

**SEGUNDA CAMPAÑA DEL ESQUEMA DE MONITORIZACIÓN ACÚSTICA
DE LA POBLACIÓN DE VAQUITA**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y
EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA**



Reporte Final para el

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA – SEMARNAT

Ensenada, B.C., a 8 de octubre de 2012

TABLA DE CONTENIDOS

1. Programa de Trabajo	2
1.1. <i>Objetivo:</i> realizar las labores de campo para obtener los datos del segundo período de muestreo, de acuerdo a los planes de operación del esquema de monitorización acústica de la vaquita.	2
1.2. <i>Objetivo:</i> En caso necesario, ajustar los planes de operación de actividades de campo para asegurar la menor tasa de pérdida de equipos y de información.	3
1.3. <i>Objetivo:</i> realizar el acopio de la información acústica generada y analizarla para identificar las detecciones de vaquitas logradas durante los muestreos.	4
1.4. <i>Objetivo:</i> En caso necesario, ajustar los planes de operación de análisis de datos para incrementar la eficiencia de identificación de encuentros acústicos y disminuir la tasa de errores en la identificación.	4
1.5. <i>Objetivo:</i> realizar los cálculos para cuantificar las tasas de encuentro acústico en cada estación de muestreo.	5
1.6. <i>Objetivo:</i> realizar la primera comparación de la tasa de encuentro acústico entre los dos primeros muestreos obtenidos, utilizando como guía la propuesta de métodos descrita en el informe del inicio de operaciones formales del esquema de monitorización.	6
2. Bitácora de operaciones de campo	7
2.1. Detectores acústicos instalados	7
2.2. Detectores acústicos recuperados	8
2.3. Cambios realizados al plan de operaciones de campo.	8
3. Bitácora de operaciones de análisis de datos.	9
4. Análisis de la tasa de encuentro acústico comparada entre 2011 y 2012	10
4.1. Descripción de las muestras	10
4.2. Métodos de análisis	11
4.3. Comparación entre los muestreos 2011 y 2012.	13
4.3.a. Modelo de estimación.	13
4.3.b. Procedimiento de estimación.	13
4.3.c. Resultados.	16
4.3.d. Implicaciones.	18
4.4. Análisis tomando en cuenta información previa	19
4.4.a. Modelo para el período 2011-2012	20
4.4.b. Modelo para el período 1997-2011	21
4.4.c. Modelo para el período 1997-2012	21
4.4.d. Implicaciones.	21
5. Recomendaciones	22
6. Literatura Citada	22

1. Programa de Trabajo

Los Términos de Referencia, que guían este estudio, indican que el objetivo central es continuar la monitorización acústica de la vaquita en su segundo período de muestreo, que incluye el lance y recuperación de los equipos de detección acústica, el manejo y sistematización de la información acústica obtenida, la cuantificación de las tasas de encuentro acústico de vaquitas por estación por día, así como el primer ejercicio estadístico para comparar las tasas de encuentro acústico entre el primer y segundo muestreos. El ejercicio estadístico se conformará como la fase exploratoria, con datos reales, para ajustar el modelo que estime la tendencia de la población una vez que se complete el muestreo requerido, de acuerdo a los resultados del Taller “*Evaluación de las Tendencias en la Abundancia Poblacional de la Vaquita mediante el Monitoreo Acústico: Programa en el Área de Refugio, y Necesidades de Investigación fuera del Área de Refugio*” (Rojas Bracho *et al.*, 2010).

El estudio debe estar enfocado a la solución de seis objetivos específicos, cada uno de los cuales contempla actividades a desarrollar. El presente programa de trabajo expondrá las acciones a seguir de acuerdo a esta lógica.

1.1. *Objetivo:* realizar las labores de campo para obtener los datos del segundo período de muestreo, de acuerdo a los planes de operación del esquema de monitorización acústica de la vaquita.

Actividad: Realizar las operaciones de campo para instalar y, posteriormente, recuperar los anclajes y equipos de detección acústica, que contienen la información del muestreo (informe de cambios a planes de operación, en caso necesario, para incrementar la eficiencia de las labores).

En conjunto con el equipo de operaciones de campo se organizará el itinerario de lance y recuperación de anclajes. En total se tendrán tres embarcaciones de trabajo, las cuales se repartirán las labores de forma espacial. Es decir, cada embarcación trabajará en áreas separadas dentro de la zona de estudio (Refugio de Protección para la Vaquita, Figura 1).

Las fechas de lance dependerán de la intensidad de pesca dentro del Refugio y de los lineamientos vertidos en el documento *Evaluación de las Tendencias en la Abundancia Poblacional de la Vaquita Mediante el Monitoreo Acústico: Reporte del Comité Guía sobre la Fase de Prueba Piloto y Recomendaciones para el Trabajo en Pleno* (Rojas Bracho *et al.*, 2011). De acuerdo a estos lineamientos, los detectores debían ser instalados en el mes de mayo para ser recuperados en septiembre, período en el que las operaciones de pesca son mínimas y se reduce la probabilidad de perder equipos. Sin embargo, durante 2011 hubo pérdidas asociadas a actividades pesqueras dentro del refugio. En esta ocasión se obtendrá información sobre la intensidad relativa de embarcaciones pescando dentro del refugio antes de realizar los lances de detectores acústicos. Una vez que la información indique que la intensidad de pesca se redujo, en preparación para la siguiente temporada camaronera 2012-2013, se realizarán los lances de equipo.

Antes de la etapa de lance, los equipos serán revisados para identificar las piezas que requieran ser reparadas o remplazadas. Así mismo, los equipos de detección acústica serán verificados y se comprobará su adecuado funcionamiento. Los detectores serán inicializados en la zona de estudio por personal científico capacitado para ello. Los anclajes y equipos acústicos serán lanzados de acuerdo al Programa de Operaciones de Campo en cada uno de los 48 sitios de muestreo (Figura 1). Debido a que la PROFEPA iniciará un programa de mantenimiento y remplazo de boyas, no se instalarán equipos de detección en tanto no concluyan estas labores.

Se espera que todos los anclajes y detectores queden instalados en un plazo máximo de cinco días efectivos de trabajo. El tiempo total podría ser más amplio, considerando que ocurrieran días con mal tiempo que impidieran la navegación segura. Durante los lances se procederá de acuerdo al Plan de Operaciones de Campo, lanzando primero el ancla tipo yate y registrando su posición en GPS. Luego se tensa la cuerda y se lanza el ancla tipo río, cuidando de no golpear el detector acústico. De inmediato se registra la posición con el GPS. Los datos de posición son entregados cada día al coordinador de operaciones de campo. Una vez que se lancen todos los equipos, este le entregará la información al coordinador del proyecto.

Los detectores serán dejados en los sitios de muestreo hasta antes del inicio de la temporada camaronera, tiempo durante el cual se incrementan dramáticamente la probabilidad de perder equipos en operaciones de pesca ilegal dentro del Refugio de Protección para la Vaquita, zona donde se realiza el muestreo. Para tratar de extender el muestreo lo más posible, y así obtener el mayor número de días de esfuerzo, la fecha de recuperación de anclajes y detectores se establecerá con base en la fecha de levantamiento de veda que la CONAPESCA emita para la temporada camaronera 2012-2013.

Durante la fase de recuperación de anclajes cada una de las tres embarcaciones tratarán de recuperar el mayor número posible de dispositivos en cada día de trabajo, pero siempre anteponiendo la seguridad del personal. En días con malas condiciones climáticas, observadas o estimadas, no se trabajará.

Al final de cada día, el personal de campo se encargará de limpiar, desensamblar y almacenar los anclajes. Los detectores acústicos serán recogidos por el coordinador de operaciones de campo para ser limpiados y llevados a las instalaciones de almacenaje. Ahí, de acuerdo a las especificaciones del fabricante, los detectores serán abiertos para retirar las baterías y tarjetas de datos por parte del personal científico. Las baterías con suficiente carga serán almacenadas para reutilizarse. Las agotadas serán llevadas a Ensenada para ser recicladas en un centro autorizado y certificado. Las tarjetas de datos serán entregadas al coordinador del proyecto de monitorización.

- 1.2. Objetivo:** En caso necesario, ajustar los planes de operación de actividades de campo para asegurar la menor tasa de pérdida de equipos y de información.

Una vez que se haya concluido con el lance y recuperación de anclajes y equipos acústicos, se tendrá una reunión con el equipo de operaciones de campo para revisar los procedimientos ejecutados y las modificaciones que hayan podido realizar al plan de operación original. Dichos cambios, si existieran, serán reportados para modificar el plan de operación si estos, se considera, lo mejoran de forma significativa y eficiente.

1.3. *Objetivo:* realizar el acopio de la información acústica generada y analizarla para identificar las detecciones de vaquitas logradas durante los muestreos.

Actividad: realizar el análisis de datos para identificar los encuentros acústicos de vaquitas contenidos en los archivos digitales generados por los equipos de detección (informe de cambios a planes de operación de análisis de datos, en caso necesario, para reducir errores en la identificación de encuentros o para mejorar los tiempos de análisis).

El coordinador del equipo de análisis de datos recopilará las tarjetas con los datos generados por todos los detectores acústicos que se lanzarán durante el muestreo. El mismo se encargará de grabar la información en las tarjetas en discos de respaldo (archivos tipo CP1). Una vez que se tengan copias seguras de los originales, procederá a utilizar una copia de trabajo para correr el algoritmo de detección de señales, el cual se halla implementado en el programa diseñado por el fabricante de los equipos de detección acústica. Una vez generados los archivos con las señales identificadas (archivos tipo CP3), creará varias copias para cada uno de los analistas, así como copias seguras con el contenido original creado por el algoritmo.

A cada analista se le proveerá con copias de los archivos tipo CP1 y CP3, los cuales analizarán de acuerdo al plan de análisis de datos (que incluye especificaciones proveídas por el fabricante y diseñador del software). Cada analista generará un archivo tipo ASCII (archivos de texto delimitado) con los resultados de su análisis para cada archivo CP3 analizado. Al final del análisis de cada uno de los archivos asignados, cada analista entregará al coordinador el archivo ASCII y el archivo CP3 modificado durante su análisis.

El coordinador revisará la información generada por los analistas para identificar posibles inconsistencias y, en su caso, las subsanará junto con los analistas. Una vez concluido el proceso de análisis creará copias de respaldo de los archivos ASCII y CP3. Posteriormente, le entregará al director del proyecto una copia de toda la información generada, desde los archivos CP1 y CP3 originales, hasta los ASCII y CP3 creados por los analistas.

1.4. *Objetivo:* En caso necesario, ajustar los planes de operación de análisis de datos para incrementar la eficiencia de identificación de encuentros acústicos y disminuir la tasa de errores en la identificación.

Los analistas serán instruidos para interaccionar con el coordinador en cualquier momento que lo consideren necesario. Se les pedirá que en caso de desarrollar una

estrategia alternativa para el análisis de información lo discutan con el coordinador. En caso que este lo considere pertinente, convocará a una reunión de todo el equipo de análisis para discutirlo y, en caso de que el grupo lo considere pertinente, implementar la modificación para mejorar el procedimiento de análisis. De la misma forma, este proceso se seguirá en caso de que un analista considere que un procedimiento pudiera estar sesgando el análisis. En caso necesario, el coordinador estará en contacto con el fabricante para resolver las dudas o inconvenientes que pudieran surgir.

1.5. *Objetivo:* realizar los cálculos para cuantificar las tasas de encuentro acústico en cada estación de muestreo.

Actividad: estimar las tasas de encuentro acústico, con la información obtenida.

Los archivos ASCII que generan los analistas contienen un listado de todos los minutos de muestreo, así como información binaria de la presencia o ausencia de señales acústicas de vaquita en cada minuto. Cada archivo corresponde a un lapso de muestreo de la estación en la que trabajó el detector. En cada estación, dependiendo del nivel de ruido, se pueden crear hasta cuatro archivos a lo largo de todo el período de muestreo.

El coordinador del proyecto utilizará herramientas de programación para cuantificar el número de minutos con ocurrencia de señales de vaquita en cada día de muestreo de cada estación. De tal forma obtendrá por estación y por día el número de minutos con actividad acústica de vaquitas, que será una de las métricas utilizadas para medir la tasa de encuentro acústico, que siempre será referida a un tiempo de muestreo de un día calendario.

La tasa de encuentro acústico también se cuantificará como el número de encuentros acústicos por días calendario de muestreo. Un encuentro acústico es definido como todas las detecciones acústicas consecutivas separadas por menos de 30 minutos, de acuerdo a los análisis efectuados con datos del primer período de muestreo (CICESE, 2011). La identificación y cuantificación de encuentros también se realizará utilizando herramientas de programación para manipular los archivos ASCII generados por los analistas.

Al final de este proceso de cuantificación se tendrá un conjunto de n tasas de encuentro acústico para cada una de las dos métricas que se utilizarán (número de minutos con actividad acústica y número de encuentros acústicos). El número de datos n resultará del número total de detectores recuperados (es decir, número de sitios de muestreo) por el número de días de muestreo almacenados en cada detector.

Actividad: elaborar un listado y referencia geográfica de todas las detecciones acústicas de vaquitas identificadas.

Se confeccionará una tabla en la que se enliste, para cada uno de los 48 sitios de muestreo (Figura 1), el número de minutos con actividad acústica, el número de detecciones acústicas y las tasas de encuentro acústico promedio para cada una de las dos métricas utilizadas. La posición geográfica de cada estación fue definida en el Taller (CICESE, 2011) y es fija a lo largo de los años que durará la monitorización acústica, por lo que la referencia geográfica está implícita.

1.6. Objetivo: realizar la primera comparación de la tasa de encuentro acústico entre los dos primeros muestreos obtenidos, utilizando como guía la propuesta de métodos descrita en el informe del inicio de operaciones formales del esquema de monitorización.

Actividad: Realizar el análisis del cambio de las tasas de encuentro acústico entre los períodos de muestreo 2011 y 2012.

Como se describió en el informe de inicio de operaciones (CICESE, 2011), el parámetro de interés es la tasa de encuentro acústico, medida a través del número de minutos con actividad acústica o el número de encuentros acústicos. Por tal, métodos enfocados al análisis de datos provenientes de conteos son los más adecuados. Los modelos logarítmicos o exponenciales ofrecen el marco adecuado para el análisis de variables en el dominio de los números positivos. Por otro lado, aplicando distribuciones de probabilidad discretas para el error, tal como la Poisson o la Binomial Negativa, se puede permitir que la varianza se ajuste a la distribución real de la información siendo analizada, en contraparte a los tradicionales métodos de regresión basados en la distribución normal.

Para ajustar los parámetros del modelo se utilizará una aproximación bayesiana. Se utilizará para ello el paquete de análisis AD Model Builder (ADMB; Fournier *et al.*, 2012), el cual implementa una caminata aleatoria a través de un método iterativo de Monte Carlo basado en una Cadena de Markov (MCMC), utilizando el algoritmo Hastings-Metropolis. Las integrales necesarias son resueltas con una aproximación de Laplace.

El ajuste del modelo seguirá los siguientes pasos lógicos.

- a) Se obtendrá información previa sobre la distribución de la tasa de encuentro acústico (es decir, la distribución del número de encuentros o detecciones por unidad de tiempo) a partir de la información generada entre 1997 y 2008 (Jaramillo Legorreta, 2008). A partir de esta misma información se obtendrán distribuciones previas de los parámetros alfa (ordenada al origen) y beta (pendiente) de un modelo logarítmico. Se obtendrán estas distribuciones previas bajo dos suposiciones: que la distribución de la tasa de encuentro es tipo Poisson o tipo Binomial Negativo.
- b) Utilizando las distribuciones previas descritas arriba, se utilizarán los datos de la primera campaña 2011 del actual esquema de monitorización y los datos de este trabajo para 2012, para ajustar un modelo logarítmico bajo los supuestos de distribución Poisson y Binomial Negativa.

- c) Se escribirán los templates de análisis y datos para ser ingresados a la rutina de proceso de ADMB. Se revisará la consistencia del proceso a través del módulo de optimización basado en máxima verosimilitud.
- d) Una vez que los resultados de la optimización sean adecuados y consistentes, se procederá a correr la rutina MCMC para obtener las distribuciones posteriores de los parámetros de los modelos.
- e) Se hará una comparación entre ambos modelos y se decidirá en favor del que mejor represente a la información disponible.
- f) Con el modelo seleccionado se calculará la distribución posterior de la tendencia de la tasa de encuentro acústico (diferencia entre los promedios del modelo entre las fechas disponibles más extremas) y su variabilidad, lo que se conformará como la primera comparación entre períodos de estudio.

2. Bitácora de operaciones de campo

2.1. Detectores acústicos instalados

Todos los anclajes y detectores fueron instalados entre el 17 y 19 de junio en cuatro días efectivos de trabajo. Para cada lance se registró la fecha y hora del meridiano en la zona de estudio respecto a UTC, el sitio de muestreo, el número de detector lanzado, y las coordenadas geográficas precisas de los sitios en que se lanzaron las anclas tipo yate y río de que se compone cada anclaje (Tabla I).

A inicios de mayo de 2012 se obtuvo información de la presencia de varias decenas de embarcaciones pesqueras dentro del Refugio¹ durante un vuelo de prospección, razón por la que se decidió retrasar el lance de detectores hasta que la actividad pesquera redujera su intensidad. Para junio se nos reportó que sólo unas cuantas embarcaciones habían sido encontradas, por lo que se decidió instalar los detectores hacia mediados de este mes.

Como se mencionó en el Plan de Trabajo, PROFEPA inició una campaña de mantenimiento y remplazo de boyas. Al momento del lance de equipos los trabajos de mantenimiento de hallaban en proceso, sin tener una fecha certera de su finalización. Por tal motivo se decidió no lanzar equipos de detección boyas hasta que la PROFEPA concluya su labor, a fin de evitar pérdidas. Por tal, el muestreo 2012 sólo contendrá información de los 48 sitios de muestreo dentro del Refugio (Figura 1). En el reporte final se informará del lance de equipos en boyas si es el caso.

¹Juan Manuel García Caudillo. Proyecto "Evaluación de los efectos del programa de reconversión productiva y tecnológica PACE: vaquita en el número de embarcaciones pesqueras y su distribución espacio temporal en el área de refugio para la protección de la vaquita y la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado". Pesca Responsable y Comercio Justo S. de R.L. de C.V. Blvd. Zertuche 937-3, Valle Dorado, Ensenada, B.C. 22890.

2.2. Detectores acústicos recuperados

Las labores de campo para recuperar los anclajes se llevaron a cabo entre el 17 y 22 de septiembre. De total de 48 anclajes lanzados se recuperaron 41 (Figura 2), lo que representa una pérdida del 15%. En 2011 se perdieron 23% de los anclajes (11), por lo que el muestreo 2012 fue más exitoso en este sentido.

Una vez que la embarcación llegó a cada sitio en que se lanzó un anclaje y detector acústico, el tiempo promedio para localizarlos fue de 15 minutos, y un máximo de 20 minutos más para recogerlo y depositarlo sobre la embarcación.

En los sitios en los que no se logró localizar los anclajes el tiempo de búsqueda se extendió hasta dos horas totales, en una o dos ocasiones independientes.

Los anclajes recuperados fueron llevados a tierra para ser limpiados, desensamblados y almacenados. Los detectores acústicos fueron limpiados del crecimiento algal y de fauna por medio de agua a presión y raspado con espátula. Una vez limpiados fueron cuidadosamente secados para extraer las tarjetas de información con toda seguridad.

Una vez que los anclajes quedaron almacenados (en espera del muestreo de 2013), y los detectores limpios y secos fueron entregados al coordinador científico, las labores del equipo de operaciones de campo culminaron.

2.3. Cambios realizados al plan de operaciones de campo

Los operadores de campo realizaron un pequeño cambio al procedimiento de recuperación de anclajes, una vez que estos fueron localizados y un extremo de la cuerda principal asida por el gancho. En esta ocasión utilizaron un par de dispositivos de sujeción de cuerdas, una hacia la proa y otra hacia la popa. De esta forma evitaron que la cuerda se enredara durante el momento en que la embarcación es desplazada hacia alguna de las anclas.

Durante los trabajos de búsqueda de anclajes, una de las embarcaciones a la que se le asignó la recuperación de los anclajes 1 a 8 (Figura 1) no logró localizar uno solo de ellos. Por esa razón, y dada la magnitud de la pérdida, se diseñó un plan emergente con la participación de tres embarcaciones. En cada sitio de muestreo las tres embarcaciones aplicaron el protocolo estándar de búsqueda, navegando en paralelo para cubrir una mayor sección transversal a la vez que lo que cubriría una sola embarcación. De esta forma se logró localizar siete de los ocho anclajes. Un evento oceanográfico que coincidió en el día de búsqueda fue un periodo de marea muerta, con corrientes de poca intensidad.

De tal forma, para siguientes períodos de recuperación, se incluirá en el plan de operaciones de campo los siguientes lineamientos:

- 1) Se intentará que las labores de recuperación coincidan con períodos de marea muerta, sujeto a que las labores se completen antes del inicio de la temporada camaronera de cada año y que el clima permita una operación segura.

- 2) En los sitios en que después de una búsqueda extensiva no se logre localizar a los anclajes, se utilizará la estrategia de tres embarcaciones en paralelo por un tiempo adicional.

3. Bitácora de operaciones de análisis de datos

El procedimiento de análisis aplicado fue el mismo que en 2011. El coordinador del proyecto y el personal de análisis de datos se encargaron de abrir los detectores acústicos para recuperar las tarjetas de datos. Estas fueron leídas en una computadora portátil equipada con el programa para el análisis de datos. El programa creó los archivos tipo CP1, los cuales fueron respaldados en varios discos externos. Una vez en el gabinete, los archivos CP1 fueron analizados por la rutina de identificación de series (en el mismo programa de análisis) para identificar señales con características de vaquita, delfines, sonar y otros. Esta rutina creó el mismo número de archivos tipo CP3 que archivos CP1. Los archivos CP3 fueron respaldados junto con los archivos CP1 en varios discos externos.

Copias de los pares de archivos fueron entregados a los analistas para determinar la hora y tipo de series en los archivos. Una vez finalizada la inspección de cada archivo crearon el reporte en formato de texto, el cual fue entregado al responsable del proyecto para su posterior análisis.

De los 41 detectores acústicos recuperados se obtuvieron 81 archivos tipo CP1 con tamaño total de 61.5 GB. Las fechas iniciales y finales de muestreo en cada sitio se detallan en la Tabla II. Solamente se incluyen en el análisis días completos de muestreo, considerando un día solar entre las 00:00 y las 23:59 (1440 minutos totales). De tal forma, los días en que los detectores fueron lanzados y recuperados se eliminan del muestreo y análisis.

En total se obtuvieron 3,348 días de muestreo en los que se identificaron 2,082 encuentros acústicos de vaquita. El promedio de días de muestreo por fue de 81.7 días, mientras que en 2011 fue de 77.1 días. La tasa promedio de encuentro acústico por sitio por día se muestra en la Tabla II.

No se requirió modificar el protocolo de análisis respecto al 2011. Los analistas confirmaron la identificación de los diferentes tipos de señales o, en su caso, las corrigieron de acuerdo a parámetros ya establecidos. La creación de los reportes del análisis de cada archivo se realizó de acuerdo al estándar ya establecido.

Los archivos de datos se pueden clasificar por el número de encuentros de vaquita que contienen: a) sin encuentros, b) con sólo algunos encuentros (menos de 10), c) con varios encuentros (más de diez y menos de 50) y d) con demasiados encuentros (más de 50). El tiempo de análisis para los archivos tipo *a* fue de menos de un minuto. El tipo *b* tomó en promedio 34 minutos mientras que el tipo *c* aproximadamente 100 minutos. Por último, el tipo *d* tomó tiempos superiores a dos horas.

La Tabla II muestra el listado y referencia geográfica de los datos analizados, indicando por cada sitio de muestreo el número de días revisados y el total de encuentros acústicos de vaquita confirmados, así como la tasa de encuentro por sitio.

4. Análisis de la tasa de encuentro acústico comparada entre 2011 y 2012

4.1. Descripción de las muestras

Las muestras se componen del número de encuentros acústicos identificados en cada día completo de muestreo durante los períodos 2011 y 2012. Durante 2011 se obtuvieron muestreos con detectores que fueron instalados en las boyas que delimitan el Refugio de Protección de la Vaquita (CICESE, 2011). Para 2012, la PROFEPA inició un programa de mantenimiento y remplazo de boyas, por lo que se decidió no instalar detectores en estos sitios, con el fin de evitar pérdidas. Por tal motivo, la comparación entre muestreos 2011 y 2012 sólo incluirá datos de los 48 sitios dentro del Refugio de Protección (Figura 1).

En 2011 se obtuvieron un total de 2,929 días de muestreo y se confirmó la identificación de 1,636 encuentros de vaquita. Como ya se había descrito, en 2012 se coleccionó un total de 3,348 días en los que se identificó 2,082 encuentros. El promedio de la tasa de encuentro acústico (encuentros / sitio / día) en 2012 es 0.622 (varianza 2.176), en términos absolutos mayor que la calculada en 2011 de 0.559 (varianza 2.522). Los coeficientes de variación del error estándar son muy similares entre ambos años (0.0488 y 0.0441 respectivamente), lo que muestra su homogeneidad.

La Figura 3 muestra la dispersión de todos los datos. Se aprecia a primera vista que el rango de los datos es muy parecido y que forman dos muestreos separados por varios meses. En este sentido se supone, con suficientes bases, que se trata de dos muestras independientes.

No es muy fácil apreciar la distribución de los datos en la Figura 3. De inicio se puede observar que hay un acúmulo de valores igual a cero. De hecho, 2,335 días de 2011 tuvieron cero encuentros y 2,583 para 2012. Esto representa respectivamente 79.7 y 77.2% de días sin encuentros de vaquita.

En la Figura 4 se muestra de forma gráfica la distribución de los datos, para cada año, en un polígono de frecuencias. Es claro el acúmulo de datos con cero encuentros. Dado que se trata de conteos la distribución que describa a esta información debe ser para datos discretos, tal como la Poisson que se utiliza frecuentemente para describir la distribución de eventos que ocurren de forma aleatoria (Zar, 1984). En esta distribución la media y la varianza tienen el mismo valor. En los datos 2011 y 2012 la varianza es 3.89 y 4.06 veces más grande respectivamente, lo que claramente se aparta de una distribución de Poisson. Es decir, hay una varianza más grande que no logra explicar este modelo. La distribución binomial negativa puede modificarse para ajustar uno de sus dos parámetros de manera que tome en cuenta esta variación adicional respecto de una distribución tipo Poisson (Lindén y Mäntyniemi, 2011). En la Figura 5 se presenta la distribución de los datos agrupados para 2011 y 2012. Esto se justifica dada la similitud de sus varianzas y

razones variancia:media. En esta figura también se presenta un ajuste de los datos a una distribución tipo Poisson y tipo binomial negativo. Es claro que esta última distribución representa de forma adecuada a la información, por lo que esto será tomado en cuenta en el proceso de análisis.

4.2. Métodos de análisis

Una primera y simple aproximación a la comparación de ambos muestreos es observar los valores promedio y juzgar su diferencia con base en la dispersión o varianza contenida. En seguida, podría surgir la idea lógica de compararlas con una prueba t o simplemente comparando los estadígrafos Z . Sin embargo, como se explico antes, en primer lugar los datos no se ajustan a una distribución normal y, además, son conteos. Es decir, no constituyen una variable continua.

En segundo lugar las pruebas t o Z forman parte del grupo de las pruebas de hipótesis contenidas en la estadística conocida como paramétrica o frecuentista (Johnson, 1999), las cuales tienen que cimentarse bajo el supuesto de una distribución normal de la información bajo análisis y basan sus conclusiones en comparar la distribución de un estadígrafo calculado respecto de una distribución y un valor de confianza arbitrario. A estas pruebas se les llama frecuentistas pues suponen que si un muestreo se repite n veces el resultado se repetirá con una frecuencia igual a la probabilidad del estadígrafo calculado o el nivel de confianza utilizado (Johnson, 1999).

Lo que interesa en un análisis como el que se realizará a los datos de tasa de encuentro acústico, es encontrar los valores de parámetros de modelos que describan el proceso. Los métodos frecuentistas o paramétricos estiman la probabilidad de que los datos se ajusten a ciertos valores de los parámetros. En otras palabras, los datos no guían el ajuste de los parámetros, sino los supuestos que se hacen de los parámetros.

De acuerdo a los Términos de Referencia que guían este estudio, y al reporte de resultados del primer año de muestreo (CICESE, 2011), se prefiere el uso de métodos bayesianos. Estos métodos se basan en el principio de Bayes, el cual establece que (Gelman *et al.*, 1995; Ellison, 1996):

$$p(\theta|y) = \frac{p(\theta)p(y|\theta)}{p(y)} = \frac{p(\theta)p(y|\theta)}{\int p(\theta)p(y|\theta)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

En palabras, y en términos de estimación de parámetros, la *probabilidad posterior* de un valor particular para los parámetros (Θ) de un modelo, dada la información disponible o datos (y), es igual al producto de la *probabilidad previa* de los parámetros [$p(\Theta)$] y la probabilidad de los datos dados los parámetros [$p(y|\Theta)$], dividido entre la probabilidad de los datos [$p(y)$]. Este último término de probabilidad es igual a la integral del producto de la distribución previa y la probabilidad de los datos dados los parámetros.

Se debe distinguir que en el Teorema de Bayes todos los componentes se enuncian en términos de probabilidad. Por otro lado, la probabilidad de los datos dados los

parámetros es un término que relaciona a los datos con los parámetros probabilísticamente y establece cual es la posibilidad de un dato a juzgar por una distribución de probabilidad subyacente. Es decir, establece la verosimilitud de los datos y se puede manejar de acuerdo a la metodología de máxima verosimilitud.

Con frecuencia es de mayor interés el denominador del Teorema de Bayes, ya que se trata más que de la probabilidad de un valor particular de los parámetros, de una *distribución posterior* de densidad de probabilidad, compuesta por una *distribución previa* de densidad de probabilidad y la verosimilitud que conecta a los datos con los parámetros, expresado también en forma de función de densidad de probabilidad.

La ventaja del método de Bayes es que permite introducir cualquier información previa que se tenga respecto de los parámetros, siempre que se pueda expresar en términos de probabilidad. Esto permite, a diferencia de la pruebas de hipótesis de los métodos frecuentistas, resolver más de una hipótesis a la vez. Por otro lado, el método permite obtener distribuciones posteriores para otros parámetros de interés que puedan ser derivados de los parámetros principales.

En términos lógicos, el método de Bayes permite transformar una distribución de probabilidad de un parámetro en una distribución posterior a partir de la información contenida en los datos (Gelman *et al.*, 1995; Ellison, 1996).

Frecuentemente la distribución posterior no se puede obtener de forma analítica, por lo que se deben utilizar métodos numéricos para resolver las derivadas e integrales que forman parte de los cálculos (Gelman *et al.*, 1995). Uno de los métodos numéricos más utilizados es el de Monte Carlo Markov Chain (MCMC), el cual se basa en que una integral puede ser aproximada a través de una caminata aleatoria (Gelman *et al.*, 1995). En el método MCMC se busca simular una caminata aleatoria en el espacio numérico de los parámetros que converja a una distribución estacionaria (parámetros de la distribución que no cambian con el tiempo) que represente la distribución posterior conjunta de los parámetros.

Como su nombre lo indica, el método utiliza simulaciones de Monte Carlo (Fishman, 1996) para producir la caminata aleatoria. Para ello se utiliza una rutina de computadora que dirija la caminata a través de un algoritmo y genere números aleatorios. En este estudio se utilizó el paquete AD Model Builder (Fournier *et al.*, 2012) para generar las distribuciones posteriores. Este paquete se beneficia de la implementación de la autodiferenciación para resolver las diferenciales necesarias. Por otro lado, implementa MCMC a través del algoritmo Metropolis-Hastings (Chib y Greenberg, 1995), controlando los saltos aleatorios con base en una distribución multinormal. El programa permite obtener inferencias de los valores de los parámetros a través de pura verosimilitud, la cual permite obtener estimaciones puntuales y variabilidad a través de matrices hessianas, método delta y perfiles de verosimilitud. Esta salida se puede conectar a la rutina MCMC utilizando los valores optimizados de los parámetros como valores iniciales para la cadena (Fournier *et al.*, 2012).

4.3. Comparación entre los muestreos 2011 y 2012

4.3.a. Modelo de estimación

La aproximación más sencilla para comparar ambos muestreos es a través de sus promedios. Se puede usar un modelo muy sencillo que prediga el promedio de la tasa de encuentro acústico al tiempo $t+1$ a partir de una observación al tiempo t :

$$\bar{y}_{t+1} = q \cdot \bar{y}_t \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

donde el promedio de la tasa a un tiempo posterior depende de la tasa a un tiempo anterior y un coeficiente q , que determina el incremento de la tasa. Entonces, el problema es estimar el coeficiente q dados los datos sobre tasa de encuentro acústico disponibles para 2011 y 2012, por lo que la ecuación se puede expresar en específico como:

$$\bar{y}_{2012} = q_{11-12} \cdot \bar{y}_{2011} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

En este modelo el subíndice 11-12 de coeficiente q se refiere a que sólo determina el cambio entre el año 2011 y 2012.

4.3.b. Procedimiento de estimación

Para fines de la aplicación del método bayesiano, en el modelo expresado en la ecuación 3 los parámetros q y \bar{y}_{2011} se consideran parámetros iniciales o previos los cuales se estimarán y \bar{y}_{2012} es un parámetro derivado. Como parámetros iniciales se podría tener información previa $[p(\Theta)]$ que alimentara al modelo de estimación, sin embargo no se cuenta con tal, pues hasta este momento se procede como si las muestras para ambos años fueran las únicas que se han generado, por lo que se desconoce algún indicio de la tasa de cambio entre años (posteriormente se hará un ejercicio de estimación incluyendo información previa). A pesar de esto, aún se puede construir una distribución previa no informativa o semi-informativa para ambos parámetros.

El parámetro q , como multiplicador, puede tomar valores en cero (lo que determinaría que la tasa de encuentro al tiempo $t+1$ sería cero también) e infinito (lo que determinaría que la tasa de encuentro al tiempo $t+1$ sería infinita también). Por supuesto un valor infinito no sería creíble y, de acuerdo a que se sabe que aún hay vaquitas en la región (Gerrodette *et al.*, 2011) un valor de cero tampoco es creíble, aunque la inclusión de este extremo en una distribución previa determinaría que q podría tomar valores muy pequeños que podrían ser creíbles. Se sabe que las tasas potenciales de incremento poblacional de la vaquita son muy bajas (Ortiz, 2002; Jaramillo Legorreta, 2008) y, dado que estos incrementos determinan los niveles de las tasas de encuentro acústico (Gerrodette *et al.*, 2011), se infiere que el extremo superior para una distribución previa para el parámetro q debe ser pequeño. Sin embargo, es recomendable que las distribuciones previas sólo contengan mucha información si se supone que la información previa es muy robusta, pues una distribución previa con esta característica puede guiar la distribución posterior con mayor peso que los datos en sí (Gelman *et al.*,

1995). En este caso la distribución previa para q proviene sólo de inferencias basadas en la dinámica poblacional potencial de la especie, por lo que la distribución debe ser poco informativa. Una distribución de este tipo se puede construir con base en una distribución uniforme, en la que todos los valores posibles tienen la misma probabilidad de ocurrir. Para este parámetro se utilizó un rango posible de valores en el intervalo (0.0 , 3.0). Es decir, la tasa de encuentro acústico al tiempo $t+1$ podría tomar valores entre cero y tres veces la tasa de encuentro al tiempo t . Estos extremos aunque improbables no son descabellados y permiten construir una distribución que contenga todos los valores posibles para el parámetro con variación adicional.

En el caso del parámetro \bar{y}_{2011} se tienen dos opciones, ya que se cuenta con el muestreo de 2011 que se basó en la colección de 2,929 días de muestreo. Una es construir una distribución previa informativa con estos datos e insertarla al procedimiento de estimación de esta forma. Para ello, como se mencionó antes, se construiría una distribución de densidad de probabilidad binomial negativa (Lindén y Mäntyniemi, 2011), con un parámetro para la media y otro para la dispersión:

$$f(y_i; \lambda_i, r) = \frac{\Gamma(y_i+r)}{\Gamma(y_i+1)\Gamma(r)} \left(\frac{r}{\lambda_i+r}\right)^r \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i+r}\right)^{y_i} \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

donde y_i es el valor del cual se quiere obtener la probabilidad binomial negativa, λ_i es el promedio al punto o tiempo i , y r es el parámetro de dispersión. Para construir esta distribución se requeriría estimar el promedio a partir de los 2,929 datos y, de la misma forma, su varianza con los momentos ampliamente conocidos:

$$\text{media} = \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad \text{varianza} = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}$$

El parámetro r se obtiene a partir de la media y la varianza como:

$$r = \frac{\bar{y}^2}{(\sigma^2 - \bar{y})} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

Durante el proceso de análisis, entonces, para cada valor del parámetro \bar{y}_{2011} que se genere durante el proceso MCMC se calcularía su probabilidad de acuerdo a la ecuación 4.

Sin embargo, utilizar el cúmulo de datos de 2011 para construir una distribución previa le resta potencial a la información, que podría ser más valiosa si se usa en la porción de verosimilitud del Teorema de Bayes (ecuación 1). Para ello, entonces, se puede tal como con el parámetro q construir una distribución previa semi-informativa. Nuevamente, el promedio de la tasa de encuentro en 2011 debe ser un valor positivo, por lo que su extremo inferior puede ser cero, aunque sabemos que esto no es así pues hubo 1,636 encuentros acústicos en este año que cuentan para un promedio o tasa de encuentro de 0.559 encuentros/día/estación. Sin embargo para la construcción de la distribución previa es válido. El extremo superior podría tomar también valores infinitos, pero por supuesto esto no es creíble. De acuerdo a los datos de 2011 y 2012 el mayor número de

encuentros acústicos por día fue de 14. Para la distribución previa se seleccionó entonces una distribución uniforme en el intervalo (0.0 , 30.0), con el extremo superior del doble del máximo numero de encuentros observados por día en todas las estaciones.

Bajo la aproximación expuesta en el párrafo precedente, se cuenta entonces con los datos de 2011 y los 3,348 días de muestreo de 2012 para construir el término de verosimilitud del Teorema de Bayes (ecuación 1). Nuevamente, se está trabajando bajo el supuesto de que la tasa de encuentro acústico se distribuye de forma binomial negativa, por lo que esta debe ser construida de acuerdo a la ecuación 4. Se debe recordar que el interés es obtener la distribución posterior de los parámetros de interés, por lo que el método se enfoca en obtener $p(y)$ del Teorema de Bayes (ecuación 1), para lo que se utilizará el paquete AD Model Builder.

La forma en que el paquete encuentra las integrales necesarias y forma la cadena MCMC es a través de la minimización de una función objetivo, frecuentemente denominada f (Fournier *et al.*, 2012). La función objetivo es el producto de la distribución previa de los parámetros y la verosimilitud, que para nuestro caso es:

$$f = \left(\frac{1}{3}\right) \left(\frac{1}{30}\right) \frac{\Gamma(y_{11,i}+r)}{\Gamma(y_{11,i}+1)\Gamma(r)} \left(\frac{r}{\lambda_{11}+r}\right)^r \left(\frac{\lambda_{11}}{\lambda_{11}+r}\right)^{y_{11,i}} \frac{\Gamma(y_{12,i}+r)}{\Gamma(y_{12,i}+1)\Gamma(r)} \left(\frac{r}{\lambda_{12}+r}\right)^r \left(\frac{\lambda_{12}}{\lambda_{12}+r}\right)^{y_{12,i}}$$

.....Ecuación 6

en donde las dos primeras constantes representan las distribuciones uniformes (1/intervalo) para q y \bar{y}_{2011} respectivamente. La parte restante son las funciones de verosimilitud para el promedio de la tasa de encuentro en 2011 y 2012, donde Γ es la función gamma que es parte de la distribución binomial negativa. $y_{11,i}$ y $y_{12,i}$ son los valores de la tasa de encuentro para cada uno de los datos de 2011 y 2012 respectivamente (por simplificación no se incluyen en la ecuación las multiplicativas, pero la verosimilitud total es el resultado de multiplicar la función para cada uno de los datos disponibles, 2,929 para 2011 y 3,348 para 2012). λ_{11} es el valor seleccionado para la media en 2011 en cada simulación de la cadena MCMC. λ_{12} es el parámetro derivado que resulta de obtener la media en 2012 a partir de la ecuación 2.

El parámetro de dispersión r se supone igual para ambos años, dado que como se explicó en el apartado de descripción de la información 2011 y 2012 las varianzas son muy similares. Dado que los datos de 2011 y 2012 se usan dentro de los términos de verosimilitud, no hay forma de obtener una estimación de r a partir de los datos, pues el uso de la información se estaría duplicando lo que sesgaría la estimación de la variabilidad (Gelman *et al.*, 1995). Por ello, r debe ser considerado un parámetro adicional a ser estimado y debe contar con una distribución previa. Conforme el parámetro r se hace grande la distribución tiene hacia la forma de Poisson, mientras que valores pequeños aumentan la dispersión y tienden hacia la forma binomial negativa. Como se vio antes, de forma gráfica un valor para r de 0.2 parece ofrecer un buen ajuste (Figura 5). Para construir una distribución previa para r , semi-informativa, se puede utilizar una distribución uniforme en el intervalo (0.01 , 5.0), dado que el parámetro de dispersión no puede tomar valores de cero. Entonces, a la ecuación 6 habría que agregar el término (1/4.99) para incluir la distribución previa para r .

El cálculo de la función objetivo es mejor realizarlo en el dominio del logaritmo de f . De tal forma, los términos de la función pueden ser sumados en vez de multiplicados lo que hace la aritmética más sencilla (Fournier *et al.*, 2012). Por otro lado, dado que las tres distribuciones previas son uniformes, y no dependen de los valores de los parámetros o de los datos, pueden ser eliminadas de la minimización de función objetivo, pues su contribución numérica es igual para todos los valores de los datos y los parámetros. Por tal, la función objetivo sólo se compondrá de la sumatoria para todos los datos del logaritmo de los términos de verosimilitud.

Debe tomarse en cuenta que las funciones de verosimilitud, al ser funciones de densidad de probabilidad, tienen un máximo si están expresadas correctamente. AD Model Builder implementa una rutina de minimización, así que para el correcto desempeño del algoritmo se tiene que alimentar a la rutina con el negativo de las funciones de verosimilitud, que después de la manipulación algebraica el negativo del logaritmo de f queda como:

$$\begin{aligned} \ell f = & [(\ell \Gamma(r) - (r \cdot \ell r)) \cdot (n_{11} + n_{12})] - [y_{11,i} \cdot \ell \lambda_{11}] + [\ell(r + \lambda_{11}) \cdot (r + y_{11,i})] - \\ & [\ell \Gamma(r + y_{11,i})] + [\ell \Gamma(y_{11,i} + 1)] - [y_{12,i} \cdot \ell \lambda_{12}] + [\ell(r + \lambda_{12}) \cdot (r + y_{12,i})] - \\ & [\ell \Gamma(r + y_{12,i})] + [\ell \Gamma(y_{12,i} + 1)] \dots\dots\dots \text{Ecuación 7} \end{aligned}$$

donde ℓ es el logaritmo natural y los demás componentes de la función ya se explicaron en la ecuación 6. Nuevamente, por simplicidad se omite expresar las sumatorias en los términos en los que aparecen los datos de cada año, pero al final la función objetivo ℓf es el resultado de sumar todos los términos con los valores para cada uno de los datos disponibles. Esta función es la que ingresa al procedimiento de minimización y de generación de la cadena MCMC.

4.3.c. Resultados

Una vez que se ensambló el modelo dentro del paquete AD Model Builder y se comprobó que este podía ser optimizado sin errores de programación o proceso, se procedió a iniciar el proceso MCMC.

Se sabe que las simulaciones contiguas en un proceso MCMC están altamente correlacionadas (cita), por lo que es adecuado considerar la construcción de la distribución posterior con simulaciones de la cadena que estén alejadas unas de otras. Para decidir sobre este factor se corrió una primera cadena MCMC que contuviera 10,000 simulaciones. A esta cadena se le aplicó un análisis de autocorrelación para revisar la magnitud de la correlación entre simulaciones contiguas (Figura 6). La correlación entre simulaciones contiguas es de aproximadamente 0.777, mientras que para simulaciones alejadas por diez secuencias la correlación cae por debajo de 0.1. Por tal, la distribución posterior se construyó tomando de la cadena MCMC los valores para los parámetros de cada diez simulaciones.

Dado que el modelo es sencillo se pudo generar en aproximadamente una dos hora un total de 1,000,000 de simulaciones, de la cuales se extrajo un valor de cada diez para

evitar la correlación. Con ello, se conjuntó una cadena de 100,000 simulaciones para construir las distribuciones posteriores.

El problema central del método usado es generar una cadena MCMC que converja a la distribución posterior de forma estacionaria. Para ello se debe verificar la convergencia. Generalmente se acepta que no se puede demostrar que una cadena a convergido, pero hay técnicas para verificar, con diversos grados de complejidad, que no hay problemas evidentes de convergencia. En este trabajo se presentan tres criterios de convergencia:

Recorridos MCMC. Se grafican los valores de todas las simulaciones y se verifica que la cadena haya recorrido aleatoriamente un espacio de distribución similar a lo largo de la cadena.

Promedio y desviaciones móviles. Se grafica el calculo de media y desviación estándar del parámetro en revisión a cada simulación. De tal forma, en la simulación 100 se grafica la media y desviación con n igual a 100 y en la última simulación se grafican con n igual al total de las simulaciones generadas. Se espera que si la cadena no tuvo problemas de convergencia al principio de la serie el comportamiento sea errático, pero al final sea una recta con pendiente prácticamente de cero. Es decir, que por más simulaciones que se agreguen la media y desviación ya no cambian significativamente, indicando que se ha alcanzado la estacionalidad.

Forma de la distribución posterior. La distribución posterior se presenta como un histograma de frecuencias con un tamaño para el intervalo de clase que sea suficiente para representar de forma suave a la distribución (mientras más pequeño mejor). Si la cadena es de suficiente tamaño como para representar a la distribución posterior, esta tendrá una forma *suave*, es decir, la frecuencia de intervalos contiguos será muy parecida. Por otro lado, se puede revisar que el rango de valores representa adecuadamente el espacio de la distribución. Por ejemplo, para una distribución aparentemente normal, que las colas se formen adecuadamente con valores extremos para los parámetros con escasa frecuencia. La ausencia de colas adecuadamente trazadas puede indicar, por ejemplo, que las distribuciones previas contienen información que no representa a la distribución posterior.

En la Figura 7 se muestran los recorridos de las 100,000 simulaciones para los parámetros q y λ_{II} . Dado que no se evidencian tendencias distintas entre zonas de la simulación y que las zonas centrales de la distribución parecen haber sido recorridas con mayor frecuencia que los extremos (lo que se esperaría de una distribución con dos colas) se infiere que la distribución pudo haber convergido a una distribución estacionaria. A juzgar por las gráficas, el promedio de q podría estar alrededor de 1.11 y de λ_{II} alrededor de 0.56 (por supuesto que estos valores se calculan a partir de los 100,000 valores de la cadena MCMC). El comportamiento del parámetro de dispersión r es similar a los otros dos y por simplicidad no se graficó su recorrido ni su media y desviación estándar móviles.

En la Figura 8 se muestra el comportamiento de la media y desviación estándar móviles para ambos parámetros. Se puede notar que en aproximadamente las primeras centenas

de simulaciones el comportamiento es muy errático y, de hecho, es el momento en que ambos indicadores de convergencia toman valores extremos en el rango mostrado en los ejes verticales de las gráficas. Hacia aproximadamente 5,000 simulaciones el comportamiento deja de ser errático y después de aproximadamente 20,000 ambos indicadores se estabilizaron. Por tal, no se halla evidencia de un problema de convergencia.

En la Figura 9 se muestra la distribución posterior para los parámetros principales q , λ_{11} y r , así como para el parámetro derivado λ_{12} , que son el foco de interés del análisis. Se puede observar que las distribuciones representadas en los polígonos de frecuencia lucen con contornos suaves y las colas se hallan bien representadas, por lo que se infiere que la cadena de 100,000 simulaciones MCMC representa de forma adecuada a las distribuciones posteriores de estos parámetros. En las distribuciones de la tasa de encuentro acústico promedio para 2011 y 2012 se parecía claramente como las medias no coinciden y la dispersión es similar.

En la tabla abajo se muestran los valores de tendencia central y de dispersión para los tres parámetros calculados de las 100,000 simulaciones MCMC.

<i>Parámetro</i>	media	mediana	desviación estándar	error estándar	percentil 2.5	percentil 97.5
q	1.1178	1.1151	0.0739	0.000234	0.9799	1.2700
r	0.1583	0.1582	0.0065	0.000020	0.1460	0.1714
λ_{11}	0.5595	0.5589	0.0274	0.000087	0.5081	0.6151
λ_{12}	0.6239	0.6232	0.0276	0.000087	0.5721	0.6803

La media y mediana son muy parecidas, dado que las distribuciones posteriores muestran un comportamiento simétrico. El pequeño error estándar es el resultado del amplio número de simulaciones utilizadas para generar la cadena MCMC. Los percentiles 2.5 y 97.5 representan respectivamente los extremos inferior y superior del intervalo de credibilidad (en el lenguaje del análisis bayesiano) al 95%. Se puede apreciar que el parámetro r tiene una variabilidad muy baja, lo que indica que la información disponible es muy adecuada para su estimación y, se confirma, que es similar entre ambos años de muestreo. Es decir, este parámetro puede entrar a los modelos de simulación como un parámetro único que no varía entre años.

4.3.d. Implicaciones

Aproximadamente un 95% de la distribución posterior para q contiene valores superiores a 1, lo que indica que con mucha credibilidad la media de la tasa de encuentro en 2012 es más grande que en 2011. Esto se puede ver claramente en las distribuciones posteriores para la tasa promedio de ambas años. El estimador puntual de q es de alrededor de 1.11, lo que quiere decir que el promedio de la tasa de detección es más grande en aproximadamente 11% en 2012 respecto de 2011.

Se sabe que las poblaciones de marsopas (familia de cetáceos a la que pertenece la vaquita) pueden crecer a tasas máximas de aproximadamente 4% (Barlow y Boveng,

1991; Woodley y Read, 1991), aunque para la vaquita se estima que podría ser aún menor (Ortiz, 2002; Jaramillo Legorritea, 2008). Por otro lado, se infiere que la población de vaquita ha venido decreciendo en los últimos años debido a su continuada captura en redes (Gerrodette *et al.*, 2011), aunque probablemente a menores tasas que previo a 2008, debido a la aplicación de medidas de recuperación tendientes a la disminución del esfuerzo pesquero que las captura (CONANP, 2008).

De tal forma, el cambio en el promedio de la tasa de encuentro acústico entre 2011 y 2012 no se ajusta a lo que se infiere de la trayectoria de la población en los últimos años, incluso si la población se hallara creciendo a su tasa máxima. Esto puede deberse a que aún desconocemos con detalle el grado de variabilidad de la tasa de encuentro acústico así como la naturaleza precisa de la relación entre tamaño poblacional y tasa de encuentro acústico. Será necesario, tal como se detalla en el documento que contiene el diseño del esquema de monitorización acústica (Rojas Bracho *et al.*, 2010), coleccionar el número de períodos de muestreo necesarios (6 períodos anuales) para contar con información suficiente para estimar la tendencia poblacional. En otras palabras, corroborar con muestreos futuros que la diferencia encontrada entre 2011 y 2012 se mantiene o es el resultado de una variación natural del proceso natural (individuos emitiendo señales acústicas en el espacio de muestreo) y del proceso de muestreo.

Respecto del último punto, el ejercicio de estimación presentado representa sólo un primer intento de manejo de la información generada hasta ahora para estimar la tendencia poblacional de la vaquita a partir de datos de tasa de encuentro acústico. Con la información disponible no se pueden alcanzar conclusiones sobre la tendencia poblacional, pues, como se mencionó, aún falta obtener la información de los restantes cuatro períodos de muestreo que se contemplan en el diseño original del esquema de monitorización (Rojas Bracho *et al.*, 2010). Por otro lado, el proceso de muestreo debe ser evaluado con el fin de identificar potenciales fuentes de variación adicionales al tiempo de muestreo, con el fin manejar la varianza asociada y aumentar la potencia del análisis para detectar diferencias en la tasa de detección debidas a incrementos potenciales y disminuir los efectos de otras variables, tal como diferencias espaciales en la tasa de encuentro, interacciones biológicas o físicas y potenciales efectos de movimientos diferenciales entre años en la distribución de individuos dentro y fuera de la zona de muestreo (Refugio de Protección, Figura 1).

4.4. Análisis tomando en cuenta información previa

El análisis presentado en las secciones anteriores se realizó sin tomar en cuenta ningún tipo de información previa o adicional a los años en que se realizó el muestreo. Como se mencionó antes, una de las ventajas del análisis bayesiano es la inclusión de información previa que pueda contribuir a realizar una estimación más apegada al comportamiento real del fenómeno siendo modelado.

La monitorización acústica de la vaquita se inició en el año 1997 utilizando un equipo semi-autónomo, operado desde una embarcación por un grupo pequeño de científicos. Este estudio se prolongó hasta el año 2007, encontrando que la tasa de encuentro acústico se decrementó progresivamente a lo largo de la decena de años que comprendió

el muestreo (Jaramillo Legorreta, 2008). En 2008, cuando se realizó un crucero conjunto entre los gobiernos de México y los Estados Unidos para obtener información que sirviera para el diseño de un esquema de monitorización acústica estadísticamente más potente (Rojas Bracho *et al.*, 2010) se aplicó por última vez el muestreo semi-autónomo.

Como se especifica en el reporte del período de monitorización 2011, uno de los modelos adecuados para aplicar a datos de conteos, como es el caso del número de encuentros acústicos por día, es el logarítmico:

$$y_t = e^{a+bt} \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

donde y_t es la tasa de encuentro al tiempo t , y a y b son parámetros por estimar. Las propiedades de este modelo se ajustan a conteos pues sólo puede tomar valores positivos. Durante el proceso de estimación el modelo se puede modificar para tomar en cuenta esfuerzos de muestreo que no sean homogéneos, tal como ocurrió con los datos generados entre 1997 y 2008, los cuales incluyeron estaciones con muestreos desde pocas horas a más de un día:

$$y_t = e^{\ell(m)+a+bt} \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

donde $\ell(m)$ es el logaritmo natural del esfuerzo de muestreo m aplicado al tiempo de muestreo t .

Para comparar el efecto de introducir al análisis información previa y presente se aplicará el modelo logarítmico al conjunto de datos 2011-2012 por sí solo, y después incluyendo la información previa del período 1997-2008. El juego de datos de este período previo se presenta en la Figura 10. El problema es estimar los parámetros a y b . Como en la estimación del parámetro q , la distribución de la tasa de encuentro se supone binomial negativa y, por tanto, r es otro parámetro a estimar. Se seguirá el mismo procedimiento metodológico aplicado en la sección 4.3. Sólo se presentan las distribuciones posteriores para los parámetros, no así las pruebas de convergencia por simplicidad, aunque éstas fueron aplicadas con todo rigor.

4.4.a. Modelo para el período 2011-2012

En la Figura 11 se muestran las distribuciones posteriores (obtenidas con 100,000 simulaciones MCMC) para los parámetros a , b y r . Inmediatamente se puede apreciar que la mayor densidad del parámetro b se ocupa con valores positivos, lo que implica que la pendiente de la tendencia de la tasa de encuentro es positiva y que, por tanto, esta se incrementa con el tiempo, misma conclusión que se alcanzó con la estimación del parámetro q del modelo simple expresado en la ecuación 3. De acuerdo al modelo logístico (Tabla III) la tasa de encuentro se incrementó en aproximadamente 9.5% entre 2011 y 2012, un resultado similar al 11% inferido de la estimación de q .

4.4.b. Modelo para el período 1997-2011

En la Figura 12 se muestran las distribuciones posteriores (obtenidas con 100,000 simulaciones MCMC) para los parámetros a , b y r . Es claro el resultado diametralmente opuesto para el parámetro b . Para esta estimación su densidad es sólo de valores negativos. Es decir, hay una credibilidad de 100% que la tasa de encuentro disminuyó en el período modelado. El modelo logístico (Tabla III) predice que la tasa se redujo aproximadamente 95% en el período de 14 años. Es decir, aunque los datos 2011-2012 predigan una tendencia positiva, sólo representan un breve período de tiempo respecto de otra información disponible. Cuando la información previa (1997-2008) se combina con el primer muestreo de este estudio en 2011, la estimación cambia pues los datos indican que la tasa de detección tendió a ser mayor en años anteriores.

4.4.c. Modelo para el período 1997-2012

En la Figura 13 se muestran las distribuciones posteriores (obtenidas con 100,000 simulaciones MCMC) para los parámetros a , b y r . Se aprecia que, en respuesta a la tendencia de encontrar mayores tasas de encuentro en 2012, respecto de 2011, la pendiente b redujo su valor negativo, por tanto, se estima una tendencia de menor reducción de la tasa de encuentro acústico. El modelo logístico (Tabla III) estima que en el período 1997-2011 la tasa se redujo en aproximadamente 84%, comparado con el 95% cuando no se incluyen los datos de 2012. Para el período 2011-2012 el modelo estima una reducción de aproximadamente 15%, mientras que los datos 2011 y 2012 por sí solos estimaron una tendencia positiva de aproximadamente 11%.

A pesar de estas marcadas diferencias entre los modelos estimados, es importante remarcar que la estimación para el parámetro r es muy similar para los tres juegos de datos analizados (Tabla III), lo que parece confirmar que, en efecto, los datos de encuentro acústico se distribuyen de acuerdo a una distribución binomial negativa, dado el pequeño valor de r (Lindén y Mäntyniemi, 2011).

4.4.d. Implicaciones

La Figura 14 muestra de forma gráfica la tendencia del modelo ajustado a cada uno de los juegos de datos. Los datos 2011-2012 por sí solos estiman que la tasa de encuentro acústico se ha venido incrementando muy lentamente desde 1997 y que en promedio nunca ha sido mayor a 1, lo que no coincide con la información previa (Figura 10). Cuando se toma en cuenta la información previa, y sólo los datos de 2011, el modelo logarítmico estima valores promedio más apegados a la información previa. Al tomar en cuenta adicionalmente los datos de 2012 el modelo predice promedios más bajos para la tasa de encuentro acústico.

Dado el comportamiento observado de los diferentes ajustes realizados, se puede evidenciar la importancia de tomar en cuenta toda la información previa disponible, pues ello permite la construcción de modelos más apegados a la realidad del fenómeno observado. Sin embargo, se debe considerar la robustez del modelo ajustado para representar el fenómeno que se quiere describir. En este caso, parece claro que el

modelo logarítmico fue muy sensible a un cambio de 11% en la tasa de encuentro entre 2011 y 2012. El modelo respondió drásticamente en fechas previas y con menor intensidad entre el período en que se observó el cambio.

Es posible modificar el modelo de diversas maneras para hacerlo más robusto, tal como la inclusión de covariables que pudieran ser importantes en el control de la tasa de encuentro acústico o incluir términos cuadráticos o de mayor término que puedan responder a cambios en la tasa en períodos breves, respecto del total de tiempo analizado. Más aún, otros modelos alternativos al logarítmico utilizado podrían describir de mejor forma el proceso de detección acústica siendo utilizado para monitorizar a la vaquita. De hecho, la labor de modelaje debería basarse en el ensayo de una variedad de modelos y variables que permita incluir en el análisis la mayor información posible y la mayor cuantía de las fuentes de variación (Hilborn y Mangel, 1997).

5. Recomendaciones

- Continuar con el muestreo de los años restantes previstos para el esquema de monitorización (Rojas Bracho *et al.*, 2010) con los mismos métodos aplicados hasta ahora, a fin de evitar sesgos en la estimación de la tendencia poblacional de la vaquita.
- Junto con la variabilidad observada después del muestreo 2013, explorar potenciales fuentes de variación que deban ser manejadas a fin de refinar la estructura del modelo, por ejemplo a través de la introducción de covariables o del diseño de estratos de muestreo.
- Investigar la aplicación de modelos alternativos al logarítmico manejado en este reporte, que incluso contengan términos que determinen un máximo para la tasa de detección, que es lo que se esperaría a tamaños poblacionales más grandes.

6. Literatura Citada

- Barlow, J. y Boveng, P. 1991. Modelling age-specific mortality for marine mammal populations. *Marine Mammal Science* 7:84-119.
- Chib, S. and E. Greenberg. 1995. Understanding the Metropolis-Hastings Algorithm. *The American Statistician* 49(4):327-335.
- CICESE. 2011. *Inicio de Operaciones y Calibración del Esquema de Monitorización Acústica para la Población de la Vaquita*. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Reporte Final para el Instituto Nacional de Ecología – SEMARNAT. Ensenada, B.C., a 17 de Octubre de 2011. 38 pp.
- CONANP. 2008. *Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Vaquita (Phocoena sinus)*. Estrategia Integral para el Manejo Sustentable de los Recursos Marinos y Costeros en el Alto Golfo de California. Secretaría de Medio Ambiente y Naturales. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F. 87 pp.
- Ellison, A.M. 1996. An introduction to Bayesian inference for ecological research and environmental decision-making. *Ecological Applications* 6(4):1036-1046.

- Fishman, G.S. 1996. *Monte Carlo. Concepts, Algorithms, and Applications*. Springer-Verlag New York Inc. Springer series in operations research. New York, U.S.A. 698 pp.
- Fournier, D.A., H.J. Skaug, J. Ancheta, J. Ianelli, A. Magnusson, M.N. Maunder, A. Nielsen and J. Sibert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optim. Methods Softw.* 27:233-249.
- Gelman, A., B.P. Carlin, H.S. Stern y D.B. Rubin. 1995. *Bayesian Data Analysis*. Texts in Statistical Science Series. Chapman and Hall, London. 526 pp.
- Gerrodette, T., B.L. Taylor, R. Swift, S. Rankin, A.M. Jaramillo-Legorreta and L. Rojas-Bracho. 2011. A combined visual and acoustic estimate of 2008 abundance, and change in abundance since 1997, for the vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science* DOI: 10.1111/j.1748-7692.2010.00438.x.
- Hilborn, R. y M. Mangel. 1997. *The Ecological Detective. Confronting Models with Data*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, U.S.A. 315 pp.
- Jaramillo-Legorreta, A.M. 2008. *Estatus actual de una especie en peligro de extinción, la vaquita (Phocoena sinus): Una aproximación poblacional con métodos acústicos y bayesianos*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. 115 pp.
- Johnson, D.H. 1999. The Insignificance of Statistical Significance Testing. *Journal of Wildlife Management* 63(3):763-772.
- Lindén, A. and S. Mäntyniemi. 2011. Using the negative binomial distribution to model overdispersion in ecological count data. *Ecology* 92(7):1414-1421.
- Ortiz, I. 2002. Impacts of fishing and habitat alteration on the population dynamics of the vaquita, (*Phocoena sinus*). A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. University of Washington. School of Aquatic and Fishery Sciences. 62 pp.
- Rojas-Bracho, L., A. Jaramillo-Legorreta, G. Cardenas, E. Nieto, P. Ladron de Guevara, B.L. Taylor, J. Barlow, T. Gerrodette, A. Henry, N. Tregenza, R. Swift, and T. Akamatsu. 2010. *Assessing trends in abundance for vaquita using acoustic monitoring: within refuge plan and outside refuge research needs*. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS, NOAA-TM-NMFS-SWFSC-459. 39 pp.
- Rojas Bracho, L., A. Jaramillo Legorreta, G. Cárdenas Hinojosa, E. Nieto García, F. Valverde Esparza, R. Arozamena Osuna, B. Taylor, J. Barlow, A. Henry y N. Tregenza. 2011. *Assessing Trends in Abundance for Vaquita using Acoustic Monitoring: Steering Committee Report on Pilot testing phase and recommendations for full deployment*. Abril 4-7 de 2011. San Felipe, Baja California. No publicado. Disponible escribiendo un mensaje a: ajaramil@cicese.mx.
- Woodley, T.H. y A.J. Read. 1991. Potential rates of increase of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) population subjected to incidental mortality in commercial fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48:2429-2435.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall Inc., New Jersey. 718 pp.

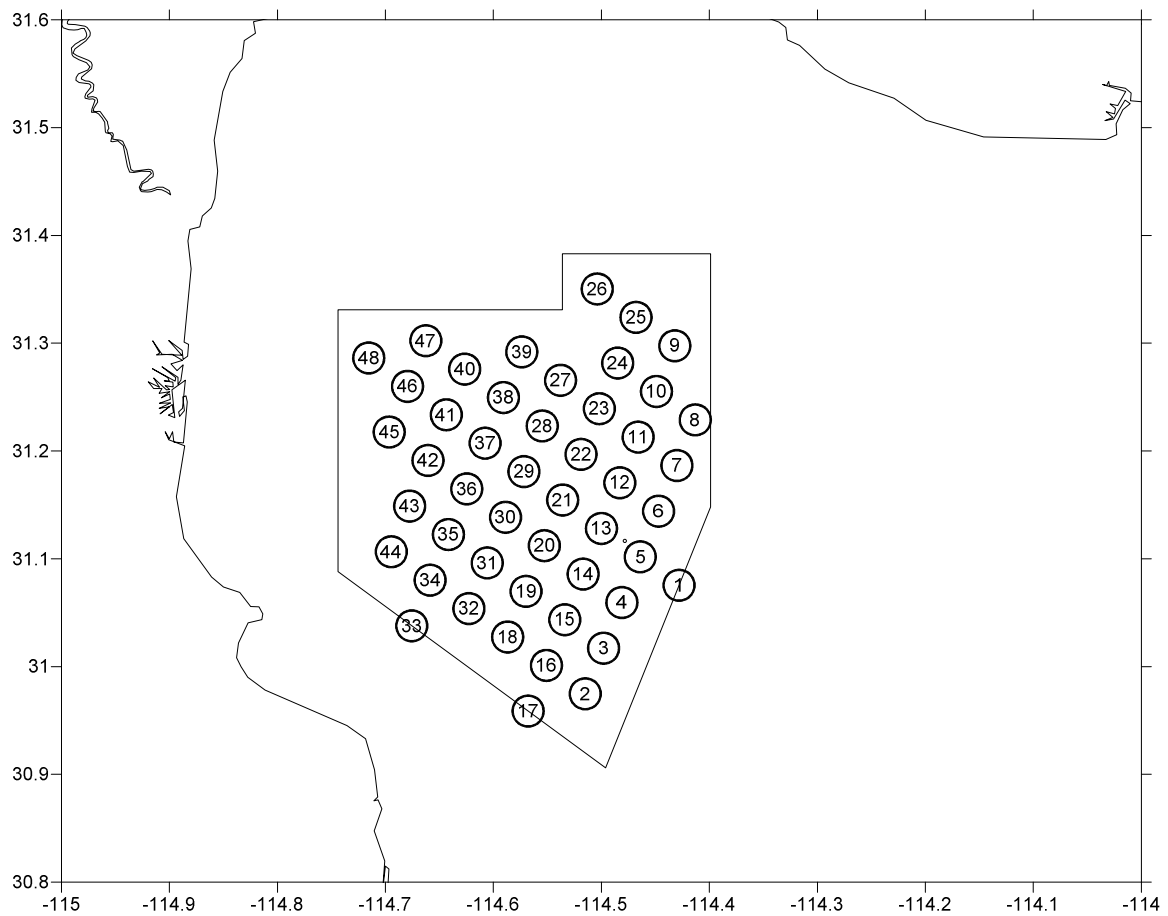


Figura 1. Sitios en los que se lanzaron anclajes sumergidos y detectores acústicos (círculos numerados, Tabla I) dentro del Polígono del Refugio de Protección para la Vaquita.

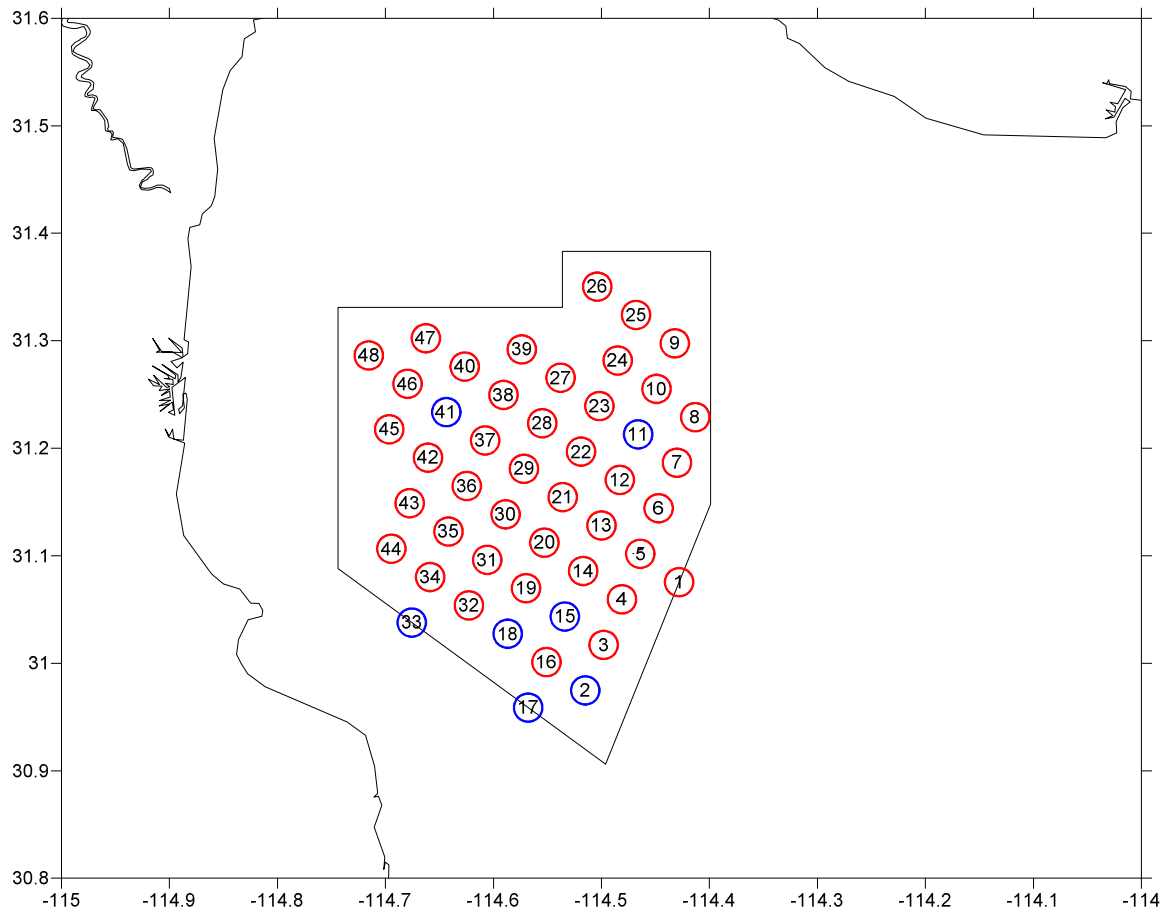


Figura 2. Sitios en los que se recuperaron anclajes sumergidos y detectores acústicos (círculos azules) y aquellos en los que no pudieron ser encontrados (círculos rojos). Los números indican el número de sitio de muestreo de acuerdo a la Tabla II.

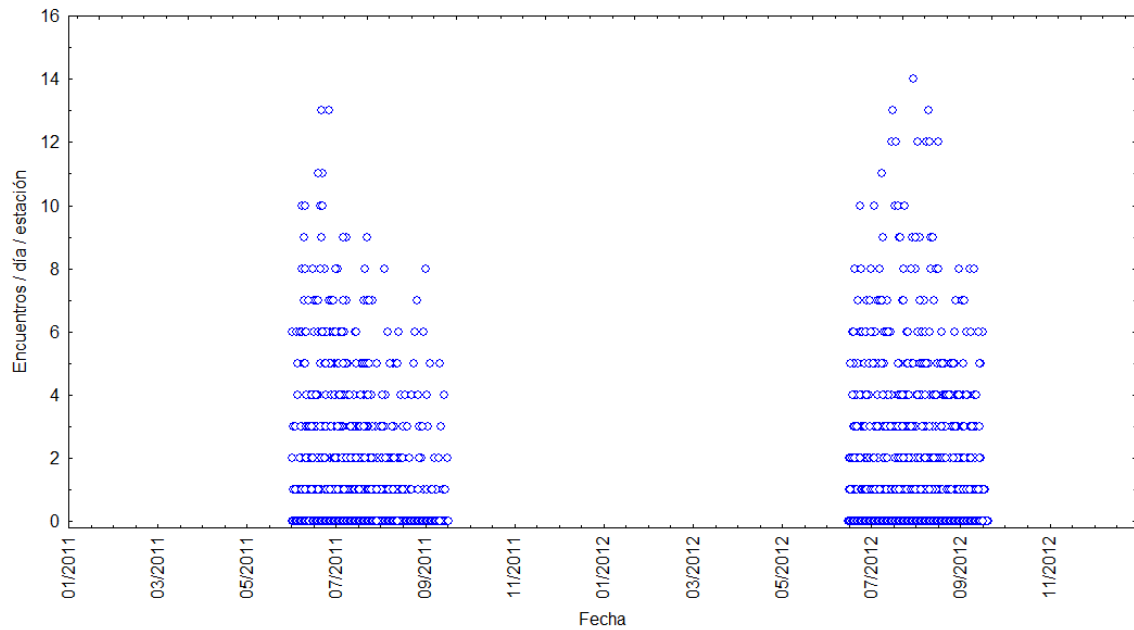


Figura 3. Dispersión de los datos de encuentro acústico de 2011 (grupo de datos a la izquierda) y 2012 (grupo de datos a la derecha). Los círculos azules representan el número de encuentros acústicos identificados en cada día de muestreo, independientemente de la estación en la que se obtuvieron.

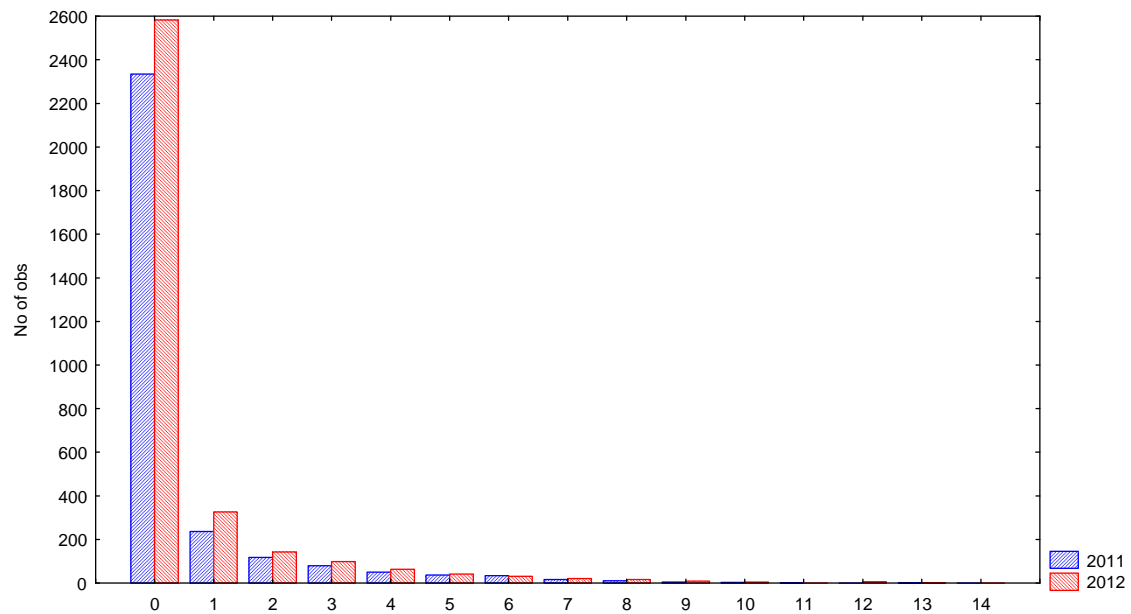


Figura 4. Distribución de los datos de encuentro acústico para los muestreos 2011 y 2012. Es claro el acúmulo de valores cero, lo que aleja a los datos de una distribución tipo Poisson y se asemejan más a una tipo Binomial Negativo.

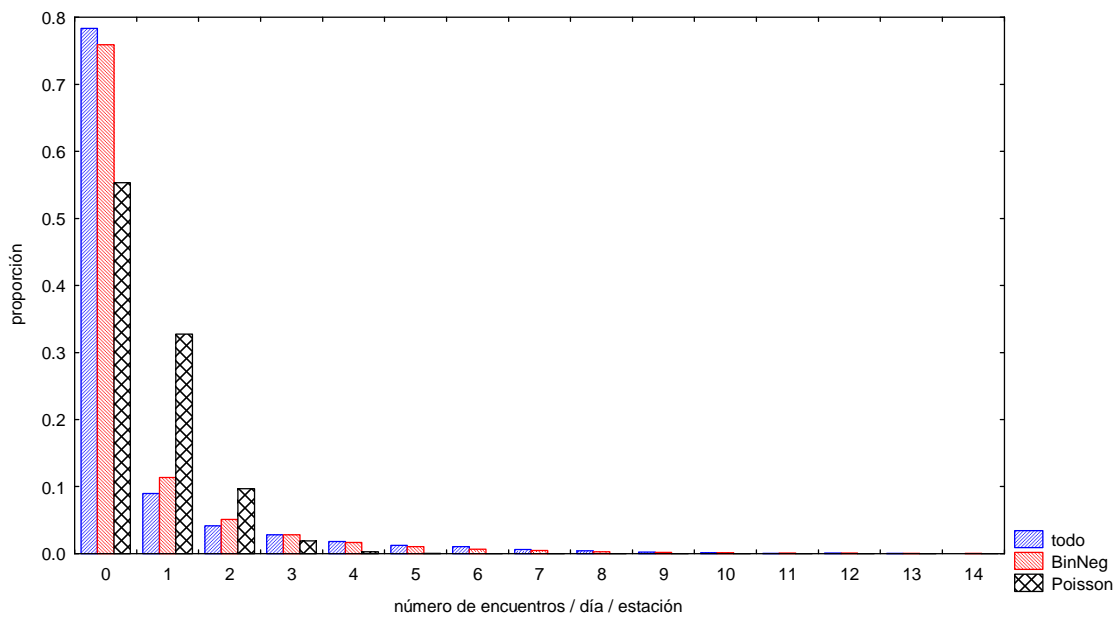


Figura 5. Distribución de probabilidad para los datos agrupados 2011 y 2012 (barras azules). Las barras rojas representan el ajuste de los datos a una distribución binomial negativa con media 0.592 y el parámetro $r = 0.2$. Las barras negras son el ajuste a una distribución de Poisson con la misma media. Es claro que la distribución binomial negativa representa de mejor forma a la distribución de los datos.

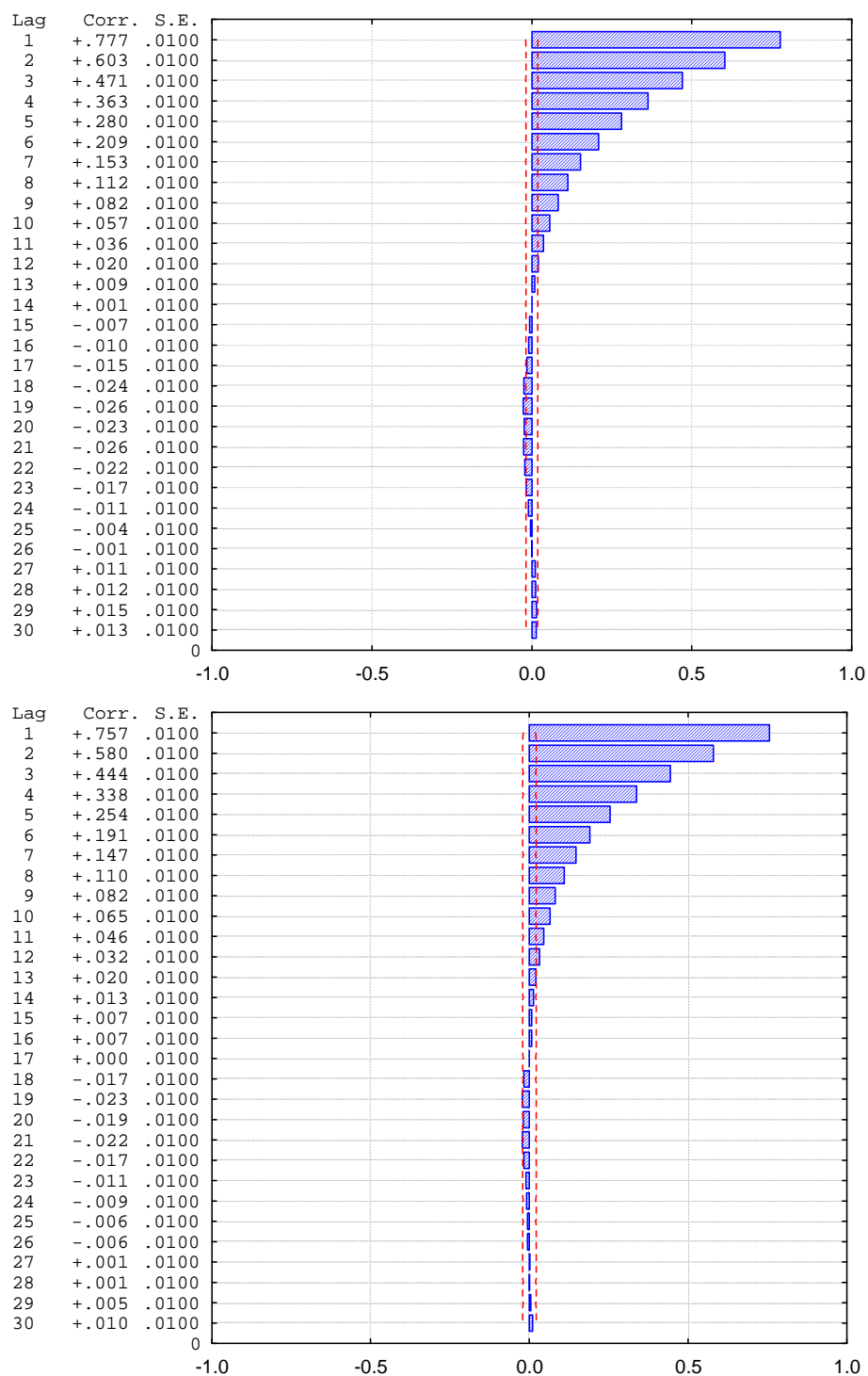


Figura 6. Autocorrelaciones para 10,000 simulaciones MCMC para los parámetros q (arriba) y \bar{y}_{2011} (abajo), con retardos de 1 a 30. Se puede apreciar como las simulaciones contiguas están altamente correlacionadas y que la correlación disminuye por debajo de 0.1 cuando las simulaciones se alejan por un factor de 10 aproximadamente. Un comportamiento similar ocurre para el parámetro r .

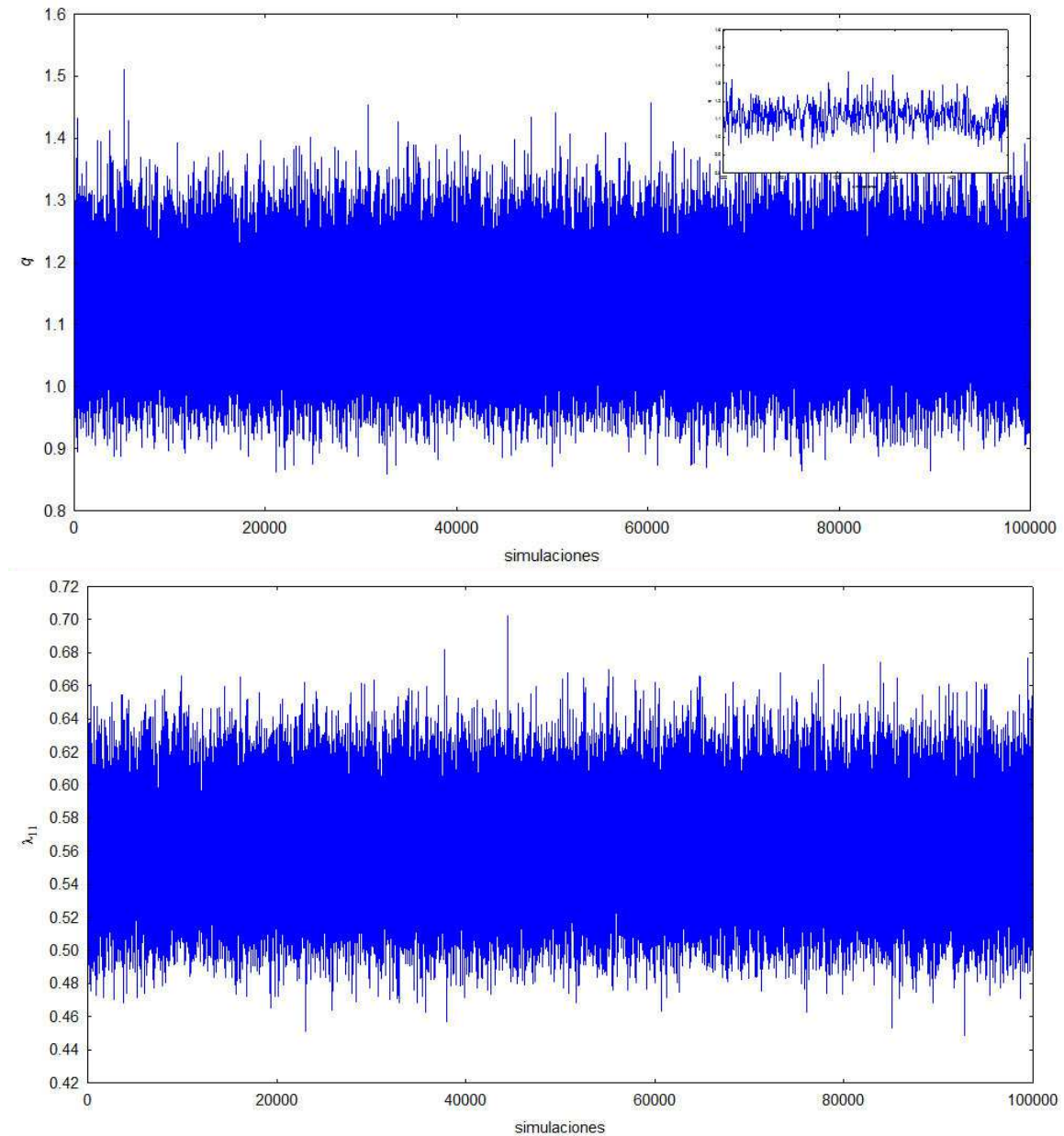


Figura 7. Recorridos de la cadena de 100,000 simulaciones MCMC para los parámetros q (arriba) y λ_{11} (abajo). Se aprecia que en ambos casos la cadena recorrió ampliamente la zona alrededor del promedio y en menor número de simulaciones las zonas más extremas. Por otro lado, no se distingue tendencias diferenciales en el comportamiento de la cadena a lo largo de la simulación completa, por lo que no se hallan evidencias de problemas de convergencia. En la gráfica superior se incluye un recuadro que muestra las simulaciones 1000 a 1500 para el parámetro q , para mostrar en mayor detalle la forma en que la cadena recorre el espacio de distribución de este parámetro. El recorrido es similar para el parámetro r .

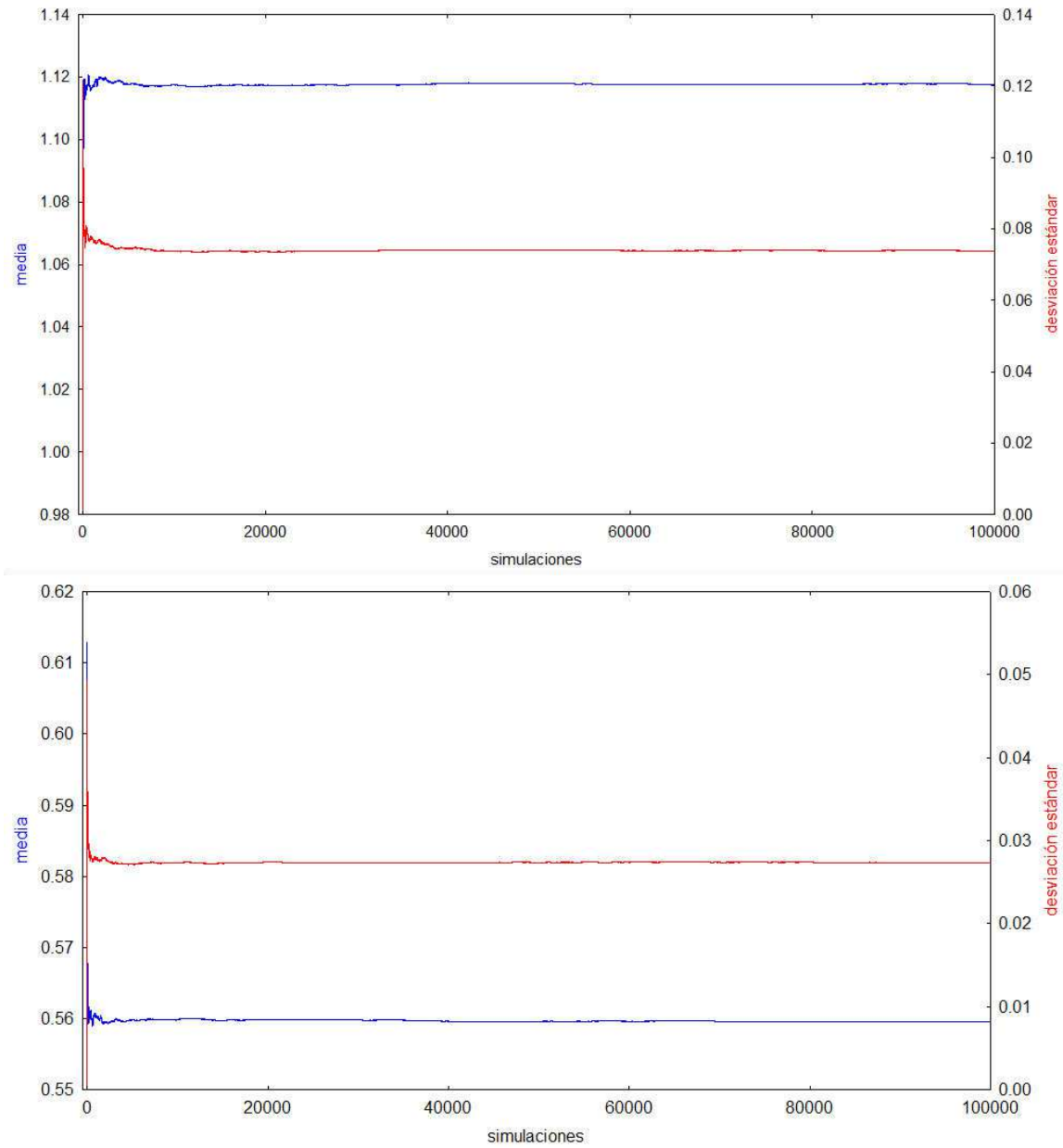


Figura 8. Media y desviación estándar móviles de la cadena de 100,000 simulaciones MCMC para los parámetros q (arriba) y λ_{II} (abajo). La media se representa con la línea azul y los valores a la izquierda y la desviación estándar con la línea roja y los valores a la derecha. Se aprecia que ambos indicadores varían drásticamente en las primeras simulaciones, lo que de hecho causa que el rango de valores en los ejes sean tan amplios. Para ambos parámetros los dos indicadores se estabilizaron antes de alcanzar 20,000 simulaciones, por lo que no parece haber problemas de convergencia. La situación es similar para el parámetro r .

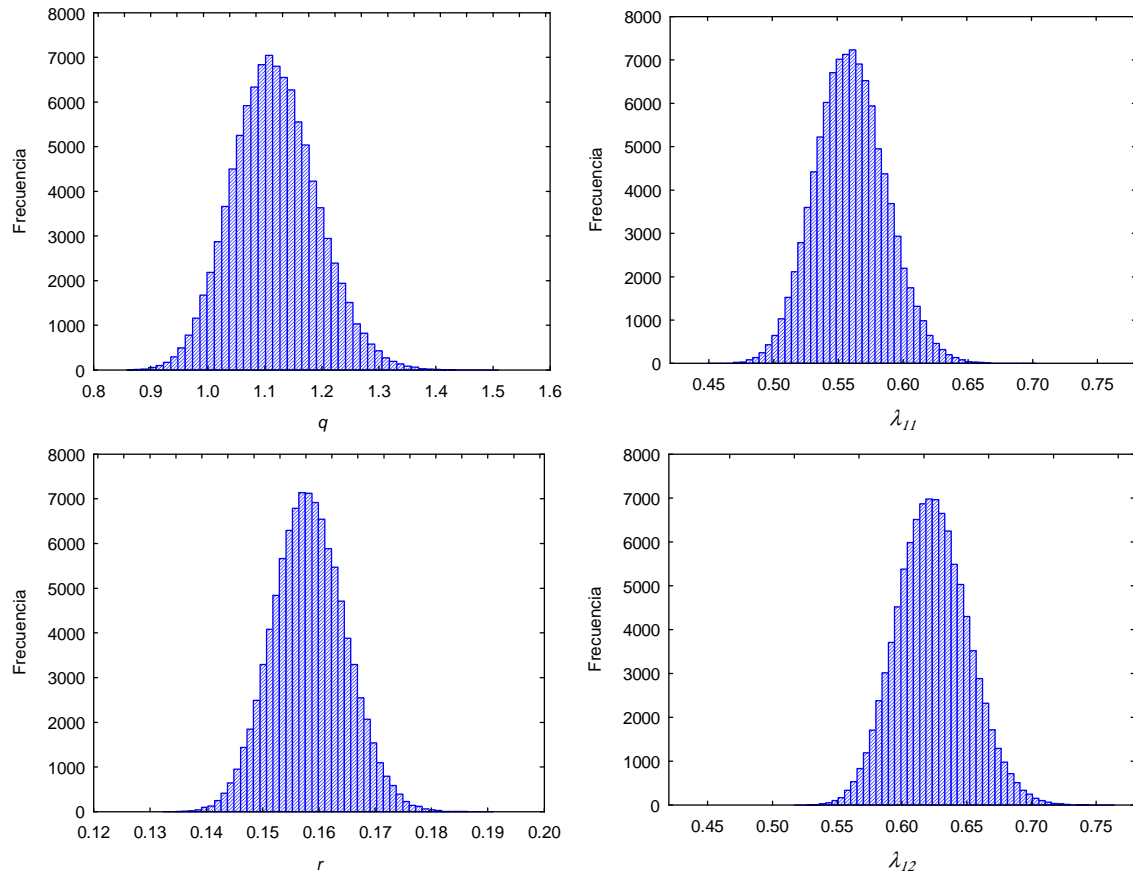


Figura 9. Distribuciones posteriores construidas con la cadena de 100,000 simulaciones MCMC para los parámetros q (arriba izquierda), λ_{11} (arriba derecha), r (abajo izquierda) y además el parámetro derivado λ_{12} (abajo derecha). El contorno de las distribuciones tiene una forma suave y se aprecian las colas de las distribuciones bien representadas, por lo que se infiere que la cadena MCMC es de un tamaño suficiente para representar a las distribuciones posteriores de los parámetros de interés.

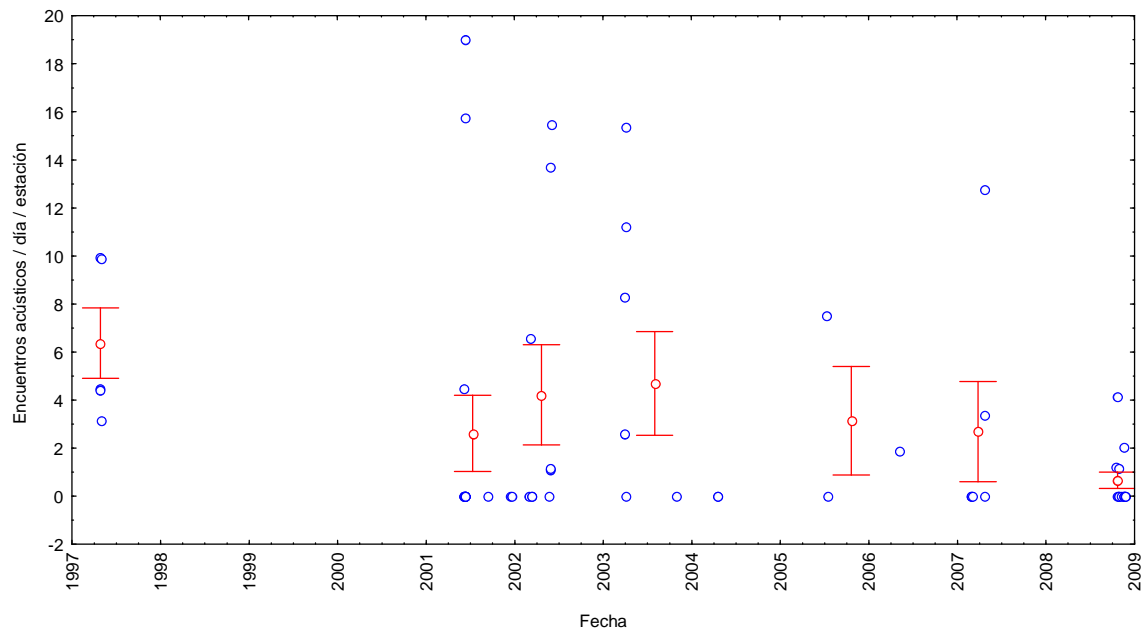


Figura 10. Dispersión de los datos de encuentro acústico de 1997 a 2008. Cada círculo azul representa un muestreo independiente. El valor de la tasa resultó de convertir el número de encuentros obtenido originalmente a lo que se esperaba haber obtenido en un día de muestreo con una simple regla de tres. Los intervalos en rojo representan la tendencia central (círculos rojos) y dispersión (media \pm error estándar) para siete períodos de muestreo. Es apreciable que en 2008 se redujo la variabilidad considerablemente, dado que el muestreo fue más intenso que en cualquiera de los años anteriores.

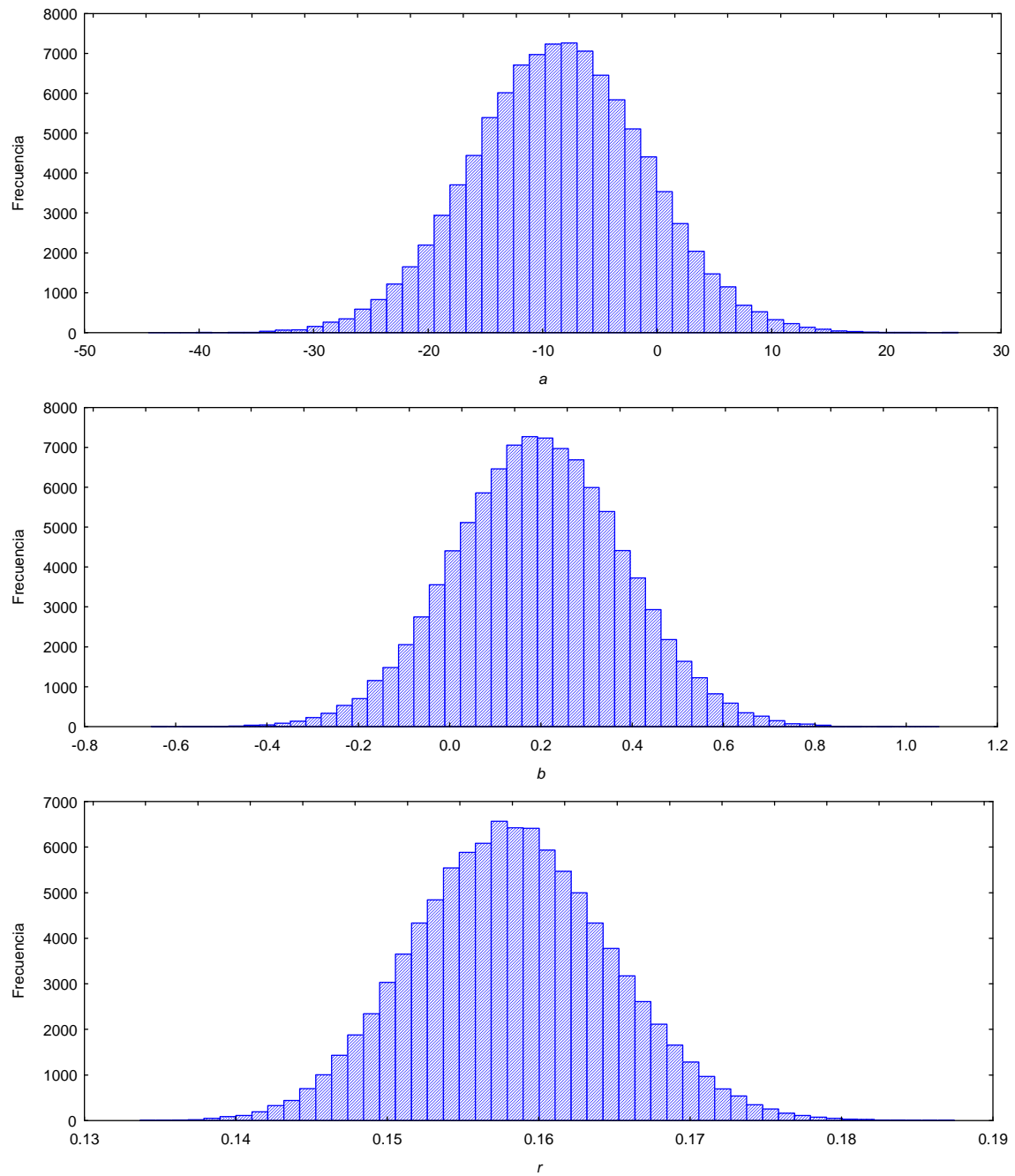


Figura 11. Distribuciones posteriores de los parámetros a (arriba), b (centro) y r (abajo) para el modelo logarítmico y el conjunto de datos 2011-2012.

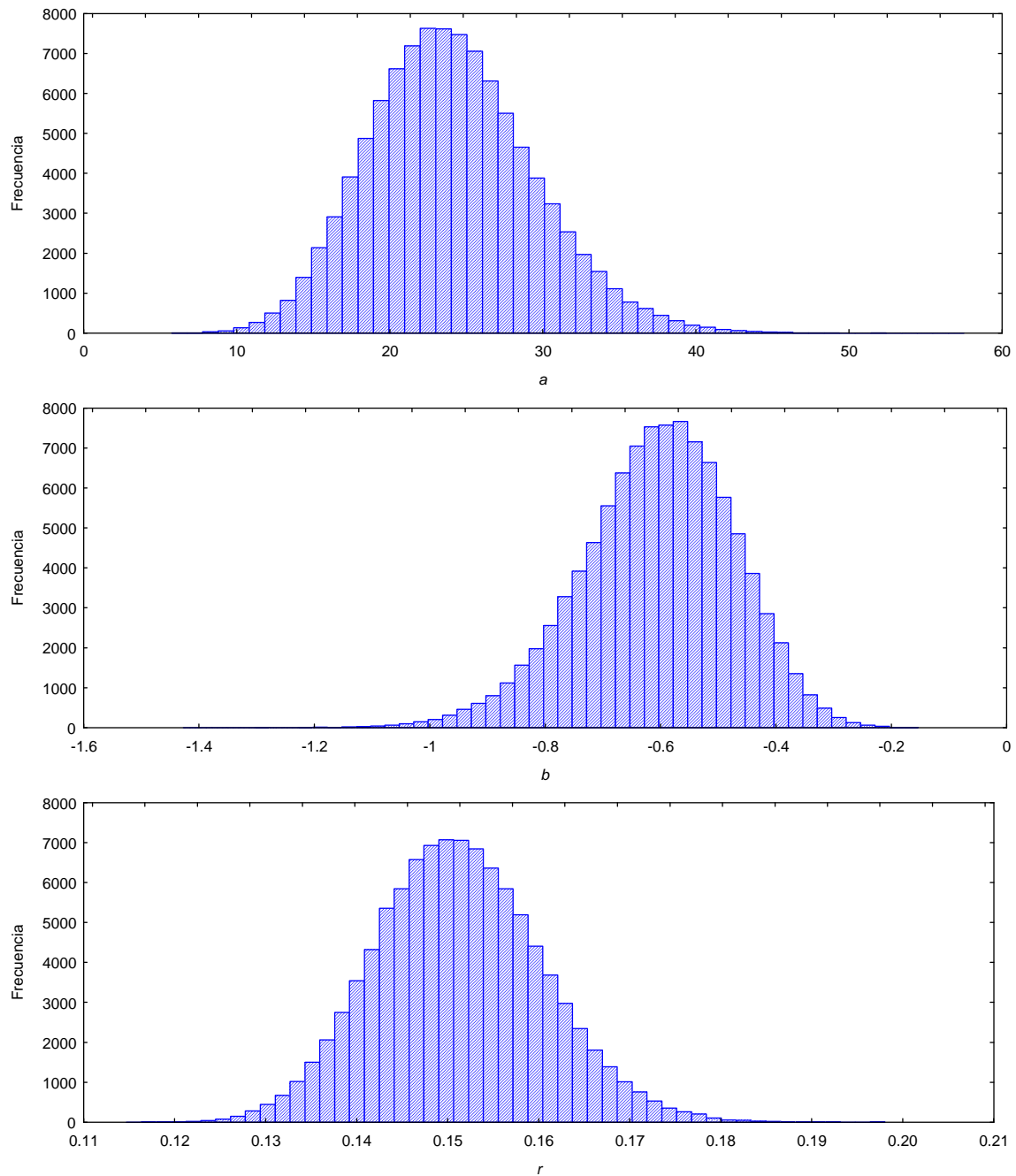


Figura 12. Distribuciones posteriores de los parámetros a (arriba), b (centro) y r (abajo) para el modelo logarítmico y el conjunto de datos 1997-2011.

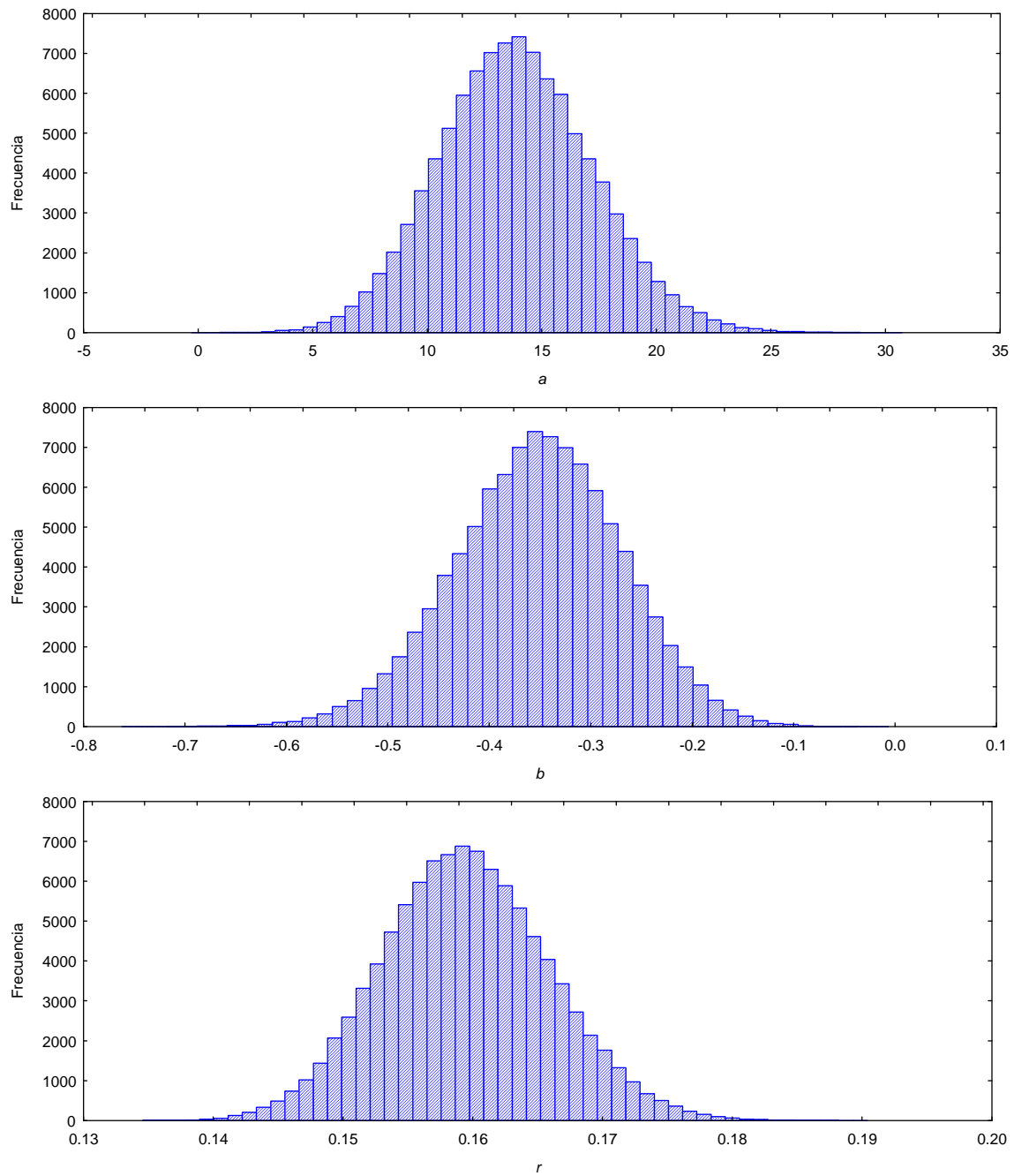


Figura 13. Distribuciones posteriores de los parámetros a (arriba), b (centro) y r (abajo) para el modelo logarítmico y el conjunto de datos 1997-2012.

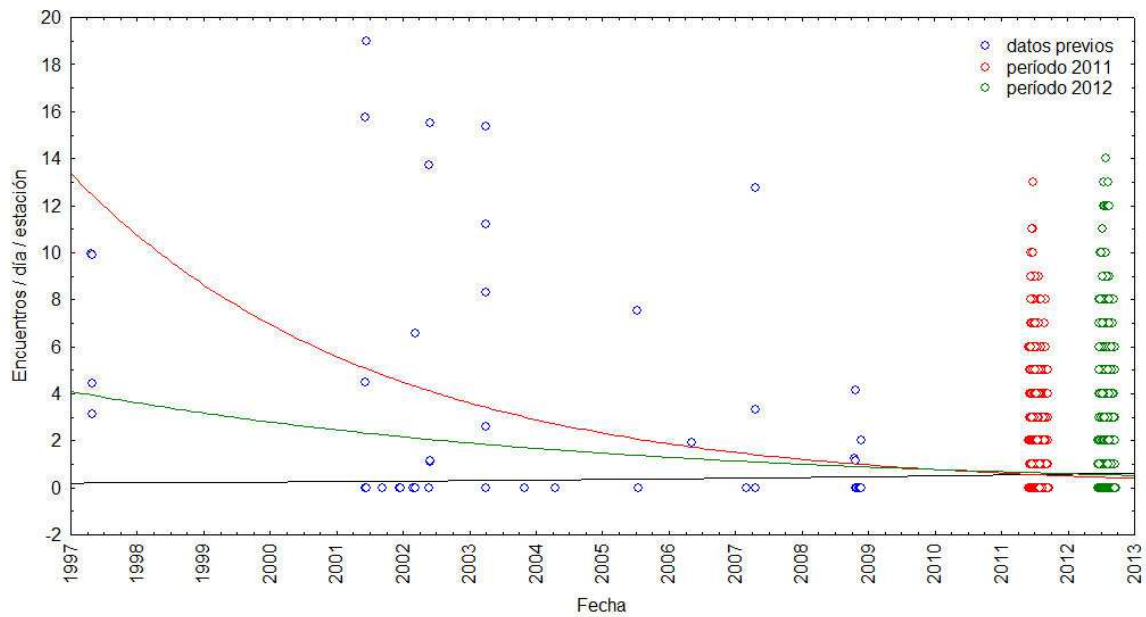


Figura 14. Dispersión de los datos de tasa de encuentro acústico generados entre 1997 y 2008 (círculos azules) considerados como previos, y los datos de este estudio generados en 2011 (círculos rojos) y 2012 (círculos verdes). Se muestran también las trayectorias del modelo logístico ajustado al juego de datos 2011-2012 sin tomar en cuenta información previa (línea negra), período 1997-2011 (línea roja) y período 1997-2012 (línea verde). Para el trazo de las trayectorias se utilizaron las medianas de los parámetros a y b del modelo logarítmico (Tabla III) estimadas del proceso de generación de 100,000 simulaciones MCMC.

Tabla I. Relación de los anclajes sumergidos y detectores acústicos lanzados durante la segunda campaña de muestreo del Esquema de Monitorización Acústica de la Vaquita

Fecha	Hora	Sitio	C-POD	Ancla tipo yate		Ancla tipo río	
				Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
19/06/2012	07:13	1	1331	31.07524	114.42812	31.07631	114.42751
19/06/2012	06:23	2	1346	30.97557	114.51475	30.97596	114.51403
19/06/2012	06:43	3	1319	31.01680	114.49796	31.01744	114.49758
19/06/2012	06:59	4	1344	31.05940	114.48103	31.06044	114.48017
19/06/2012	07:29	5	1345	31.10127	114.46246	31.10256	114.46152
19/06/2012	07:43	6	1341	31.14389	114.44701	31.14506	114.44660
19/06/2012	07:58	7	0996	31.18640	114.43011	31.18757	114.42926
19/06/2012	08:11	8	1312	31.22890	114.41307	31.23048	114.41253
19/06/2012	08:20	9	1311	31.29762	114.43207	31.29886	114.43050
19/06/2012	08:05	10	1513	31.25524	114.44902	31.25660	114.44785
19/06/2012	07:43	11	1509	31.21283	114.46600	31.21395	114.46453
19/06/2012	07:27	12	1342	31.17047	114.48289	31.17149	114.48132
19/06/2012	07:08	13	1337	31.12816	114.49999	31.12907	114.49864
19/06/2012	06:50	14	1332	31.08579	114.51687	31.08652	114.51538
19/06/2012	06:34	15	0992	31.04342	114.53385	31.04398	114.53228
19/06/2012	06:18	16	1308	31.00106	114.55082	31.00171	114.54928
20/06/2012	08:44	17	0991	30.95885	114.56770	30.95922	114.56601
20/06/2012	09:18	18	1004	31.02729	114.58698	31.02861	114.58607
20/06/2012	09:34	19	1003	31.06982	114.56996	31.07103	114.56909
20/06/2012	09:51	20	1511	31.11211	114.55304	31.11289	114.55252
20/06/2012	10:09	21	1301	31.15464	114.53611	31.15569	114.53517
20/06/2012	10:23	22	1498	31.15464	114.53611	31.15569	114.53517
20/06/2012	10:39	23	1338	31.23938	114.50215	31.23999	114.50217
20/06/2012	10:52	24	1006	31.28175	114.48504	31.28244	114.48394
17/06/2012	12:13	25	1009	31.32400	114.46804	31.32418	114.46645
17/06/2012	11:56	26	1506	31.35071	114.50387	31.35120	114.50313
17/06/2012	11:06	27	1501	31.26576	114.53798	31.26637	114.53676
17/06/2012	10:40	28	1315	31.22331	114.55488	31.22428	114.55372
17/06/2012	10:30	29	1339	31.18101	114.57183	31.18210	114.57083
17/06/2012	10:19	30	1349	31.13881	114.58870	31.14006	114.58786
17/06/2012	10:02	31	0990	31.09626	114.60576	31.09710	114.60522
17/06/2012	09:11	32	1307	31.05420	114.62259	31.05549	114.62151
17/06/2012	09:28	33	0995	31.03802	114.67569	31.03873	114.67535
17/06/2012	09:41	34	1507	31.08019	114.65857	31.08139	114.65773
17/06/2012	09:57	35	1350	31.12288	114.64192	31.12393	114.64106
17/06/2012	10:11	36	1316	31.16490	114.62463	31.16567	114.62342
17/06/2012	10:23	37	1504	31.20729	114.60776	31.20843	114.60701
17/06/2012	10:36	38	0994	31.24974	114.59075	31.25050	114.59021
17/06/2012	10:59	39	1505	31.29212	114.57382	31.29283	114.57347
17/06/2012	11:16	40	0997	31.27610	114.62660	31.27725	114.62572
18/06/2012	07:01	41	1320	31.23363	114.64354	31.23525	114.64252
18/06/2012	06:47	42	1335	31.19128	114.66051	31.19244	114.65960
18/06/2012	08:50	43	1333	31.14815	114.67555	31.14955	114.67479
18/06/2012	08:37	44	1302	31.10656	114.69454	31.10770	114.69329
18/06/2012	07:20	45	1314	31.21767	114.69652	31.21919	114.69520
18/06/2012	07:32	46	1309	31.26006	114.67951	31.26203	114.67852
18/06/2012	07:46	47	1347	31.30231	114.66250	31.30376	114.66164
18/06/2012	08:03	48	1343	31.28636	114.71543	31.28788	114.71466

Tabla II. Relación de los anclajes y detectores acústicos recuperados durante la segunda campaña de muestreo del Esquema de Monitorización Acústica de la Vaquita. Se muestra el número de sitio indicado en la Figura 2, la posición geográfica al centro del sitio (el muestreo pudo estar ligeramente alejado de este punto) la fecha inicial y final en que se obtuvieron días completos de muestreo (ver texto), el número total de días completos de muestreo, el número de encuentros acústicos identificados y la tasa de encuentro acústico promedio (encuentros / día / sitio).

Sitio	Longitud	Latitud	Fecha inicial	Fecha final	Días completos	Encuentros acústicos	Tasa de encuentro
1	-114.4280863	31.07543428	20/06/2012	17/09/2012	90	0	0.000
2	-114.5149396	30.97471776					
3	-114.4979611	31.01707632	20/06/2012	21/09/2012	94	33	0.351
4	-114.4809827	31.05943489	20/06/2012	19/09/2012	92	67	0.728
5	-114.4640043	31.10179346	20/06/2012	21/09/2012	94	0	0.000
6	-114.4470258	31.14415203	20/06/2012	01/09/2012	74	0	0.000
7	-114.4300474	31.18651060	20/06/2012	21/09/2012	94	21	0.223
8	-114.4130690	31.22886916	20/06/2012	21/08/2012	63	10	0.159
9	-114.4320086	31.29758692	20/06/2012	18/09/2012	91	77	0.846
10	-114.4489870	31.25522835	20/06/2012	18/09/2012	91	98	1.077
11	-114.4659654	31.21286978					
12	-114.4829439	31.17051121	17/06/2012	15/09/2012	91	1	0.011
13	-114.4999223	31.12815265	20/06/2012	28/08/2012	70	22	0.314
14	-114.5169007	31.08579408	20/06/2012	18/08/2012	60	416	6.933
15	-114.5338792	31.04343551					
16	-114.5508576	31.00107694	20/06/2012	15/09/2012	88	236	2.682
17	-114.5678360	30.95871837					
18	-114.5867756	31.02743613					
19	-114.5697972	31.06979470	21/06/2012	18/09/2012	90	72	0.800
20	-114.5528187	31.11215327	21/06/2012	07/09/2012	79	48	0.608
21	-114.5358403	31.15451183	21/06/2012	09/09/2012	81	5	0.062
22	-114.5188619	31.19687040	21/06/2012	18/09/2012	90	3	0.033
23	-114.5018834	31.23922897	21/06/2012	18/09/2012	90	2	0.022
24	-114.4849050	31.28158754	21/06/2012	12/09/2012	84	9	0.107
25	-114.4679266	31.32394610	18/06/2012	12/09/2012	87	10	0.115
26	-114.5038446	31.35030529	18/06/2012	16/08/2012	60	0	0.000
27	-114.5378014	31.26558816	18/06/2012	10/08/2012	54	0	0.000
28	-114.5547799	31.22322959	18/06/2012	31/08/2012	75	2	0.027
29	-114.5717583	31.18087102	18/06/2012	22/08/2012	66	19	0.288
30	-114.5887367	31.13851245	18/06/2012	12/08/2012	56	4	0.071
31	-114.6057152	31.09615388	18/06/2012	12/09/2012	87	59	0.678
32	-114.6226936	31.05379532	18/06/2012	11/09/2012	86	357	4.151
33	-114.6755901	31.03779593					
34	-114.6586116	31.08015450	18/06/2012	18/09/2012	93	206	2.215
35	-114.6416332	31.12251307	18/06/2012	19/09/2012	94	41	0.436
36	-114.6246548	31.16487164	18/06/2012	12/09/2012	87	9	0.103
37	-114.6076763	31.20723021	18/06/2012	18/09/2012	93	9	0.097
38	-114.5906979	31.24958877	18/06/2012	18/09/2012	93	2	0.022
39	-114.5737195	31.29194734	18/06/2012	11/08/2012	55	0	0.000
40	-114.6266159	31.27594796	18/06/2012	21/09/2012	96	1	0.010
41	-114.6435943	31.23358939					
42	-114.6605728	31.19123083	19/06/2012	28/08/2012	71	4	0.056
43	-114.6775512	31.14887226	19/06/2012	04/09/2012	78	164	2.103
44	-114.6945296	31.10651369	19/06/2012	20/09/2012	94	74	0.787
45	-114.6964908	31.21759001	19/06/2012	22/08/2012	65	0	0.000
46	-114.6795124	31.25994858	19/06/2012	27/08/2012	70	0	0.000
47	-114.6625339	31.30230715	19/06/2012	17/09/2012	91	1	0.011
48	-114.7154304	31.28630777	19/06/2012	17/09/2012	91	0	0.000

Tabla III. Estimadores puntuales y de dispersión de los parámetros del modelo logarítmico¹ obtenidos a partir de 100,000 simulaciones MCMC para tres juegos de datos: 2001-2012 (sin tomar en cuenta información previa); 1997-2011 (sin incluir 2012); y 1997-2012 (el juego de datos completo). Se incluye la estimación para el parámetro r (dispersión de la distribución binomial negativa) usado en el término de verosimilitud del método bayesiano de estimación.

Parámetro	Período	media	mediana	desviación estándar	error estándar	percentil 2.5	percentil 97.5
a	2011-2012	-8.5525	-8.5415	7.5751	0.023955	-23.4199	6.3188
	1997-2011	24.0561	23.7694	5.3806	0.017015	14.4112	35.4834
	1997-2012	13.8903	13.8092	3.3477	0.010586	7.5679	20.6683
b	2011-2012	0.1961	0.1958	0.1850	0.000585	-0.1670	0.5589
	1997-2011	-0.6048	-0.5977	0.1322	0.000418	-0.8855	-0.3679
	1997-2012	-0.3518	-0.3499	0.0818	0.000259	-0.5175	-0.1973
r	2011-2012	0.1583	0.1582	0.0065	0.000021	0.1459	0.1714
	1997-2011	0.1512	0.1510	0.0092	0.000029	0.1340	0.1701
	1997-2012	0.1595	0.1594	0.0065	0.000020	0.1472	0.1725

¹ el modelo logarítmico es: $y_t = e^{a+bt}$, donde y_t es la tasa de encuentro acústico al tiempo t .