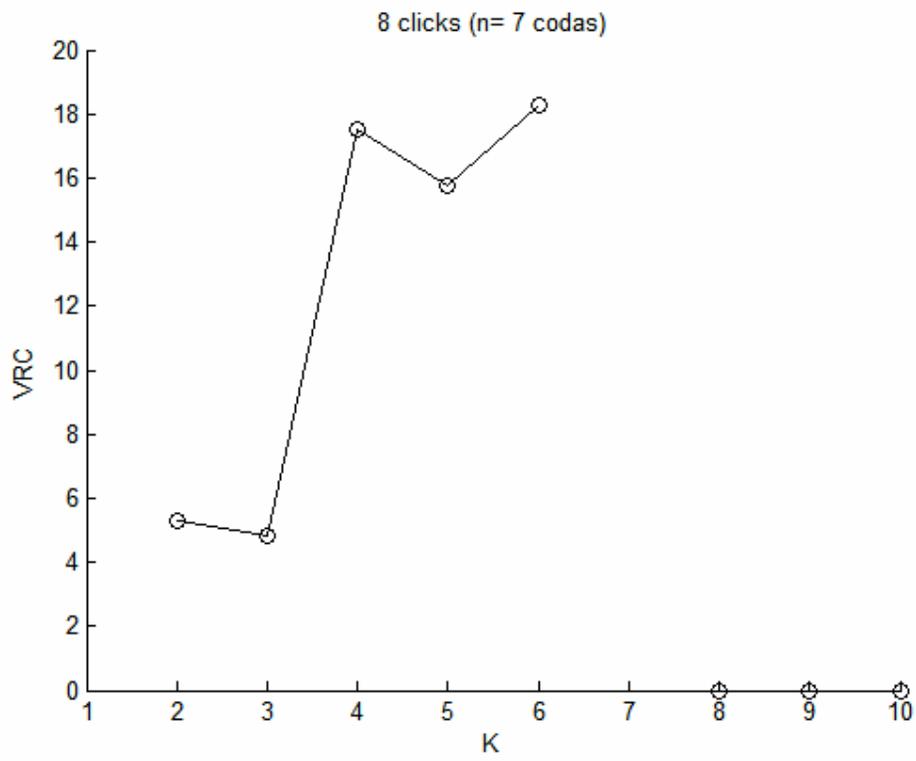


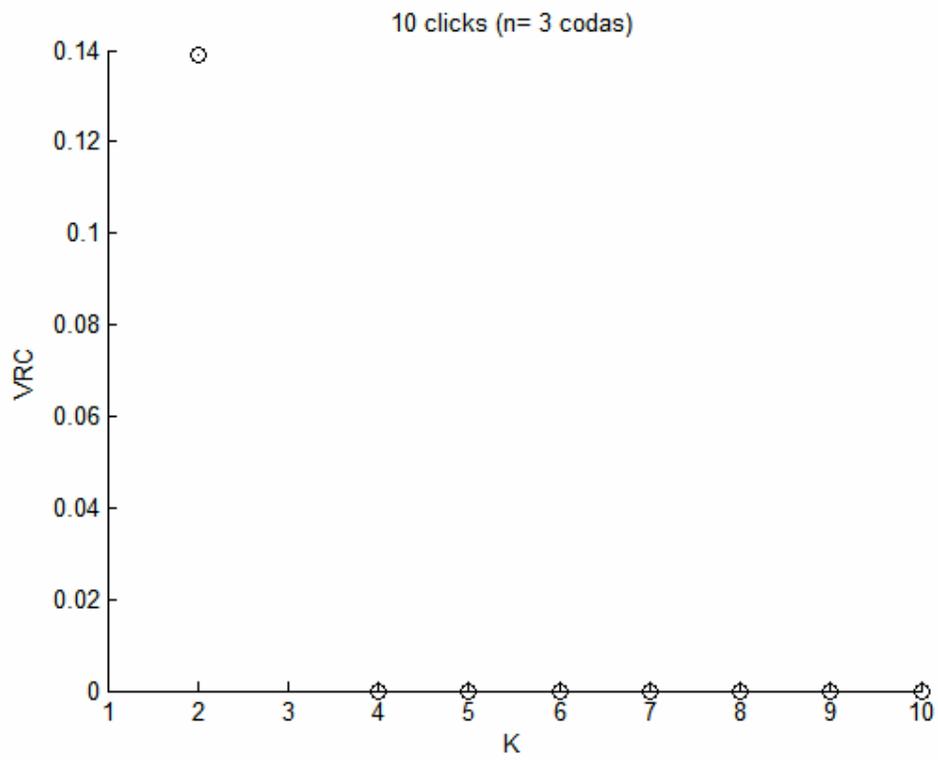
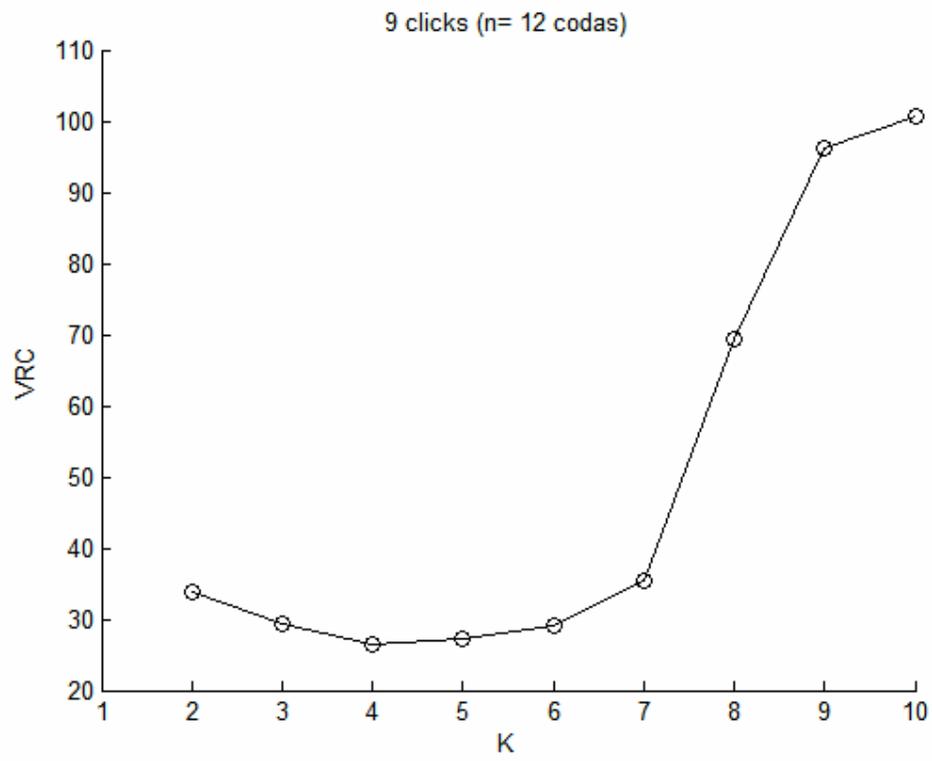


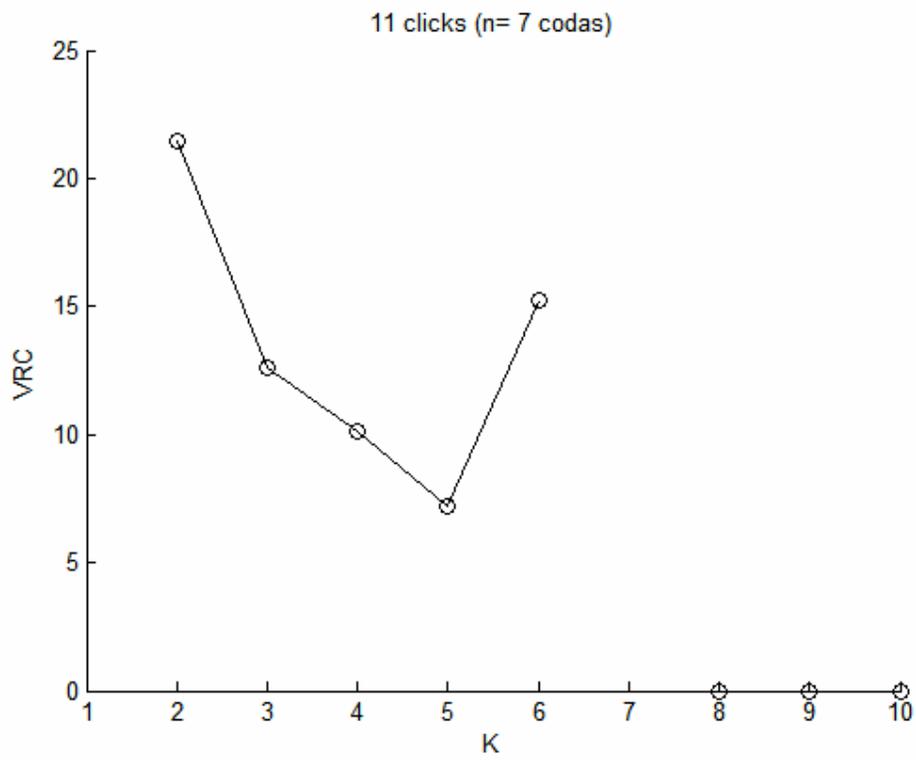
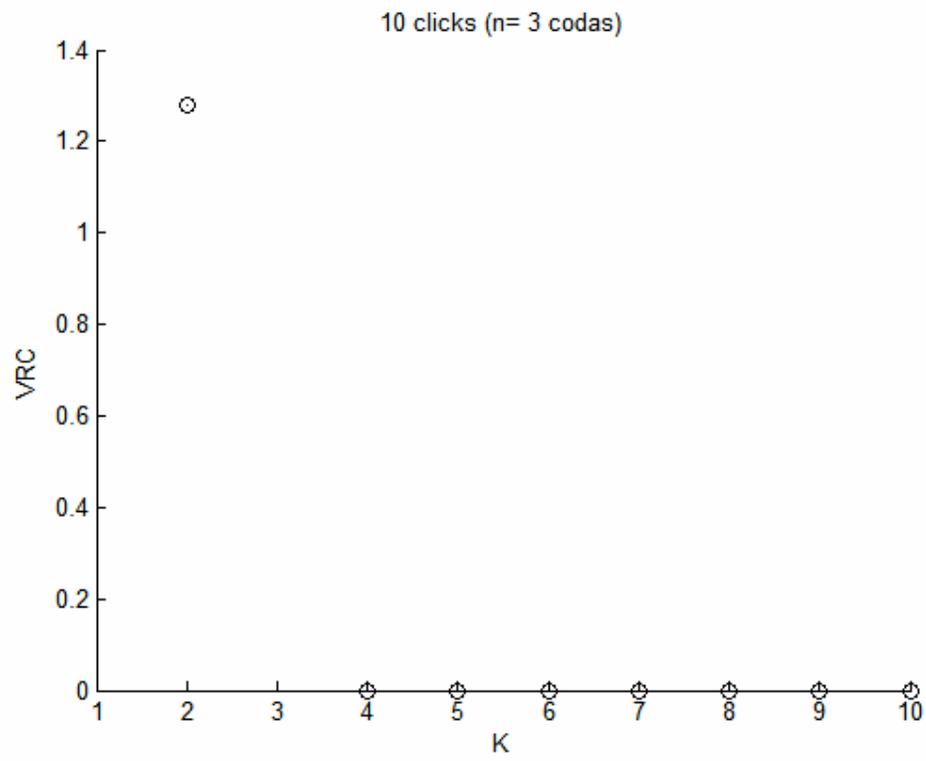


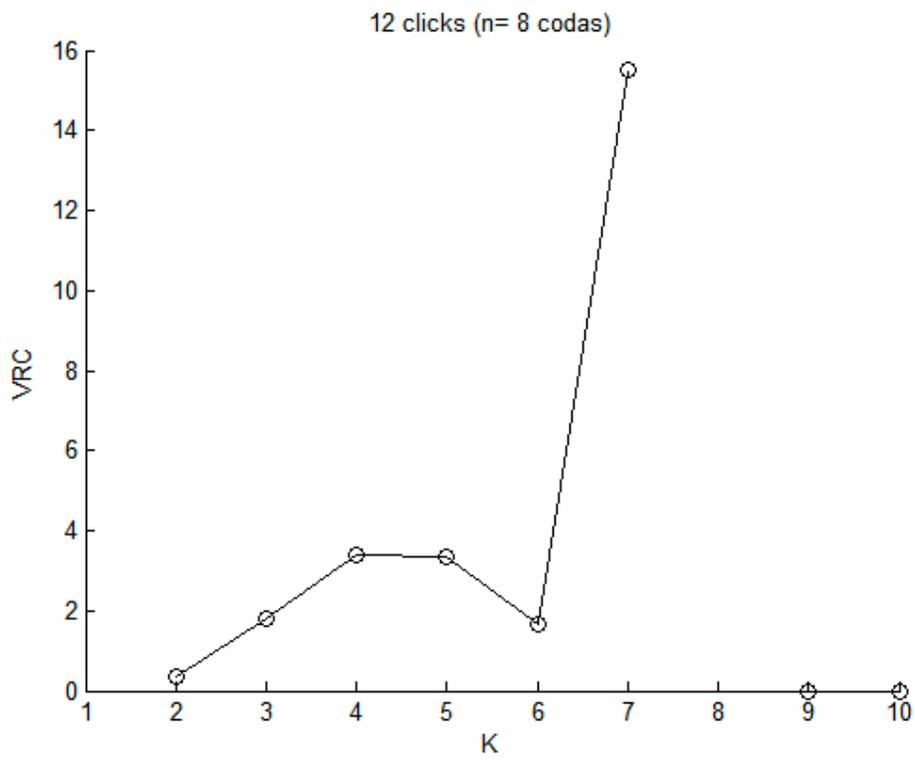
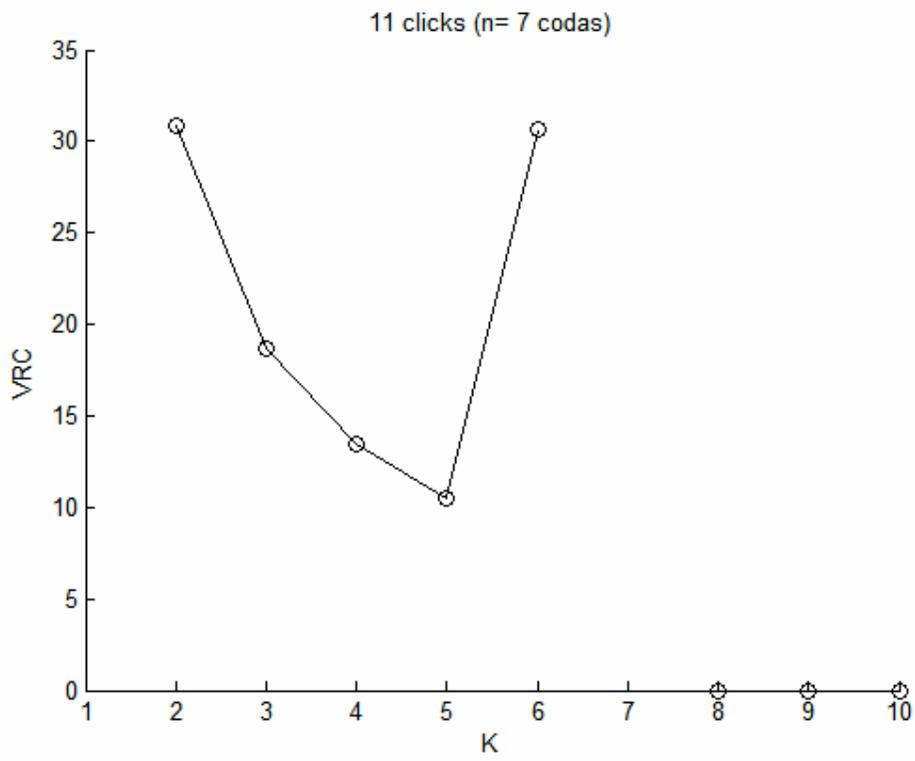


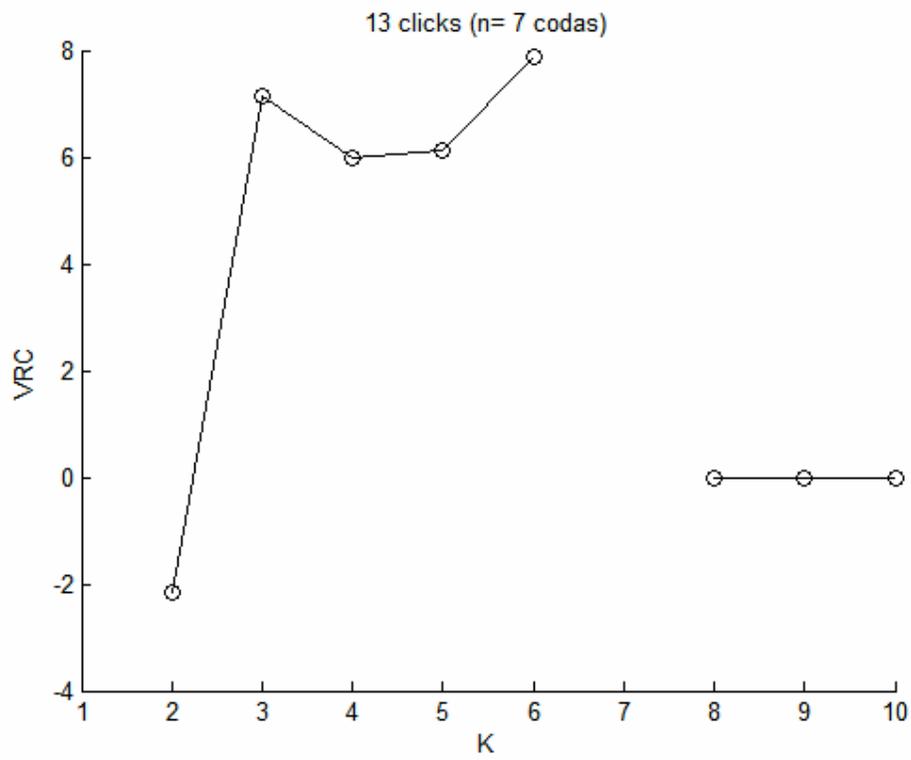
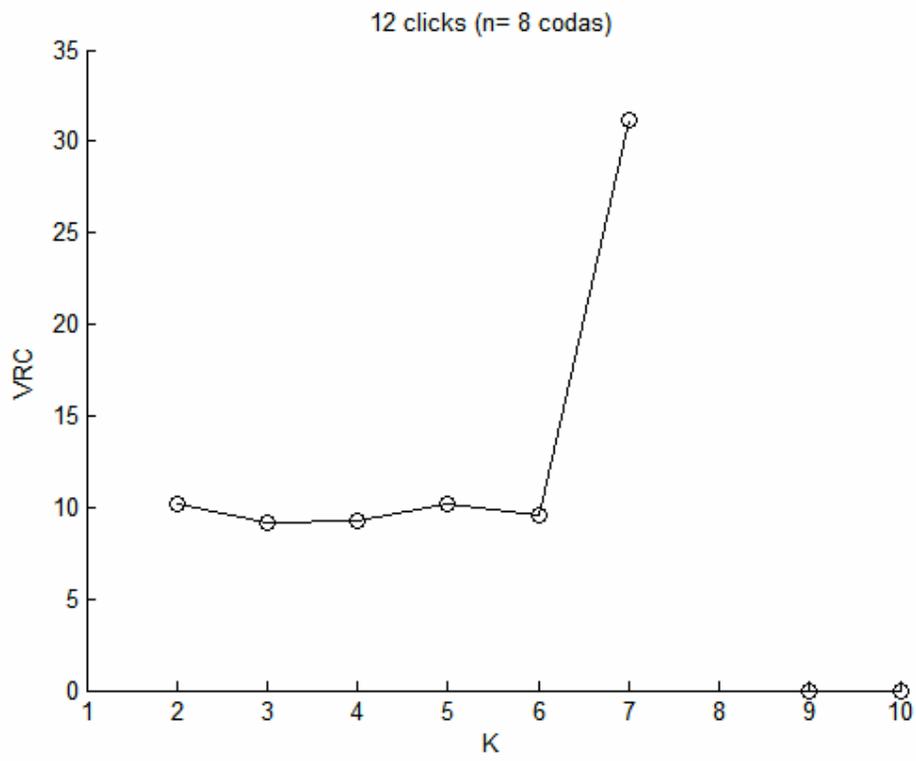


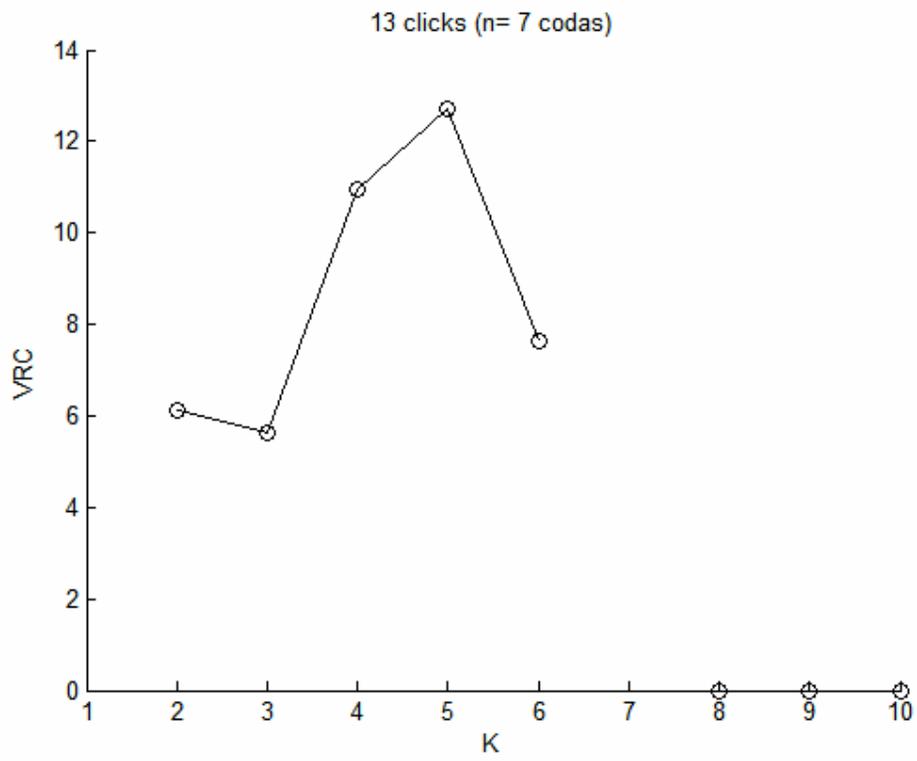












Apéndice 2

Frecuencias de los distintos tipos de coda por tamaño de coda de grupos de cachalotes grabados en el Golfo de California. Los tipos de coda se determinaron mediante pruebas de k-promedios y el criterio de Duda y Hart para determinar el número de grupos. Los números entre paréntesis indican el número de codas grabadas por grupo, y el número al final de cada columna indica el número de tipos de coda grabados por grupo. La última columna indica el número de codas grabadas por tipo de coda. El número señalado con un asterisco corresponde al número total de codas incluidas en el proceso de clasificación.

Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
1	3			1					1
2	3			1					1
3	3							1	1
4	3				1				1
5	3							1	1
6	3							1	1
7	3				1				1
8	3			1					1
9	3		1						1
10	3			1					1
11	3			1					1
12	4			1					1
13	3			1					1
14	4						1		1
15	3							1	1
16	4			1					1
17	3			1					1
18	4			1					1
19	3				1				1
20	4			1					1
21	3			1					1
22	4			1					1
23	3				1				1
24	4				1				1
25	3			1					1
26	4					1			1

Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
27	3			1					1
28	4			1					1
29	3				1				1
30	4			1					1
31	3							1	1
32	4			1					1
33	5	7	9		94	3	4	3	120
34	3			1					1
35	4			1					1
36	3							1	1
37	4			1					1
38	3				1				1
39	4					1			1
40	3				1				1
41	4					1			1
42	3				1				1
43	4			1					1
44	3		1						1
45	4					1			1
46	3				1				1
47	4			1					1
48	3				1				1
49	4	1							1
50	3				1				1
51	4			1					1
52	3				1				1
53	4			1					1
54	6	1							1
55	3				1				1
56	4					1			1
57	6	1							1
58	3				1				1
59	4			1					1
60	6		1						1
61	3				1				1
62	4			1					1
63	6			1					1

Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
64	3				1				1
65	4					1			1
66	6		1						1
67	3				1				1
68	4			1					1
69	6		1						1
70	3				1				1
71	4				1				1
72	6				1				1
73	3				1				1
74	4	1							1
75	6	1							1
76	3				1				1
77	4		1						1
78	6	1							1
79	3				1				1
80	4					1			1
81	6				1				1
82	3				1				1
83	4				1				1
84	6				1				1
85	7						1		1
86	3		1						1
87	4					1			1
88	6							1	1
89	7						1		1
90	3				1				1
91	4		1						1
92	6						1		1
93	7	1							1
94	3		1						1
95	4	1							1
96	6				1				1
97	7							1	1
98	3				1				1
99	4				1				1
100	6			1					1

Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
101	7				1				1
102	3		1						1
103	4					1			1
104	6	1							1
105	7		1						1
106	3				1				1
107	4					1			1
108	6			1					1
109	7			1					1
110	3				1				1
111	4					1			1
112	6				1				1
113	7			1					1
114	3				1				1
115	4					1			1
116	6	1							1
117	7			1					1
118	3	1							1
119	4					1			1
120	6							1	1
121	7					1			1
122	3				1				1
123	4		1						1
124	6							1	1
125	7	1							1
126	8			1					1
127	3				1				1
128	4					1			1
129	6		1						1
130	8						1		1
131	3				1				1
132	4					1			1
133	6				1				1
134	8						1		1
135	3				1				1
136	4				1				1
137	6							1	1

Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
138	8							1	1
139	3				1				1
140	4				1				1
141	6		1						1
142	8					1			1
143	3				1				1
144	4				1				1
145	6							1	1
146	8			1					1
147	3				1				1
148	4				1				1
149	6	1							1
150	8			1					1
151	3		1						1
152	4	1							1
153	6	1							1
154	3		1						1
155	4				1				1
156	6			1					1
157	3				1				1
158	4							1	1
159	6			1					1
160	3	1							1
161	4					1			1
162	6			1					1
163	9	1							1
164	3				1				1
165	4				1				1
166	6			1					1
167	9	1							1
168	3	1							1
169	4					1			1
170	6			1					1
171	9							1	1
172	3				1				1
173	4					1			1
174	6			1					1

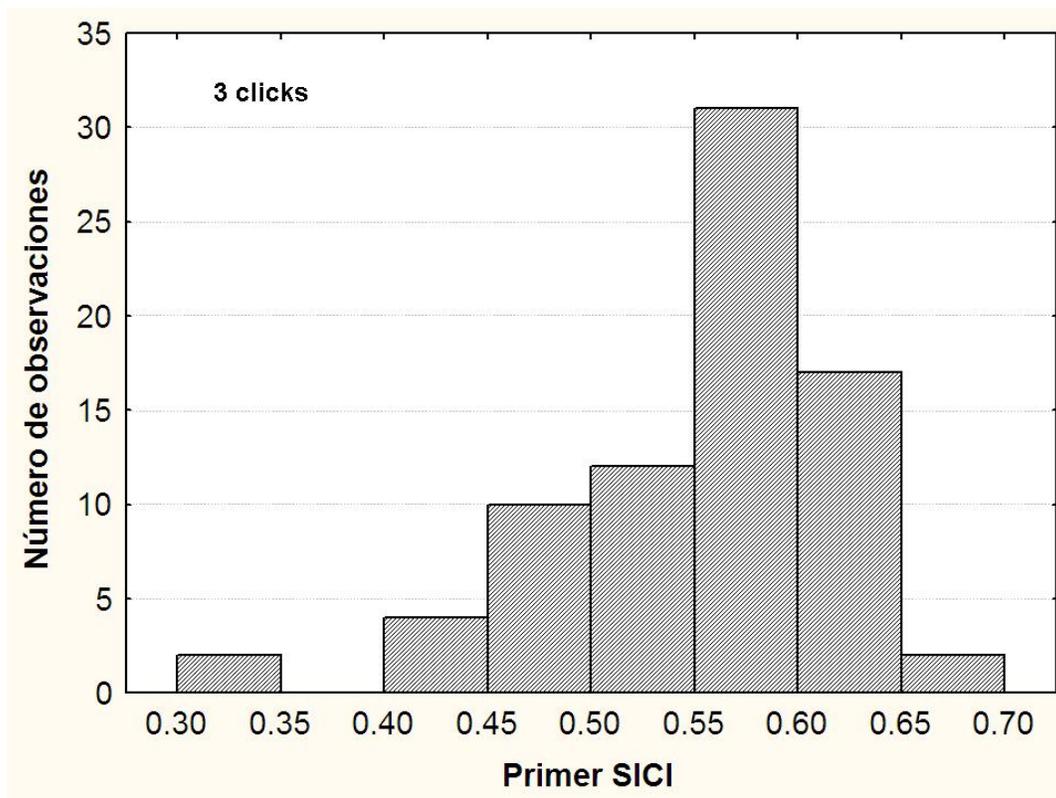
Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
175	9						1		1
176	3				1				1
177	4				1				1
178	6			1					1
179	9						1		1
180	3				1				1
181	4					1			1
182	6			1					1
183	9				1				1
184	3				1				1
185	4					1			1
186	6			1					1
187	9			1					1
188	3				1				1
189	4				1				1
190	6		1						1
191	9					1			1
192	3				1				1
193	4					1			1
194	6	1							1
195	9			1					1
196	3		1						1
197	4	1							1
198	6				1				1
199	9				1				1
200	3	1							1
201	4				1				1
202	6				1				1
203	9			1					1
204	10			1					1
205	3		1						1
206	4					1			1
207	6				1				1
208	9			1					1
209	10							1	1
210	3				1				1
211	4			2					2

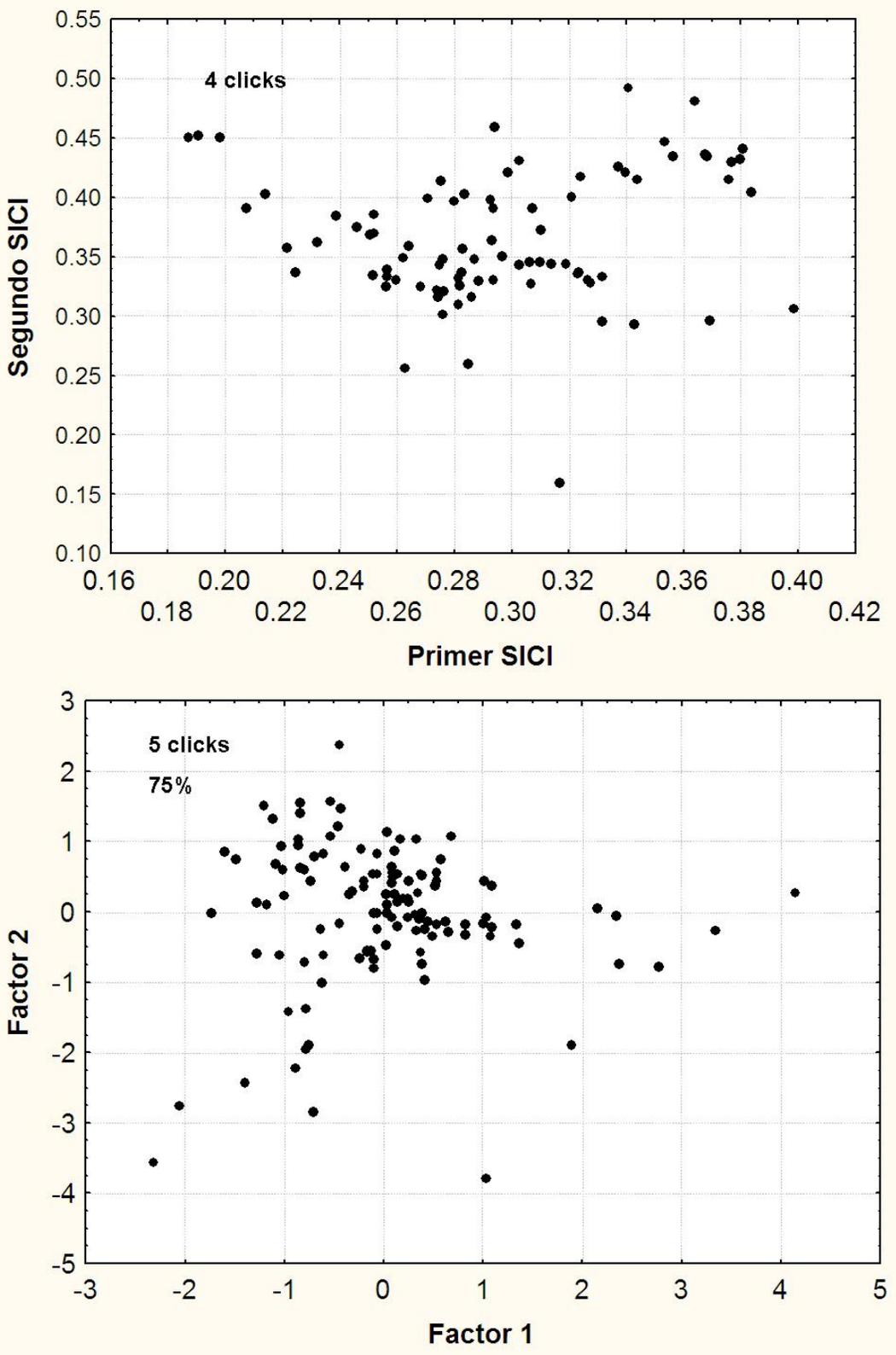
Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
212	6				1				1
213	10						1		1
214	3				1				1
215	4			2					2
216	6				1				1
217	3				1				1
218	4				1				1
219	6						1		1
220	3		1						1
221	4				1				1
222	6				1				1
223	3		1						1
224	4			2					2
225	6				1				1
226	3		1						1
227	4					1			1
228	6				1				1
229	4			2					2
230	6						1		1
231	4		1						1
232	6						1		1
233	4							1	1
234	6				1				1
235	11	1							1
236	4		1						1
237	6			1					1
238	11							1	1
239	4				1				1
240	6						1		1
241	11							1	1
242	4				1				1
243	6						1		1
244	11							1	1
245	4		1						1
246	6						1		1
247	11							1	1
248	4	1							1

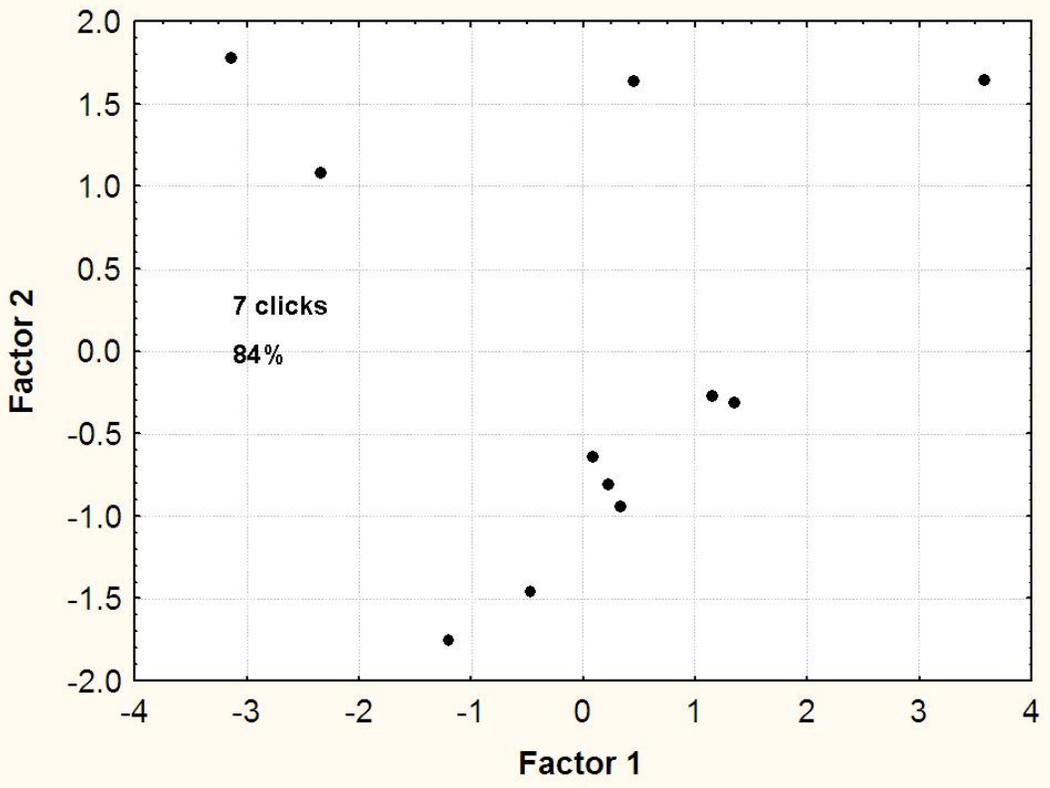
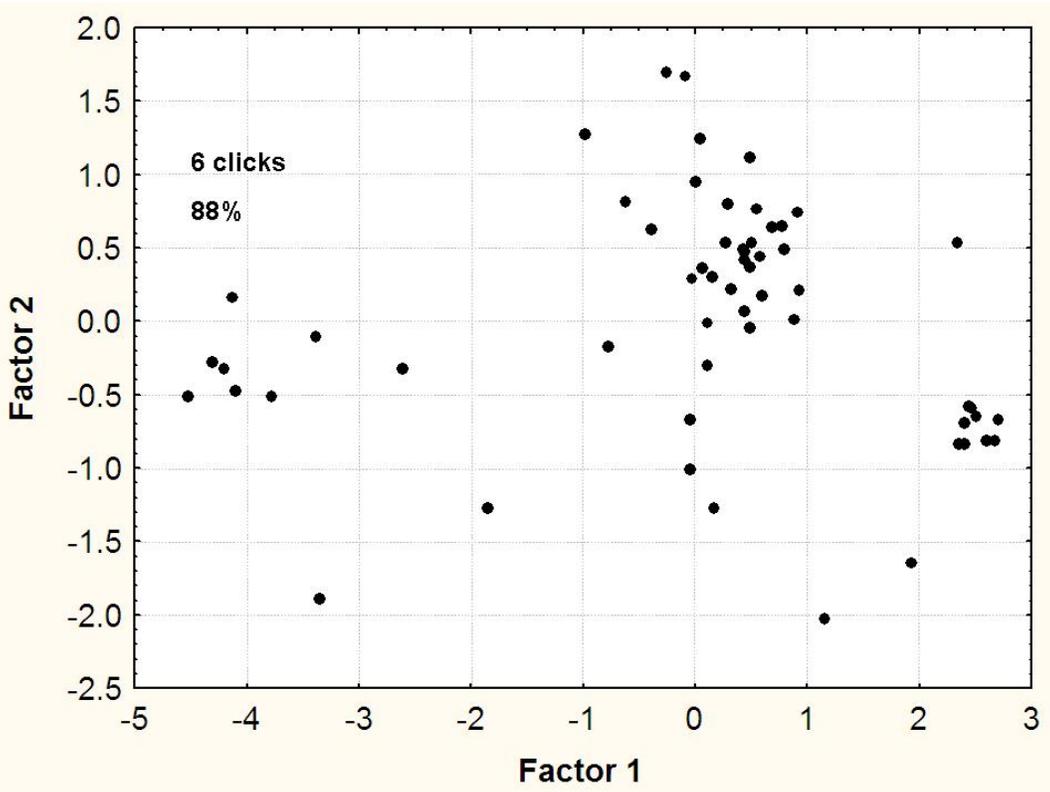
Tipo de coda	Tamaño de coda	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 20	Grupo 28	Grupo 29	Grupo 42	Grupo 46	Total
249	6						1		1
250	11							1	1
251	4	1							1
252	6						1		1
253	11							1	1
254	4	1							1
255	6						1		1
256	4				1				1
257	4	1							1
258	4				1				1
259	12							1	1
260	4				1				1
261	12							1	1
262	4				1				1
263	12							1	1
264	12							1	1
265	12							1	1
266	12						1		1
267	12							1	1
268	12							1	1
269	13						1		1
270	13							1	1
271	13							1	1
272	13							1	1
273	13							1	1
274	13							1	1
275	13							1	1
276	14							1	1
277	15							1	1
278	16							1	1
		(34)	(34)	(60)	(178)	(29)	(24)	(42)	401*
		28	26	56	85	27	21	40	

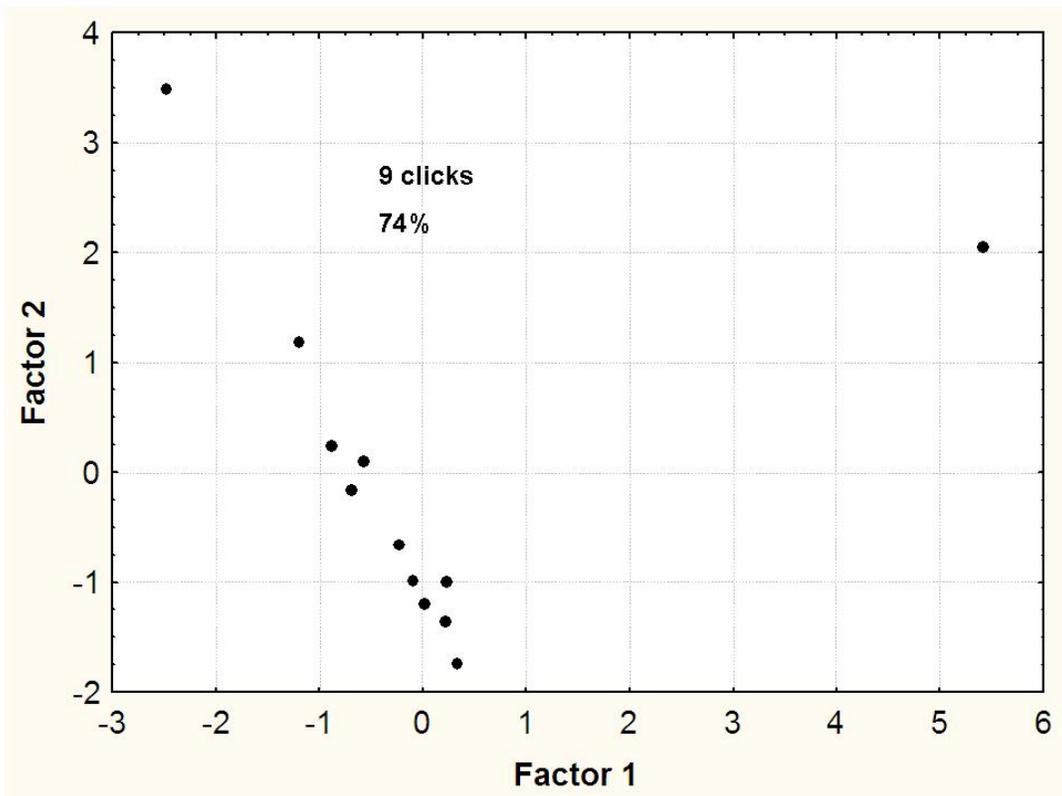
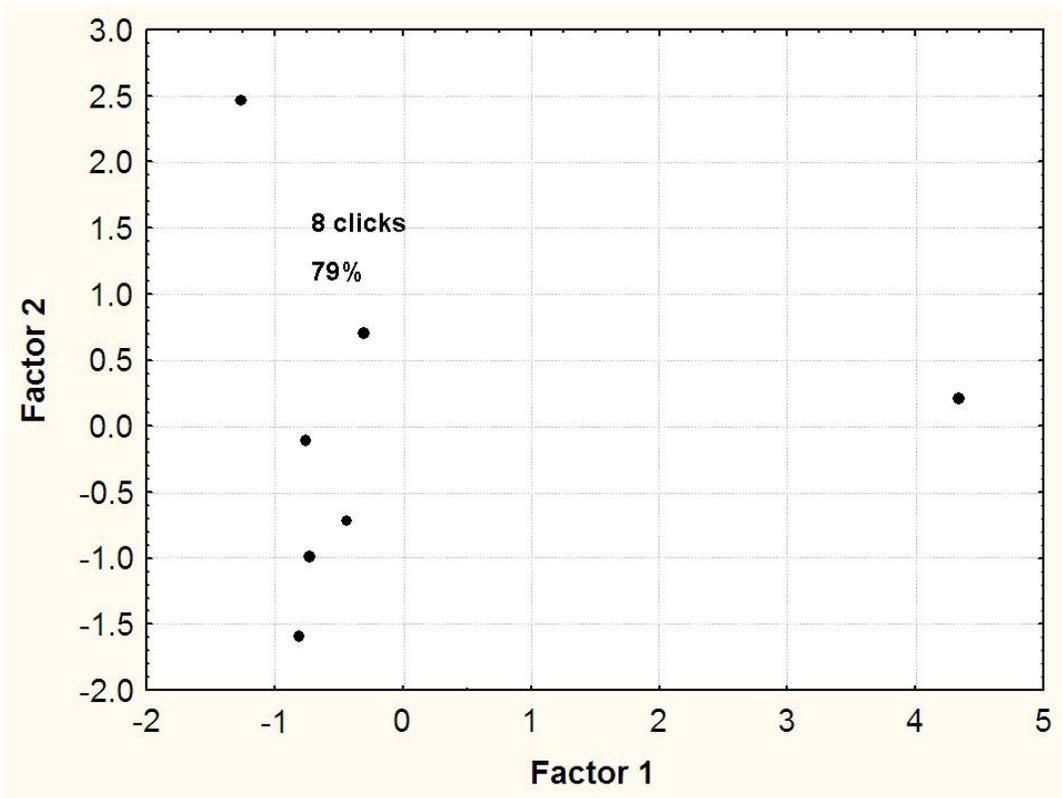
Apéndice 3

Las figuras representan la dispersión de las codas sin clasificar para tamaños de coda que van de los 3 a los 9 clicks. Para las codas de 3 clicks se presenta la distribución de frecuencias del primer SICI. Para las codas de 4 clicks se presenta una gráfica de dispersión entre el primer y segundo SICI. Para el resto de los tamaños de coda se presentan los primeros dos componentes principales construidos a partir de los SICI ; así como el porcentaje de la varianza explicada por los primeros dos componentes.









Apéndice 4

Congruencia entre preguntas de investigación e hipótesis, de acuerdo con objetivos particulares y general. La primera columna indica de qué objetivo se derivó cada pregunta de investigación.

Orden	Objetivo	Pregunta de investigación	Hipótesis	Refutable (Sí/No)	La hipótesis fue:
1	<i>Objetivo general.</i> Inferir si distintos clanes de cachalote frecuentan el Golfo de California, México.	¿Distintos clanes de cachalote frecuentan el Golfo de California?	Distintos clanes de cachalote frecuentan el Golfo de California dependiendo de la estación o el área.	Sí	Reforzada
1.1	<i>Objetivo particular.</i> Describir el repertorio de codas de cachalote grabadas en el Golfo de California.	¿Diferentes grupos de cachalote presentan distintas frecuencias en cuanto a sus tipos de coda en el Golfo de California?	Diferentes grupos de cachalote presentan distintas frecuencias en cuanto a sus tipos de coda en el Golfo de California	Sí	No reforzada
1.2	<i>Objetivo particular.</i> Determinar si los diferentes grupos de <i>Physeter macrocephalus</i> identificados corresponden a clanes distintos.	¿Corresponden a clanes distintos los diferentes grupos de <i>Physeter macrocephalus</i> ?	Los diferentes grupos de <i>Physeter macrocephalus</i> identificados corresponden a clanes distintos.	Sí	Aceptada
1.3	<i>Objetivo particular.</i> Determinar si los clanes de <i>Physeter macrocephalus</i> presentan una segregación espacial dentro del Golfo de California.	¿Presentan los clanes de <i>Physeter macrocephalus</i> una segregación espacial dentro del Golfo de California?	Los clanes de <i>Physeter macrocephalus</i> presentan una segregación espacial dentro del Golfo de California.	Sí	No reforzada

CONTINUACIÓN DE LA TABLA ANTERIOR.

Orden	Objetivo	Pregunta de investigación	Hipótesis	Refutable (Sí/No)	La hipótesis fue:
1.4	Objetivo particular. Determinar si los clanes de <i>Physeter macrocephalus</i> presentan una segregación temporal dentro del Golfo de California.	¿Presentan los clanes de <i>Physeter macrocephalus</i> presentan una segregación temporal dentro del Golfo de California?	Los clanes de <i>Physeter macrocephalus</i> presentan una segregación temporal dentro del Golfo de California.	Sí	No reforzada

Congruencia entre preguntas de investigación e hipótesis en correspondencia con objetivos secundarios derivados del primer objetivo particular. La primera columna indica de qué objetivo se derivó cada pregunta de investigación. Dado que las hipótesis de segundo orden son específicas, se incluyó la técnica de refutación utilizada en cada caso; así como si el criterio en que se basa esta técnica fue probabilístico y si presentaba un nivel de significación estadística.

Orden	Objetivo	Pregunta de investigación	Hipótesis	Refutable (Sí/No)	Técnica	Criterio probabilístico	Significación estadística	La hipótesis fue:
1.1.1	Conocer cuántas codas y de cuántos grupos se grabaron.	¿Cuántas codas y de cuántos grupos fueron grabadas?	Se cuenta con un tamaño de muestra aceptable para, al menos, dos grupos de cachalote en cuanto al número de codas se refieren.	Sí	Conteo de codas grabadas para cada grupo	No	No	Aceptada
1.1.1.1	Conocer cuántos tipos de coda fueron grabados para cada grupo.	¿Cuántos tipos de coda fueron grabados para cada grupo?	Se grabó más de un tipo de coda para cada grupo de cachalotes.	Sí	Clasificación de las codas en tipos mediante pruebas k-promedios	El criterio de Duda y Hart (Millgan y Copper, 1985)	Sí	Aceptada

CONTINUACIÓN DE LA TABLA ANTERIOR.

Orden	Objetivo	Pregunta de investigación	Hipótesis	Refutable (Sí/No)	Técnica	Criterio probabilístico	Significación estadística	La Hipótesis fue:
1.1.1.1.1	Conocer si el patrón de clasificación de las codas fue consistente no importando la variante del método utilizada.	¿Fue el patrón de clasificación de las codas fue consistente, no importando la variante del método utilizada?	El patrón de clasificación de las codas es consistente, no importando la variante del método utilizada	Sí	Comparación de frecuencias de tipos de coda mediante pruebas ji-cuadrada	Distribución en que se basa la prueba ji-cuadrada	Sí	Reforzada
1.1.1.2	Conocer si distintos grupos de cachalote presentan diferentes frecuencias de tipos de coda.	¿Son diferentes las frecuencias de los distintos tipos de coda entre los grupos de cachalote?	La frecuencia de los distintos tipos de coda varía entre los grupos de cachalote.	Sí	Comparación visual de las frecuencias	No	No	No reforzada
1.1.1.3	Conocer si la duración de la grabación se relaciona con el número de codas grabadas y el número de tipos de coda.	¿Está relacionada la duración de la grabación con el número de codas y el número de tipos de coda?	La duración de la grabación se relaciona con el número de codas grabadas y el número de tipos de coda.	Sí	Correlaciones lineales	Sí	Sí	Reforzada

Congruencia entre preguntas de investigación e hipótesis en correspondencia con objetivos secundarios derivados del segundo objetivo particular considerado en este estudio. La primera columna indica de qué objetivo se derivó cada pregunta de investigación. Dado que las hipótesis de Segundo orden son específicas, se incluyó la técnica de refutación para cada una; así como si el criterio en que se basa esta técnica fue probabilística y / o presentaba un nivel de significación estadística.

Orden	Objetivo	Pregunta de investigación	Hipótesis	Refutable (Sí/No)	Técnica	Criterio probabilístico	Significación estadística	La hipótesis fue:
1.2.1	Conocer si los repertorios de codas varían entre grupos.	¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas entre los grupos?	El repertorio de codas varía entre grupos.	Sí	Comparación visual de dendrogramas	Número de veces que una rama fue reproducida a partir de un proceso de re-muestreo	No	Aceptada
1.2.2	Conocer si los repertorios de codas varían entre temporadas.	¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas entre las estaciones?	El repertorio de codas varía entre temporadas.	Sí	Comparación visual de dendrogramas	Número de veces que una rama fue reproducida a partir de un proceso de re-muestreo	No	Reforzada
1.2.3	Conocer si los repertorios de codas varían entre áreas.	¿Qué tan diferentes son los repertorios de codas entre las áreas?	El repertorio de codas varía entre áreas.	Sí	Comparación visual de dendrogramas	Número de veces que una rama fue reproducida a partir de un proceso de re-muestreo	No	Reforzada

CONTINUACIÓN DE LA TABLA ANTERIOR

Orden	Objetivo	Pregunta de investigación	Hipótesis	Refutable (Sí/No)	Técnica	Criterio probabilístico	Significación estadística	La hipótesis fue:
1.2.1.1	Conocer si los clanes están segregados por áreas.	¿Están los clanes segregados por áreas?	Los clanes están segregados por áreas.	Sí	Examen visual de mapas.	No	No	No reforzada