

**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**

## TABLA DE CONTENIDOS

1. Resumen Ejecutivo .....	3
2. Programa de Trabajo .....	5
2.1. Actividades a desarrollar .....	6
2.1.a. Elaborar el Programa de Trabajo.....	6
2.1.b. Conformer y capacitar a los grupos de operaciones de campo y de análisis de datos de acuerdo a los lineamientos de los planes de operación .....	6
2.1.b.1. Taller de Capacitación de Operaciones de Campo .....	6
2.1.b.2. Taller de Capacitación de Análisis de Datos .....	7
2.1.c. Realizar las operaciones de campo y de análisis de información de acuerdo a los planes de operación. En el curso de las operaciones valorar y adaptar, en su caso, los planes para una operación adecuada .....	7
2.1.d. Con el acopio de información sobre detecciones acústicas de vaquita, realizar los análisis sobre valoración de esfuerzo de muestreo, requerimientos de manejo de datos y propuestas de modelos y métodos de ajuste para la estimación de la tendencia poblacional de la vaquita.....	8
3. Reporte de los talleres realizados para la capacitación del personal del grupo de operaciones de campo y del grupo de análisis de datos .....	10
3.1. Taller para la capacitación de personal de campo .....	10
3.1.a. Temario del Taller .....	10
3.1.b. Evaluación del Taller.....	11
3.1.b.1. Selección de personal .....	11
3.1.b.2. Sesión teórica.....	11
3.1.b.3. Sesión práctica.....	12
3.2. Taller para la capacitación de personal de análisis de datos.....	14
3.2.a. Temario del Taller .....	14
3.2.b. Evaluación del Taller.....	14
3.2.b.1. Selección del personal .....	14
3.2.b.2. Sesión teórica.....	15
3.2.b.3. Sesión práctica.....	15
4. Bitácora de operaciones de campo .....	16
4.1. Detectores acústicos instalados .....	16
4.2. Detectores acústicos recuperados y perdidos .....	16
5. Bitácora de operaciones de análisis de datos.....	17
6. Modificaciones requeridas a los planes de operación .....	18
6.1. Operaciones de campo.....	18
6.2. Análisis de datos .....	19
7. Análisis de la información acústica generada.....	20

7.1. Detecciones de vaquita y manejo de datos .....	20
7.2. Valoración de la muestra de detecciones obtenida .....	22
8. Revisión de modelos y procedimientos de ajuste para el estudio de tendencia .....	22
8.1. Modelos para la estimación de la tendencia poblacional .....	23
8.2. Métodos de ajuste de los parámetros de los modelos de tendencia.....	24
9. Literatura Citada .....	26

## 1. Resumen Ejecutivo

Se realizaron las labores necesarias para iniciar la monitorización acústica de la población de vaquita de acuerdo a la implementación y planes diseñados. Se realizaron un par de talleres para la preparación de los equipos de operaciones de campo y análisis de datos, los cuales incluyeron sesiones teóricas y prácticas. El personal quedó listo para iniciar operaciones. Los anclajes y detectores acústicos fueron preparados y lanzados en los sitios de muestreo en las fechas indicadas de acuerdo a los planes de operación. Una vez concluido el período de muestreo los anclajes y detectores fueron recuperados para obtener los datos almacenados. En total se lanzaron 64 detectores, 48 en sitios de muestreo sumergidos y 16 en las boyas que delimitan al Refugio de Protección para la Vaquita. Tres de las boyas se perdieron y un detector no pudo ser recuperado en otra. Treinta y ocho de los anclajes sumergidos fueron localizados y recuperados. Dos anclajes no fueron buscados pues los detectores fueron entregados por pescadores. Ocho de los anclajes no pudieron ser localizados después de varias horas de búsqueda en tres jornadas. La tasa de pérdida estuvo en el límite de lo anticipado. Los datos de dos detectores se perdieron, por lo que se obtuvieron datos de 49. Esto representa un esfuerzo total de 4,325 días en los que se identificaron 2,126 encuentros acústicos. La tasa de encuentro acústico global fue de 0.54 encuentros por día y el coeficiente de variación fue de 0.039, muy cerca de lo esperado. Esto indica el éxito de la campaña de muestreo. La tasa de encuentro no fue homogénea a lo largo y ancho de la zona de estudio. Bajo una visión estratificada, la mayor actividad acústica se da en las zonas oeste y suroeste del Refugio. La muestra se considera adecuada para integrar una serie de tiempo que sea analizada con una regresión no lineal con modelos para el error basados en distribuciones de probabilidad discretas, al ser los datos básicamente conteos. Se propone el uso de metodología bayesianas para ajustar los parámetros de los modelos seleccionados, dada su capacidad para incluir información previa y permitir el contraste de las hipótesis sobre la tendencia de la población de forma intuitiva.

## Executive Summary

It was carried out the tasks necessary to start operations of the acoustic monitoring scheme of the population of vaquita, according to the implementation and plans designed. There were a couple of workshops for the preparation of field operations and data analysis teams, which included theoretical and practical sessions. The staff was ready to begin operations. The moorings and acoustic detectors were prepared and deployed in the sampling sites on the dates indicated in accordance with the plans of operation. Once completed the sampling period the moorings and detectors were retrieved to download data stored in cards. In total were launched 64 detectors, 48 in submerged sampling sites and 16 in the buoys that delimit the Refuge for the Protection of the Vaquita. Three of the buoys were lost, and a detector could not be recovered in another. Thirty-eight of the submerged moorings were located and retrieved. No effort was made to locate two of the moorings, as detectors were delivered by fishermen. Eight of the moorings were not located after several hours of searching in three days. The rate of loss was at the limit of the expected. Data from two detectors were lost, so data were gathered from a total of 49. This represents a total effort of 4,325 days which gather 2,126 acoustic encounters of vaquitas. The global acoustic detection rate was 0.54 encounters per day and the coefficient of variation was 0.039, very close to what was expected. This indicates the success of the sampling survey. The rate of encounter was not homogeneous across the length and breadth of the study area. Under a stratified vision, the highest acoustic activity is given in the west and southwest of the Refuge. The sample obtained is considered to be adequate to integrate a series of time which may be analyzed with non-linear regression models with error based on discrete probability distributions, as data is basically counts. We propose the use of Bayesian methods for fitting parameters of the selected models, because of its ability to include prior information and allow the contrast of the hypotheses on the population trend intuitively.

## 2. Programa de Trabajo

En concordancia con los Términos de Referencia, en los que se basa la ejecución de este estudio, se informa sobre los pasos iniciales para poner en operación el “Esquema de Monitorización Acústica para la Vaquita”. Dichos pasos comprendieron la instalación de los detectores acústicos tanto en las boyas de marcaje del Refugio de Protección para la Vaquita, como en anclajes sumergidos dentro de este polígono (Figura 1). También se conformaron los grupos de trabajo de operaciones de campo y análisis de datos y se realizaron pequeños talleres de capacitación. El Taller de Operaciones de Campo incluyó una jornada introductoria y explicativa, y una jornada en mar para la práctica de las operaciones de lance y recuperación de anclajes y detectores acústicos.

De acuerdo a los resultados y 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* (Ensenada, B.C., 4 al 7 de abril de 2011)<sup>1</sup>, en adelante mencionado como el Reporte Guía, 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. Debido a malas condiciones climáticas, los detectores fueron instalados en junio (Tabla I). En las mismas fechas se instalaron detectores en las boyas de marcaje del Refugio, y se intentará continuar el muestreo sólo en estos sitios pasado el mes de septiembre, esto también en concordancia con los resultados del Reporte Guía.

Este Programa de Trabajo describe la planeación de las acciones y actividades requeridas para cumplir con los objetivos del estudio, que se enfocan en la obtención del primer juego de datos para la estimación de la tendencia poblacional, así como en el ensayo de las herramientas estadísticas y numéricas que se utilizarán. Adicionalmente, las experiencias adquiridas durante las labores de campo y análisis de datos permitirán mejorar los planes de operación de estas actividades. Por análisis de datos se debe entender como la fase en la que los datos en bruto, obtenidos en los detectores acústicos, son manipulados para identificar señales certeras de vaquitas. La estimación de la tendencia poblacional forma parte de un proceso más avanzado, en el que se requiere manejar las señales identificadas de vaquitas con herramientas matemáticas una vez que se acumule la información. Se estima, según 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*”<sup>2</sup> que se requerirá de acumular cinco años de datos para tener una estimación robusta. Este estudio sólo cubre el inicio de operaciones y la colecta del

---

<sup>1</sup> Documento en inglés disponible con Lorenzo Rojas Bracho, lrojas@cicse.mx

<sup>2</sup> 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 (disponible en español con Lorenzo Rojas Bracho, lrojas@prodigy.net.mx).

primer juego de datos de referencia. Se requerirá de otros cinco periodos de muestreo para concluir la estimación.

## **2.1. Actividades a desarrollar**

### **2.1.a. Elaborar el Programa de Trabajo**

Este Programa se elaboró tomando como eje las actividades a desarrollar que se describen en el apartado V de los Términos de Referencia. Para cada actividad se describen los métodos propuestos, factibles de ser aplicados con base en los objetivos específicos y los resultados esperados, ajustándose a los tiempos destinados para cumplir con el estudio, de acuerdo al apartado X de los Términos de Referencia, que contiene el Cronograma de Actividades.

El sitio base de operaciones de campo será el poblado de San Felipe (Figura 1), dado que es el asentamiento más cercano a la zona de estudio y que cuenta con todos los servicios necesarios. El centro de acopio de datos y análisis será el Puerto de Ensenada, localizada a sólo 250 Km de San Felipe y que cuenta con una infraestructura científica de alta calidad.

### **2.1.b. Conformar y capacitar a los grupos de operaciones de campo y de análisis de datos de acuerdo a los lineamientos de los planes de operación**

El primer paso para cumplir con esta actividad, ligada a los objetivos específicos 1, 2 y 3, será la de identificar al personal idóneo para cumplir con las tareas. El personal de campo debe estar conformado por personas con experiencia en maniobras en el mar, de tal forma que el perfil de pescador ribereño es el ideal. San Felipe es una importante comunidad pesquera, por lo que se tratará de ubicar personal de esa localidad, con la ayuda de la Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California. En el caso del personal de análisis, se buscará un perfil de estudiante o profesional en el área de ciencias biológicas u oceanográficas. Ensenada cuenta con instituciones de educación superior con estos perfiles, por lo que ahí se buscará al personal. Esto además por el hecho de que en esta ciudad se almacenará la información acústica obtenida y es la sede en donde se realizarán todos los análisis.

#### **2.1.b.1. Taller de Capacitación de Operaciones de Campo**

Dado que se contará con tiempo limitado para recuperar los equipos acústicos antes del inicio de la temporada camaronera, el equipo de operaciones de campo estará conformado por tres embarcaciones (tipo panga) que trabajarán en conjunto para reducir el tiempo de recuperación. Cada embarcación contará con el tripulante a cargo del manejo del bote y dos marineros.

Una vez que se seleccione al personal, a través de la recomendación de la Reserva de la Biósfera y de entrevista, se organizará el taller de entrenamiento en San Felipe. El taller no tendrá propiamente un enfoque de enseñanza, pues el personal tendrá vasta experiencia en operaciones de navegación y anclaje, sino

que se hará una breve introducción del esquema de monitorización acústica de la vaquita que guíe las actividades a realizar. Se hará énfasis en las posiciones en que se hallan los anclajes que deben ser localizados y recuperados y la forma en que los equipos acústicos deben ser cuidados y resguardados para evitar daños o pérdidas de información.

El taller constará de una charla introductoria, en la que se mostrará el mapa del esquema de monitorización, la forma en que están dispuestos los anclajes y detectores, la forma de localizar las posiciones en GPS, y los equipos para realizar la recuperación. Otra sesión se hará en mar, mostrando de forma práctica la localización y recuperación de anclajes y el cuidado a los detectores. Se harán ensayos con anclajes y detectores de entrenamiento y, finalmente, se evaluará con ensayos de recuperación de anclajes y detectores funcionales del esquema formal de monitorización.

### **2.1.b.2. Taller de Capacitación de Análisis de Datos**

Se realizará una convocatoria dirigida a estudiantes o profesionales que cumplan con el perfil requerido. La convocatoria no será extensiva, sino dirigida a los centros de educación o investigación en donde estudie o labore personal de tal perfil. La selección del personal se hará con base en los resultados de entrevistas y disponibilidad de tiempo. Se seleccionará a tres personas para integrar al equipo. Se intentará que toda la información sea analizada por triplicado para revisar y asegurar la consistencia del proceso.

El taller iniciará con una introducción a la bioacústica de odontocetos y las particularidades de las señales acústicas de marsopas y la vaquita. El grueso del taller estará dirigido al entrenamiento en el uso del programa utilizado para el análisis de datos y a la forma en que se debe registrar los resultados obtenidos. El desarrollo del taller será dinámico, de forma que cada participante en todo momento estará usando el paquete de análisis en un computador personal. Al final de la sesión a cada participante se le entregará un archivo de calibración y evaluación, el cual deberán analizar por separado, de forma independiente, por cada participante. Este archivo contiene señales de todo tipo ya identificadas. Los resultados del análisis de este archivo permitirán evaluar al personal y decidir sobre su contratación. Por otro lado, permitirá hacer énfasis en condiciones problemáticas del análisis y, por último, permitirá reconocer inconsistencias entre analistas que deban ser corregidas para asegurar la homogeneidad.

### **2.1.c. Realizar las operaciones de campo y de análisis de información de acuerdo a los planes de operación. En el curso de las operaciones valorar y adaptar, en su caso, los planes para una operación adecuada**

En conjunto con el equipo de operaciones de campo, se organizará el itinerario de recuperación de anclajes. Los primeros anclajes en ser trabajados serán aquellos



más lejanos del centro de operaciones en San Felipe y los que hayan sido lanzados más tempranamente, de manera que se complete el ciclo de muestreo requerido.

Cada día se avituallará a las embarcaciones que saldrán a la jornada de trabajo, tratando de recuperar el mayor número posible de anclajes, 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. 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 de proyecto de monitorización.

Una vez que se haya concluido con la recuperación de los anclajes, se tendrá una reunión con el equipo 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.

El coordinador obtendrá los archivos filtrados para análisis y le entregará una copia a cada analista. Estos realizarán los análisis independientes y le reportarán al coordinador, el cual conjuntará la información en una base de datos única para revisar la consistencia del análisis y obtener una base unificada y depurada. Esta base de datos será la información central para el resto del trabajo científico.

Los tiempos efectivos de análisis, así como los resultados de consistencia en la información reportada por los analistas, serán la base para decidir si el plan continúa incluyendo el análisis triplicado o si es factible aplicar un esquema más laxo, en el que sólo se duplique o, incluso, cada analista sea responsable de partes de los datos generados sin replicación.

**2.1.d. Con el acopio de información sobre detecciones acústicas de vaquita, realizar los análisis sobre valoración de esfuerzo de muestreo, requerimientos de manejo de datos y propuestas de modelos y métodos de ajuste para la estimación de la tendencia poblacional de la vaquita**

La unidad de muestreo será un día completo de esfuerzo en cada sitio de muestreo (Figura 1). De tal forma, el esfuerzo total aplicado será el resultado de sumar los días de muestreo en todos los sitios. El parámetro a utilizar es la tasa de encuentro acústico, que se define como el cociente del número de detecciones por día, es decir, se calcula con el número total de detecciones divididas entre el total de días de muestreo:

$$TEAP = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^k (da_{ij})}{k}}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde  $n$  es el número de estaciones de muestreo,  $k$  es el número de días completos de muestreo en cada estación y  $da$  es el número de detecciones acústicas en cada día de muestreo  $j$  de cada estación  $i$ . Este es el valor promedio global de la tasa de detección.

La valoración del esfuerzo de muestreo se realizará calculando el coeficiente de variación del error estándar de este promedio como:

$$EE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (TEA_i - TEAP)^2}}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

$$CV = \frac{EE}{TEAP} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde  $TEA_i$  es el promedio de la tasa de encuentro acústico en la estación  $i$ . Un CV cercano a 0.03 indicará que el esfuerzo de muestreo es suficiente para detectar la tendencia de la población, 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*” (ver la segunda cita en el pie de la página 2).

Se hará una exploración de la homogeneidad espacial y temporal de la información obtenida, con el fin de verificar su influencia en la varianza y la potencial necesidad de manipular los datos con estratificación, si es que las evidencias son fuertes en favor de una distribución diferencial de la actividad acústica de la vaquita.

La tendencia de la población se debe describir con una función que relacione el tiempo con la tasa de encuentro acústico. Los modelos basados en regresión lucen como los adecuados. Dado que el dominio de la tasa de encuentro acústico se haya en los reales positivos, las funciones logarítmicas pueden ser las más adecuadas. Utilizando el marco teórico de los modelos lineales generalizados, o de los modelos aditivos generalizados, se podrá encontrar un modelo que ajuste de forma robusta a los datos que se generarán, incluso si se evidencian covariables que contribuyan a la dependencia. Bajo este marco, una función de probabilidad para la tasa de encuentro acústico se enlaza con la función matemática que describe la naturaleza de la relación.

Las herramientas matemáticas para ajustar los parámetros de los modelos seleccionados pueden ser las técnicas de máxima verosimilitud o la inferencia bayesiana. La última brinda la ventaja de poder contrastar varias hipótesis a la vez, además de estimar el valor de los parámetros dados los datos disponibles.

Con la información que se obtendrá durante el inicio de operaciones del esquema, se tendrá una idea más clara del tipo de modelos y métodos susceptibles de ser

utilizados, aunque será necesario esperar a que los datos se acumulen en el futuro para llegar a seleccionar el modelo más robusto posible.

En este estudio se intenta, más bien, hacer una revisión de los métodos y modelos disponibles para ser aplicados.

### **3. Reporte de los talleres realizados para la capacitación del personal del grupo de operaciones de campo y del grupo de análisis de datos**

#### **3.1. Taller para la capacitación de personal de campo**

##### **3.1.a. Temario del Taller**

###### *Sesión teórica*

- a) Introducción al esquema de monitorización acústica de la vaquita
- b) Mapa de distribución de los anclajes
- c) Estructura de los anclajes
- d) Procedimientos para el lance y recuperación de anclajes
  - a. Procedimiento para despegar anclas
  - b. Procedimiento para llevar anclas
- e) Uso básico del GPS
  - a. Procedimiento para la navegación hacia anclajes
  - b. Procedimiento para navegar en busca de anclajes
- f) Manejo seguro de los detectores acústicos
- g) Desensamble, limpieza y almacenamiento de anclajes
- h) Seguridad en el mar

###### *Sesión práctica*

- a) Lance de anclaje de ensayo
  - a. Marcaje en GPS de los sitios de lance
  - b. Revisión del lance
- b) Recuperación del anclaje de ensayo
  - a. Navegación a un punto en el GPS
  - b. Técnicas de búsqueda de anclajes con marcas de GPS
  - c. Despegue de anclas
  - d. Llevar anclas con la ayuda de anillo y boya
- c) Ensayo de ubicación y recuperación de un anclaje formal
- d) Procedimiento de manejo y resguardo de detectores acústicos
- e) Ensayo de desensamble, limpieza y almacenaje de anclajes
- f) Prioridades de navegación y seguridad

### **3.1.b. Evaluación del Taller**

#### **3.1.b.1. Selección de personal**

Personal de la Reserva de la Biósfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (RBAGC), brindó su apoyo para recomendar a pescadores ribereños con el perfil adecuado para formar parte del equipo de operaciones de campo. Esta recomendación se basó en pasadas experiencias en que estos pescadores han apoyado a diferentes proyectos de investigación en la región, así como en su actuar responsable en la actividad pesquera.

La RBAGC ayudó en la organización de una reunión inicial a la que acudieron varios de los pescadores recomendados, a los cuales se les explicó lo básico del esquema de monitorización, los requerimientos de trabajo y tiempo, así como los montos que recibirían en caso de adherirse al equipo. Del grupo que aceptó las condiciones explicadas se eligió al equipo después de realizar entrevistas personalizadas.

Un parámetro que fue importante en la selección fue reconocer el hecho de que los aspirantes se presentaron en grupos naturales de trabajo, es decir, aquellos que pescan juntos en la misma embarcación. Se decidió que lo mejor era seleccionar grupos más que personas, dado que así ya no se requeriría de encontrar afinidades y se aseguraría un trabajo en armonía.

Se seleccionaron dos grupos de pescadores para participar, los cuales cuentan con su propia embarcación que pusieron a la disposición para el trabajo. Un tercer grupo se conformó con personal de la RBAGC, con los cuales ya se ha tenido colaboración previa y que conocen los pormenores del esquema de monitorización. Este grupo también contó con una embarcación disponible y la RBAGC accedió a ceder parte de su tiempo en colaboración.

#### **3.1.b.2. Sesión teórica**

Esta sesión se llevó a cabo en instalaciones que la RBAGC amablemente facilitó en el poblado de San Felipe, centro de operaciones de campo. La sesión tuvo una duración de 4 horas, en la que se utilizaron herramientas de computó, materiales con los que se fabrican los anclajes y detectores acústicos reales para mostrar los detalles del esquema de monitorización y los procedimientos para el trabajo de campo.

En todo momento se permitió y, de hecho, se fomentó la participación del grupo a través de comentarios o preguntas. En varias ocasiones, incluso, aportaron experiencias previas y recomendaciones de operación y planeación, tomando en cuenta su conocimiento de la zona respecto a clima, tipos de fondo, distancias y capacidad de navegación.

Las recomendaciones y observaciones del grupo se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Recuperar primero los anclajes más alejados de San Felipe para facilitar las operaciones hacia el final del período de trabajo.
- Salir los más temprano posible en las mañanas para aprovechar los lapsos de mejores condiciones climáticas.
- Se nos indicó el requerimiento de llevar 150 litros de combustible por panga por día para trabajar de forma segura.
- Se plantearon alternativas para levantar los anclajes, en particular los dispositivos que ellos llaman “viagras”, que son usadas para llevar anclas usando el impulso de la embarcación para sustituir la fuerza humana.

Hacia el final de la sesión se tuvo una ronda de discusión, en la que se sintetizó la sesión y se planeó la sesión práctica del siguiente día.

Aunque no todos los pescadores participaron activamente en la discusión, los que lo hicieron se mostraron interesados y comprometidos con el trabajo. Aportaron su experiencia y, a pesar de su sabiduría en el mar, estuvieron abiertos a recibir alternativas. Esto quizá es el resultado de experiencias previas trabajando en otros proyectos de investigación en la región.

### **3.1.b.3. Sesión práctica**

Esta sesión tomó un día completo, de las siete de la mañana a las 7 de la noche, hora en que terminó la limpieza y almacenamiento de los anclajes recuperados.

Las pruebas de lance y recuperación del anclaje de ensayo se realizaron dentro de la Bahía de San Felipe, de acuerdo a los planes de operación respectivos. Cada prueba fue realizada por cada uno de los tres equipos. Para las pruebas se colocaron boyas atadas a cada una de las dos anclas para marcar su posición.

En primer término se ensayó el lance de anclajes. Todos de los equipos fueron muy eficientes en la tarea, al colocar las anclas en la disposición y con la tensión adecuada, sin embargo, uno de ellos no registró los puntos en el GPS. Se les pidió a los tres equipos que repitieran la prueba. En esta ocasión todos reportaron posiciones GPS, sin embargo el mismo equipo que no había reportado posiciones antes, en esta ocasión las reportó con imprecisiones. Se notó que el problema radicó en que el tripulante era el que estaba tomando la posición en vez de uno de los marineros. Al ensayar de nuevo con esta disposición el equipo logró hacerlo de forma eficiente.

Posteriormente se ensayó la navegación hacia el sitio del anclaje. Para ello se dejó el anclaje de ensayo en el agua y se movieron los botes hacia una zona alejada. Al anclaje se le retiraron las boyas de marcaje. Se les pidió a los equipos que navegaran de regreso al sitio con la ayuda del GPS. Fue notable el hecho de que todos los equipos tienen experiencia para realizar esta labor, pues forma parte de su rutina de pesca. En seguida se ensayó la maniobra de recobrar el cabo del anclaje por medio de las posiciones GPS de cada una de las anclas. Dos de los equipos fueron eficientes en la maniobra, ya que navegaron de forma

adecuada para que el gancho se asiera al cabo del anclaje. Uno de los equipos fue errático en la maniobra. Se identificó que el problema radicaba en que en este bote no se tenía una consola para posicionar el GPS y el motor fuera de borda es controlado con maneral. Además, el tipo de GPS utilizado, con pantalla pequeña, no permitió una buena observación. Cuando el ensayo se repitió con otro GPS de pantalla grande, y un marinero estuvo a cargo del GPS dando indicaciones al tripulante, el problema se corrigió.

A continuación se ensayó llevar las anclas con la ayuda de aro y boya. Después de varias prácticas, se acordó que el mejor procedimiento fue el siguiente:

1. Una vez enganchado el cabo del anclaje marcar el punto en el GPS (con fines de medición de deriva) y a continuación jalarlo con la potencia del motor hasta sentir que las anclas se desentierran y el cabo se destensa.
2. Subir el cabo al bote y maniobrar para recuperar el ancla tipo yate.
3. Colocar el aro con boya para recobrar a máquina el ancla tipo río junto con la línea del detector acústico.
4. Subir el anclaje al bote cuidando de colocarlo de forma que no se enrede.
5. Desenganchar el detector acústico y colocarlo en sitio seguro en disposición horizontal para que entre en estado de reposo.

La siguiente tarea fue navegar hacia sitios en los que se habían instalado anclajes dentro de la zona de monitorización. A cada equipo se le asignó uno de tres anclajes colocados en sitios distintos, hacia los cuales debían navegar para después localizar y recuperar. Los tiempos de localización fueron de 50, 28 y 12 minutos respectivamente. El primer tiempo estuvo en el promedio esperado. Los otros dos fueron muy rápidos, sin embargo esto depende del punto en el que se inició la búsqueda respecto de la posición real del anclaje y de la magnitud que haya derivado este respecto de su posición al momento del lance, más que de la habilidad del equipo de búsqueda. Todos los equipos estuvieron de acuerdo en que es necesario utilizar una longitud considerable de cabo para el gancho de búsqueda con el fin de que este arraste de forma eficiente el fondo.

Una vez recuperados los anclajes y los detectores almacenados de forma segura en los botes se regresó a puerto. Una vez ahí los anclajes fueron desensamblados destornillando los grilletes. Todo el material fue enjuagado con agua dulce a presión y se dejó secar. Las anclas y cadenas fueron almacenadas en compartimientos distintos. A recomendación de los pescadores, los cabos fueron dejados secar y posteriormente fueron arrastrados desde camionetas en suelo arenoso, con el fin de retirar de forma fácil flora y fauna acumulada, lo cual resultó ser una excelente recomendación. El cuerpo de los detectores acústicos fue limpiado con agua a presión para abrirlos y retirar las pilas y tarjetas de datos.

La tarea de recuperación se realizó de forma eficiente y armoniosa, a pesar de las altas temperaturas que imperaron en la zona. Al siguiente día, una vez que el

equipo reposó de la jornada anterior, se tuvo una última charla en la que se comentó sobre los trabajos y se confirmó que estaban dispuestos a participar en las maniobras de manera formal. Se hizo énfasis en que la seguridad es primero, incluso ante la necesidad de interrumpir el trabajo si las altas temperaturas pudieran causar insolaciones.

Después de esta práctica el equipo se reporta listo para las operaciones de recuperación de anclajes durante el mes de septiembre.

### **3.2. Taller para la capacitación de personal de análisis de datos**

#### **3.2.a. Temario del Taller**

##### *Sesión teórica*

- a) Introducción a la bioacústica de odontocetos
  - a. Particularidades de las señales de marsopas y vaquita
- b) Introducción al esquema de monitorización acústica de la vaquita
- c) Breve introducción al manejo digital de señales acústicas
- d) Introducción al programa de análisis de los datos acústicos
  - a. Apertura de archivos
  - b. Pantalla y teclas de control
  - c. Parámetros de identificación de señales de vaquita
  - d. Identificación de señales
- e) Procedimientos para el registro de señales de vaquita identificadas

##### *Sesión práctica*

- a) Copiado y respaldo de archivos
- b) Análisis asistido de archivo de prueba
- c) Análisis de archivo de calibración y evaluación
- d) Llenado y entrega de la base de datos

#### **3.2.b. Evaluación del Taller**

##### **3.2.b.1. Selección del personal**

Después de dar a conocer la convocatoria para conformar al equipo de análisis entre las instituciones de educación e investigación en Ensenada, se recibieron peticiones y recomendaciones de personal. Se organizó una reunión con todos los aspirantes en las instalaciones del esquema de monitorización en la misma localidad, para explicar las generalidades del proyecto y necesidades de perfil y tiempo disponible, así como los montos de contratación.

Dado que la mayoría de aspirantes eran estudiantes, no estuvieron en la posibilidad de continuar con el proceso de selección por incompatibilidad de



horarios y cargas de trabajo. A los aspirantes restantes se les hizo entrevista personal, con el fin principal de entender su experiencia y habilidad en el uso de paquetes de cómputo, su perfil particular y su disposición al trabajo y rigor de análisis, además de su disponibilidad de tiempo.

Con base en esta experiencia se seleccionaron tres personas, las cuales participaron en el taller de entrenamiento. El personal seleccionado mostró habilidades en el uso de hoja de cálculo, base de datos y cierto conocimiento previo paquetería para el manejo de señales acústicas de cetáceos, aunque no específicamente el paquete que se usará en este trabajo.

### **3.2.b.2. Sesión teórica**

La sesión teórica se completó en tres períodos con aproximadamente una hora de duración cada uno. En el primero se trataron los temas a y b del temario. En el segundo los incisos c y d, y en el último período lo concerniente al vaciado de la información en los medios de registro designados.

A lo largo de esta sesión se solicitó al personal no tomar apuntes y poner toda su atención y concentración a la presentación y explicaciones. En cambio, se atendió a todas las dudas y comentarios y se fomentó la discusión no redundante. En la sesión práctica tendrían la oportunidad de hacer todas las anotaciones necesarias con plenitud de tiempo disponible.

El personal se mostró muy interesado en el tema vaquita, demostrando incluso cierto conocimiento de la problemática respecto a la especie. Por otro lado, hubo cierta heterogeneidad respecto a conocimiento básico de bioacústica y manejo de señales digitales, aunque no muy significativa ni problemática. Para solventarlo se unificaron conceptos y terminología, con el fin de que el grupo se comunicara en un lenguaje unificado, dentro del argot que tradicionalmente se maneja entre los grupos de investigación del tema.

Afortunadamente hubo homogeneidad en el tipo de paquetes que los integrantes manejan para almacenar y sistematizar información, por lo que esta parte de la sesión fue facilitada. Sólo se requirió de informar respecto a los protocolos que se seguirán para el manejo de la información analizada.

### **3.2.b.3. Sesión práctica**

Esta sesión tomó cinco días para completarse. Durante el primer día se tuvo una sesión conjunta de aproximadamente cuatro horas de duración. Dos horas iniciales se dedicaron a tratar los protocolos de copiado y transferencias de archivos de acuerdo al plan de operación confeccionado en estudios anteriores, pero principalmente en conocer a fondo el despliegue de pantalla y los controles del programa de análisis. Las siguientes dos horas fueron utilizadas para mostrar los parámetros que caracterizan a los diferentes tipos de señales almacenadas y en como utilizarlos para identificar de forma certera señales de vaquitas. Cada participante tomó la sesión en su propia computadora y tuvo la



oportunidad de preguntar sobre cualquier duda y recibir la atención necesaria. La sesión se realizó con un archivo de prueba de tamaño moderado, susceptible de ser analizado en el tiempo de la sesión. Al final del día se indicó la forma en que se deben registrar los resultados del análisis en hoja de cálculo y base de datos.

La siguiente parte de la sesión práctica debía completarse por cada persona del equipo por separado en donde ellos quisieran realizarla. Para este ejercicio se les entregó un archivo de gran tamaño que debían analizar en el curso de tres días. Todos tuvieron el mismo archivo. Para evitar contacto entre ellos se atendieron todas sus dudas de forma personalizada durante estos tres días. Pasados estos días se tuvo una última sesión conjunta para revisar los resultados independientes. Aunque hubo discrepancias estas no fueron significativas, de manera que introdujeran sesgos serios al análisis.

Se tuvo una ronda en la que cada analista expuso los casos más difíciles con los que se toparon al identificar señales. Esto permitió uniformar más aún criterios para minimizar sesgos durante el análisis formal.

El equipo de análisis se reporta lista para iniciar operaciones una vez que se recuperen los detectores y las tarjetas de datos se hagan llegar a Ensenada.

#### **4. Bitácora de operaciones de campo**

##### **4.1. Detectores acústicos instalados**

Todos los anclajes y detectores fueron instalados en 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).

En todas las boyas que delimitan el Refugio de Protección se instalaron detectores acústicos en las mismas fechas en que se lanzaron los anclajes. Los anclajes utilizados para boyas fueron instalados con una sujeción firme, ya que los detectores trabajarán en estos sitios sin interrupciones durante la duración del esquema de monitorización. De tal forma, sólo se estarán intercambiando detectores en tiempos de la vida útil de las baterías y se sólo se harán inspecciones temporales de los anclajes para verificar su correcto funcionamiento. Se espera que los tiempos entre cambios de detectores sea de tres meses y verificar su presencia en cada boya al menos una vez por mes.

##### **4.2. Detectores acústicos recuperados y perdidos**

Las operaciones para localizar y recuperar los anclajes y equipos de detección acústica se dieron entre el 9 y el 30 de septiembre. Durante las dos primeras semanas se logró la ubicación y recuperación de 38 del total de anclajes sumergidos instalados (48). Los tiempos de localización variaron entre 15 a 90 minutos, con un promedio de 28 minutos.

Una vez ubicado el anclaje el tiempo de recuperación fue mejorado aplicando una modificación a la técnica antes implementada (ver sección 6.1).

De los 38 anclajes recuperados, uno no tenía el detector acústico instalado (sitio 32; Figura 2). La cuerda que se une a la cadena de la línea principal del anclaje estaba cortada, por lo que se infiere que una embarcación pudo haber cortado la cuerda quizá con algún objeto siendo arrastrado. Un par de detectores acústicos fueron entregados a personal de la Reserva de la Biósfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado (sitios 2 y 9; Figura 2). Por tal, no se realizó esfuerzo de búsqueda en estos sitios. El resto del tiempo se utilizó para intentar la localización de los restantes ocho anclajes (sitios 3, 8, 10, 17, 18, 33, 34, 45; Figura 2). En cada sitio se realizaron esfuerzos de búsqueda en tres ocasiones independientes, aplicando un esfuerzo de mínimo 1.5 horas y hasta un máximo de 3. Como último recurso de búsqueda, se aplicará un esfuerzo combinado de tres embarcaciones para cubrir una mayor zona a la vez. Esto se hará en cuanto las condiciones climáticas lo permitan.

Tres de las boyas de delimitación del Refugio de Protección para la Vaquita resultaron perdidas (boyas D, E y 4; Figura 2). Las razones se desconocen, pero la combinación de fuertes maras y vientos podrían haber sido los factores. En otra de las boyas no estaba el detector (Boya B; Figura 2). El peso que se usa para mantener la línea sumergida se desprendió, por lo que el detector debió haber flotado en la superficie y retirado por alguien que lo haya visto. En total, entonces, se perdieron cuatro de los detectores instalados.

Del total de 64 detectores instalados (48 en anclajes sumergidos y 16 en boyas) 51 fueron recuperados, lo que resulta en una pérdida de 20.3%. Esto es una tasa mucho mejor que la obtenida durante la prueba piloto de 60% (Rojas Bracho *et al.*, 2011) pero en el límite de lo anticipado de 20% (Rojas Bracho *et al.*, 2010). De cualquier forma, el haber instalado la red de detectores durante las fechas esperadas de menor intensidad pesquera, resultó en una estrategia adecuada para la colecta de la mayor cantidad de datos posibles.

## 5. Bitácora de operaciones de análisis de datos

Personal del equipo de análisis de datos acudió a San Felipe para recuperar las tarjetas de datos de los detectores acústicos recuperados. Los detectores recuperados se hallaban infestados de flora y fauna, por lo que fueron limpiados con espátulas y chorro de agua a presión (Figura 3). Después de secarlos perfectamente, la tapa fue desatornillada para retirar las tarjetas. Siguiendo las instrucciones de operación del fabricante, el botón fue presionado por aproximadamente cinco segundos para escribir el archivo de resumen. La tarjeta retirada fue inmediatamente leída en una computadora portátil para bajar los archivos creados. El primer detector procesado fue el instalado en el sitio 12 y se constató que no contenía datos. Lo mismo ocurrió con el instalado en el sitio 24.

Esto determinó que el equipo detuviera el proceso hasta evaluar lo que estaba sucediendo. Se notó que la luz indicadora no estaba iluminando en el patrón esperado (un pequeño destello cada 2.5 segundos). En cambio, se hallaba en estado aparente de

inicio (uno o dos destellos fuertes por segundo), durante el cual al presionar el botón se inicializa la tarjeta y se borra cualquier información contenida. Se consultó directamente al fabricante, que indicó que en estos casos las tarjetas fueran retiradas sin presionar el botón. Esto causa que no se escriba el archivo de resumen, pero los datos quedan intactos. De tal forma, en subsecuentes procedimientos, cuando el patrón de iluminación estaba en modo inicialización las tarjetas fueron retiradas sin presionar el botón y, en todos los casos, los datos fueron recuperados. En total, entonces, se cuenta con los datos de 49 detectores.

Los archivos generados fueron analizados entre el 12 y 30 de septiembre. Para los primeros nueve detectores (sitios 2, 7, 9, 40, 41, 43, 46, 47 y 48), seleccionados al azar, se pidió a los analistas determinar el inicio y final de cada encuentro acústico con base en la identificación de pequeñas señales asociadas a las identificadas por el programa (Figura 4). Esto se hizo con el fin de evaluar diferentes métricas de análisis (ver sección 7.1). Los archivos de los restantes detectores se analizaron sólo identificando señales tipo vaquita y borrando señales identificadas como vaquitas pero no con las características que lo confirmaran. Al final de analizar cada archivo, los analistas generaron el archivo de resultados (fecha y tiempo de cada minuto con actividad acústica confirmada de vaquitas) el cual fue entregado al coordinador del estudio. Por último, los analistas determinaron el tiempo efectivo de muestreo de cada archivo analizado, buscando el momento preciso en que el detector fue echado al agua y quedó en posición vertical de manera continua (Figura 5). Durante el manejo de los detectores previo a su lance y posterior a su recuperación, pueden tomar por momentos esta posición por movimientos bruscos en la embarcación.

El tiempo promedio de análisis por archivo fue de aproximadamente 40 minutos. Sin embargo, hubo sitios en los que no hubo ninguna detección de vaquitas, los cuales sólo tomaron aproximadamente diez minutos. Otros, en cambio, en los que se logró detectar hasta más de 200 encuentros de vaquitas, tomaron hasta más de 90 minutos. En comparación, los primeros archivos analizados para los que se identificó inicio y final del encuentro, tomaron hasta 2,400 minutos efectivos de análisis cuando se identificaron aproximadamente 200 encuentros de vaquitas. Es decir, el análisis basado sólo en la identificación de señales toma hasta un mínimo de aproximadamente 5% del tiempo requerido para encontrar los tiempos iniciales y finales de cada encuentro, lo cual tiene importantes implicaciones (ver sección 7.1). Con el método sencillo, el tiempo de análisis de todos los detectores del esquema, para tres meses de muestreo, ocupa entre 15 días a un mes de trabajo.

## **6. Modificaciones requeridas a los planes de operación**

### **6.1. Operaciones de campo**

El esquema de parcelas especificado en el Plan de Operaciones de Campo fue diseñado para mantener un muestreo continuo a lo largo del año (Figura 6). Sin embargo, se aplicó para recuperar los anclajes con un equipo de tres embarcaciones. A cada embarcación se le pidió que recuperara los anclajes de una parcela por vez. Para lidiar con el mal tiempo, se cubrió primero las parcelas más alejadas de San Felipe. En un día

de trabajo, cada embarcación se dirigió al punto inicial de trabajo de su parcela asignada. El punto inicial se definió como el sitio más al norte en el que aún no se recuperara el anclaje. Esto se hizo así con el fin de que al final del día la embarcación se hallará más cercana a San Felipe, lo que es mejor en caso de mal tiempo.

Una vez que el equipo de una embarcación concluyó con su parcela otra le fue asignada, incluso durante un mismo día de trabajo si es que se contaba con tiempo suficiente para llegar hasta la posición de inicio. Dadas las características climáticas de la zona y época, fue necesario aprovechar al máximo el tiempo, pues se requería concluir las labores de recuperación previo al inicio de la temporada camaronera. Bajo este esquema eso se logró. La recuperación de detectores en boyas se dejó al último, pues no requiere de ubicar el anclaje como con los sumergidos. Sólo dos embarcaciones fueron necesarias para cubrir todas las boyas en dos días de trabajo. Una de las embarcaciones inició las labores en la Boya D, procediendo en el sentido inverso de las manecillas del reloj hasta la Boya 7. La otra embarcación inició en la Boya 3, procediendo en el sentido de las manecillas hasta la Boya G. Este equipo, después de la Boya E se dirigió a la 4 fuera del Refugio y posteriormente continuó con la 5.

## 6.2. Análisis de datos

Como se mencionó en la Bitácora de Análisis de Datos, para dos de los detectores se perdieron datos al presionar el botón del detector sin atender al patrón de iluminación del diodo indicador. Es necesario especificar en el Plan de Análisis la necesidad de checar el estado del diodo indicador para determinar la forma en que se retirará la tarjeta. Alternativamente, el plan podría considerar retirar siempre la tarjeta sin presionar el botón. De acuerdo al fabricante, este procedimiento no escribirá el resumen de datos (que no es necesario para el análisis) y dejará intactos los archivos generados.

Algo no especificado en el Plan de Análisis de Datos original es la forma de nombrar a los archivos obtenidos de las tarjetas de los equipos de detección. Se encontró que la forma adecuada es incluir en el nombre el número de sitio en el que trabajó el detector, la fecha en que se inicializó y el número de detector lanzado. El número de detector lo agrega al nombre automáticamente el programa. El analista debe ser cuidadoso de incluir en los espacios correspondientes el sitio de muestreo, incluyendo la palabra “Sitio” y el número correspondiente, así como la fecha y hora en que fue inicializado el detector. Esta información debió haber sido anotada en el papel almacenado en la tapa del detector, de acuerdo a los lineamientos de los planes de operaciones de campo.

Por último, es necesario remarcar que la búsqueda de señales acústicas tipo vaquita debe realizarse en el modo “Sp class” (Figura 4). Esta es la única forma en que se puede determinar que la señal en cuestión ha sido identificada como vaquita o no. Avanzar entre señales en otro modo puede resultar en determinaciones incorrectas. El procedimiento adecuado es buscar señales con el botón “show next screen” en el modo “Sp class”. Una vez encontrada una señal tipo vaquita se usan los otros modos disponibles para su identificación. Antes de continuar con la búsqueda de otras señales, una vez identificada la actual, volver al modo “Sp class” y seguir buscando. Además, es importante que el analista anote los falsos positivos, es decir, señales identificadas como

vaquitas (NBHF, Figura 4) pero que se confirma no lo son. Se debe anotar la fecha y hora en que aparece la señal y el número de series que se debieron borrar (en realidad quitarle el sello de identificación).

## 7. Análisis de la información acústica generada

### 7.1. Detecciones de vaquita y manejo de datos

Las emisiones acústicas de ecolocación de odontocetos, tal como las que emite la vaquita, se componen unitariamente de chasquidos, que son sonidos transeúntes de corta duración (aproximadamente 70  $\mu$ s). Sin embargo, los odontocetos no emiten chasquidos aislados, sino agrupados en series. Tanto los parámetros acústicos que definen a un chasquido, como el número y frecuencia de chasquidos en una serie, son variables entre especies (Au, 1993). La vaquita, al igual que las marsopas (Familia Phocoenidae) y los delfines del género *Cephalorhynchus*, emiten chasquidos de alta frecuencia y banda estrecha. Las series se componen de más de 5 chasquidos que forman generalmente combas regulares con tiempos entre chasquidos muy regulares (Jaramillo Legorreta, 2008; Silber, 1991).

El análisis de archivos inicia con la creación de un archivo tipo CP3 a partir del archivo original generado durante el muestreo tipo CP1. El archivo original CP1 contiene la información de todos los chasquidos almacenados en todas las frecuencias en que trabaja el detector. Mediante un análisis probabilístico, la rutina de identificación de series genera un archivo que sólo contiene los chasquidos que se definió pertenecen a una serie generada por una fuente sonora particular. Además, el programa les asigna una etiqueta que los define como series de marsopas, delfines o sonares (Figura 4). De esta forma el analista no requiere revisar completo el archivo CP1, sino sólo revisar el CP3 y usar como referencia el CP1 (Figura 4). La rutina consiste en revisar todas las detecciones en el archivo CP3 para confirmar que:

- a) las series identificadas como vaquitas lo sean,
- b) las series mal identificadas como vaquitas (falsos positivos) sean desclasificadas,
- c) las series con características de vaquitas mal clasificadas sean reasignadas.

Una vez terminada la revisión, el programa está preparado para reportar el número de minutos en que hubo actividad acústica de vaquitas en un archivo de texto, el cual puede ser importado fácilmente a otros programas.

Un encuentro acústico es definido como la actividad acústica producida por un grupo de individuos aislados en tiempo y espacio de otro grupo. El tiempo que la actividad acústica de un grupo se registre en un equipo de detección depende del tiempo en que ese grupo permaneció en el rango de influencia del detector. Este tiempo es muy variable, desde menos de un minuto hasta más de dos horas. Para el caso de la vaquita un encuentro acústico es definido como el periodo con emisiones separadas entre ellas por un máximo de 15 minutos (Jaramillo Legorreta, 2008; Rojas Bracho *et al.*, 2010).

Los encuentros acústicos así definidos guardan una relación directa con la abundancia de la población, pues identifican grupos de animales. En cambio, los minutos de

actividad acústica podrían incrementar geométrica y artificialmente la tendencia, sobre todo si la razón entre duración de los encuentros y el número de minutos con actividad es diferencialmente variable entre temporadas, zonas, años, etc. Para evaluar esta variabilidad, se le pidió a los analistas que determinaran el tiempo total de cada uno de los encuentros acústicos identificados en nueve de los sitios de muestreo seleccionados al azar (sitios 2, 7, 9, 40, 41, 43, 46, 47 y 48). Para ello requirieron de identificar la primera y última señales asociadas a actividad con vaquitas, de acuerdo a criterios acústicos robustos (Figura 4).

Entre todos los 9 sitios analizados se identificaron un total de 465 encuentros, con una duración promedio de 18.5 minutos (mínimo 0.4 min, máximo 108.8 min, CV 0.92). El valor máximo de 108.8 minutos podría sonar inverosímil, sin embargo, hasta ahora se sabe de tres encuentros visuales de vaquitas con duraciones superiores a una hora (Jaramillo Legorreta *et al.*, 2008). Uno de ellos, incluso, duró más de dos horas con registro video y fotográfico (Francisco Javier Valverde Esparza. CONANP-SEMARNAT. fjvals@hotmail.com). En la Figura 7 se aprecia la altísima variabilidad expresada de hecho en el muy alto CV de 0.92. Ciento veinticinco encuentros (26.8% del total), con duraciones entre 0.4 y 52.8 minutos, tienen un solo minuto de actividad acústica. Para el 73.2% restante de los encuentros, con duraciones entre 1.3 a 108.8 minutos, se encontraron 2 ó más minutos de actividad. El ajuste de una regresión simple predice que por cada minuto de actividad se obtienen 0.18 minutos de actividad. Es decir, durante el curso de un encuentro se tiende a encontrar pocos minutos de actividad acústica. Esto, más que reflejar poca actividad acústica de vaquitas, refleja que el algoritmo de detección usado por el programa de análisis tiende a detectar pocas de las series realmente generadas.

A pesar de todo esto, la real problemática de depender para la estimación de la tendencia poblacional en el parámetro de minutos con actividad es su alta variabilidad, lo que podría introducir sesgos en caso de que la relación encontrada entre duración de encuentros y minutos con actividad cambie espacial o temporalmente. Por otro lado, se debería entender el desempeño del algoritmo de detección utilizado por el programa de análisis bajo diferentes condiciones de ruido y emisiones acústicas. Si su desempeño es distinto, en términos del número de minutos detectados, bajo diferentes condiciones ambientales, y estas condiciones varían impredeciblemente, se podrían inducir sesgos sin control.

Una forma de solventar esto es identificar encuentros a partir de los minutos de actividad. Como se mencionó antes, un encuentro acústico de vaquita se aleja de otros encuentros por más de 15 minutos sin actividad acústica. Dado que una pequeña porción de minutos dentro de un encuentro son detectados, se podría establecer que dos minutos con actividad, separados por más de 30 minutos, podrían pertenecer a dos encuentros distintos. Bajo este parámetro se agruparon los minutos de actividad obtenidos en los archivos analizados, lo que resultó en la identificación de 467 encuentros, dos más que bajo el esquema de búsqueda del inicio y final de cada encuentro. Es decir, el sesgo es mínimo (menor a 1%) y, en cambio, el tiempo de análisis se podría reducir quizá hasta en un 95% para los archivos con alto contenido de señales tipo vaquita. De tal forma, el resto de los archivos acústicos se analizaron de esta forma.



En total se identificaron 2,126 encuentros de vaquitas en 4,325 días de esfuerzo efectivo. En promedio, la tasa de encuentro fue de 0.54 encuentros por día para toda la muestra. La distribución de encuentros no fue homogénea a lo largo y ancho de la zona de estudio. Para estudiar esta distribución se estratificó el Refugio de Protección, que incluye toda la zona de estudio, en seis estratos (Figura 8). En el estrato 1 la tasa de encuentro fue de 0.015 encuentros por día. Para los estratos 2 a 6 fue respectivamente de 0.167, 1.629, 0.364, 2.427 y 0.144 encuentros por día.

Esta distribución de la tasa de encuentro coincide con la distribución conocida de avistamientos (Figura 9; Rojas-Bracho, 2010), con una muy baja densidad en el estrato 1, densidades bajas en los estratos 2 y 6, un poco más alta en el estrato 4 y máximas en los estratos 3 y 5. Esto podría indicar que la máxima actividad de vaquita se da en estos últimos dos estratos.

## **7.2. Valoración de la muestra de detecciones obtenida**

El coeficiente de variación para la muestra completa, de acuerdo a la Ecuación 3, es de 0.039. Esto es, muy cercano al 3% requerido según el diseño del esquema de monitorización con una muestra un poco menor a la requerida de aproximadamente 5,000 días (Rojas-Bracho *et al.*, 2010). De tal forma, se puede decir que se cumple con las expectativas y que, de continuar con muestreos exitosos como este, se logrará determinar la tendencia de la población en el término estipulado de cinco años.

## **8. Revisión de modelos y procedimientos de ajuste para el estudio de tendencia**

El objetivo final del esquema de monitorización acústica implementado es inferir la tendencia poblacional de la población de vaquita. Se espera que ante una eliminación o reducción drástica del esfuerzo pesquero que las mata, la población inicie su recuperación expresada en un aumento de la abundancia.

Las metodologías para estimar directamente la abundancia de la vaquita (Barlow *et al.*, 1997; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999; Gerrodette *et al.*, 2011) son excesivamente caras e imprecisas para ser aplicadas en un estudio de tendencia a mediano o largo plazo (Jaramillo Legorreta, 2008). Los odontocetos, incluida la vaquita, emiten señales acústicas que pueden ser detectadas y almacenadas en equipos diseñados para ello (Chappell *et al.*, 1996; Gillespie y Chappell, 2002; Tregenza, 2006). Bajo el supuesto de proporcionalidad entre la abundancia y la tasa de detección acústica, se puede inferir la tendencia en la abundancia a través del estudio de la tendencia del parámetro acústico. En el caso de la vaquita se ha mostrado que hay una estrecha correlación entre ambas variables (Jaramillo Legorreta, 2008; Gerrodette *et al.*, 2011). Por ello, se justifica la utilización de técnicas acústicas, y de la tasa de encuentro acústicos, para estimar la tendencia poblacional.

Se debe enfatizar que el esquema de monitorización acústica no fue concebido para estimar la abundancia de la especie a través del tiempo, sino para detectar cambios en la tendencia poblacional (Rojas-Bracho *et al.*, 2010). En otras palabras, debe ser capaz de indicar si la población sigue decreciendo, si se halla en equilibrio (abundancia constante

en el tiempo), o si ha iniciado un incremento en la abundancia. En un modelo de regresión simple (Zar, 1984):

$$y = a + (b \cdot x)$$

donde  $x$  es una variable independiente,  $y$  es una variable que depende de  $x$ , y los parámetros  $a$  y  $b$ , determinan una relación lineal entre ambas variables. El parámetro  $a$ , conocido como la ordenada al origen, determina el valor de  $y$  cuando la variable  $x$  toma un valor de cero, mientras que el parámetro  $b$ , conocido como pendiente, determina la tasa de cambio de la variable  $y$  a incrementos unitarios de la variable  $x$ .

Claramente el parámetro  $b$  es adecuado para estimar la tendencia. Si la variable  $x$  es el tiempo y la variable  $y$  la tasa de encuentro acústico, valores positivos de la pendiente indicaría un crecimiento poblacional, pues se interpretaría que el incremento en la tasa se debe a que hay más animales, no a que el mismo número de animales produce más señales acústicas. Una pendiente negativa indicaría lo contrario y una pendiente de cero indicaría el equilibrio poblacional (igual cantidad de muertes y de nacimientos por unidad de tiempo). En este sentido, los modelos basados en la regresión son adecuados.

### 8.1. Modelos para la estimación de la tendencia poblacional

La selección de un modelo matemático para el estudio de cualquier fenómeno debe tomar en cuenta la relación funcional entre las variables y parámetros involucrados, el tipo de variables involucradas y los parámetros que definen al modelo.

En la ecuación de regresión lineal simple mostrada antes, la relación funcional entre la variable dependiente  $y$  y la independiente  $x$  es de tipo lineal. Es decir, geométricamente está definida por una recta. Los parámetros que definen esta relación, en este caso, son  $a$  y  $b$ . Como se explicó, el parámetro de interés sería  $b$ , la pendiente de la recta que definiría a la función. No necesariamente la relación funcional entre el tiempo y la tasa de encuentro es lineal. Se debe considerar que los individuos de reciente nacimiento no son capaces de usar la ecolocalización de igual forma que los adultos (Hendry, 2004), que puede haber diferencias entre individuos en la tasa de emisión de señales acústicas (Akamatsu *et al.*, 1994), entre otras, que pueden desviar la relación de la linealidad.

Por otro lado, para esta sencilla función la variable  $y$  puede tomar cualquier valor en el dominio de los números reales. Sin embargo, la tasa de encuentro acústico sólo puede tomar valores reales positivos. Más aún, en realidad la tasa de encuentro proviene de un conteo del número de encuentros por día. Es decir, la variable medida pertenece al dominio de los números enteros positivos. En este sentido el modelo de regresión lineal simple no es de utilidad, pues independientemente de la pendiente la variable dependiente en algún momento puede tomar valores negativos. Por supuesto se puede usar como una aproximación cuando, por ejemplo, se está seguro que la pendiente es siempre positiva conforme avanza el tiempo, pero evidentemente no es lo más adecuado.

Dado lo anterior, un modelo logarítmico, compensado por tiempo, así como una distribución discreta para el error es una combinación adecuada para el tipo de información que genera el esquema de monitorización. Dos distribuciones, Poisson y



Binomial Negativa (El-Sayyad, 1973; White y Bennetts, 1996) son adecuadas para conteos. Además, se pueden probar distribuciones infladas por ceros para incluir, en el error, la probabilidad incrementada de conteos nulos (Ridout *et al.*, 2001). En este caso la ausencia de encuentros se puede deber a que las vaquitas no emitieron sonidos del todo, los emitieron de manera que no fueron bien identificados, o simplemente no hubo vaquitas durante el tiempo de muestreo. Si en la muestra obtenida se determina que hay un número significativo de ceros se puede justificar el uso de una distribución inflada. El modelo propuesto es:

$$\# \text{ de encuentros} = e^{(\ln[\text{esfuerzo}] + \alpha + \beta \cdot \text{tiempo})}$$

Donde el *# de encuentros* es la suma de todos los encuentros obtenidos en todos los sitios de muestreo, el esfuerzo es el número de días efectivos de muestreo (la suma de días de muestreo en todos los sitios del esquema de monitorización), tiempo es la fecha en la que se inició el esfuerzo en cada campaña de muestreo (se puede expresar como un número consecutivo). Los parámetros a estimar son la ordenada al origen ( $\alpha$ ) y la pendiente ( $\beta$ ), esta última el parámetro de interés para estudiar la tendencia.

En una distribución de Poisson se tiene un sólo parámetro, que define la media y la desviación estándar. Tal como en una regresión con error normal, este único parámetro es un estimador del parámetro de interés (en este caso *# de encuentros*) para cada valor de la variable independiente (en este caso tiempo). En el caso de la distribución binomial negativa se tienen dos parámetros. Uno, como en el caso de Poisson, mide la tendencia central de la distribución y por tanto estima el *# de encuentros* para cada valor de tiempo. El otro es una medida de la dispersión y, como en el caso de errores normales, este se estima de la dispersión contenida en los datos.

Para incluir en el modelo la variación debida a un exceso de ceros (Ridout *et al.*, 2001) se construye otro juego de datos a partir de la información original. Esta nueva variable, de la misma dimensión que la original, es binomial, tomando un valor de uno cuando el dato original sea mayor a cero, y tomando un valor de cero cuando la variable original tome este valor. Para esta segunda variable, llamada aquí  $w$ , se ajusta una regresión también logarítmica, para luego incluir esta estimación en la regresión de la tasa de encuentro acústico. La forma de incluirla es sumarla al error de la tasa de detección. Cuando la tasa de encuentro es diferente de cero se suma al error  $1-w_i$ , siendo  $i$  el tiempo. Cuando la tasa tome un valor de cero se suma al error  $w_i + (1-w_i)$ . De esta forma, durante el proceso de ajuste, se infla el error cuando la tasa de encuentro es cero, tratando de modelar la posible probabilidad incrementada de ceros como se explicó antes.

## 8.2. Métodos de ajuste de los parámetros de los modelos de tendencia

Los métodos para el ajuste de modelos matemáticos, es decir, encontrar los valores de los parámetros que mejor definen al modelo con base en la información disponible, se restringen básicamente a tres tipos: mínimos cuadrados, máxima verosimilitud y de Bayes (Hilborn y Mangel, 1997).

El método de mínimos cuadrados es simple (no requiere de supuestos sobre la incertidumbre del proceso o muestreo), ha sido usado muy extensivamente a lo largo de la historia científica, y hay métodos computacionales que permiten su utilización de formas muy simplificadas.

El método de máxima verosimilitud permite incluir en el proceso de ajuste la distribución de probabilidad asociada a las fuentes de error del modelo. Este método permiten calcular límites de confianza de los parámetros y con ello realizar pruebas de hipótesis de forma tradicional.

El método de Bayes se funda en los métodos de máxima verosimilitud (Gelman et al., 1995). El método realiza inferencias a partir de los datos disponibles usando modelos de probabilidad para cantidades que se observan (datos) y para cantidades de las que se desea aprender (parámetros). Su característica esencial es el uso explícito de probabilidad para cuantificar la incertidumbre en inferencias basadas análisis estadísticos de datos. Su gran aporte es que permite el uso de información previa, independiente de la generada en la investigación particular, para usarla en el ajuste de los parámetros del modelo. Es decir, es una forma de no perder información que puede ser de importancia (Hilborn y Mangel, 1997). Por otro lado, la obtención de distribuciones de probabilidad que describen las cantidades de interés, a diferencia de los métodos tradicionales, permiten contrastar varias hipótesis a la vez.

Parece claro, entonces, que habrá una ventaja en la utilización de los métodos bayesianos para su aplicación en el ajuste del modelo que describa la tendencia de la tasa de encuentro acústico. Por un lado, se cuenta con información acústica previa generada desde 1997 que será de valía (Jaramillo Legorreta, 2008). Por otro lado, permitirá aprender de parámetros que se visualicen en el futuro, pues los datos y análisis que se vayan generando formaran un acervo de información previa que se pueda incluir en análisis posteriores. Adicionalmente, se podrán ajustar otros modelos que se estime sean adecuados para describir el proceso de la trayectoria poblacional de la vaquita.

Por ejemplo, debido a la necesidad de realizar el muestreo sólo en la época de menor esfuerzo pesquero, se crearán muestras bien definidas en tiempo, independientes una de otra. Bajo este patrón, un modelo muy sencillo permitiría entender la tendencia del proceso de detección acústica:

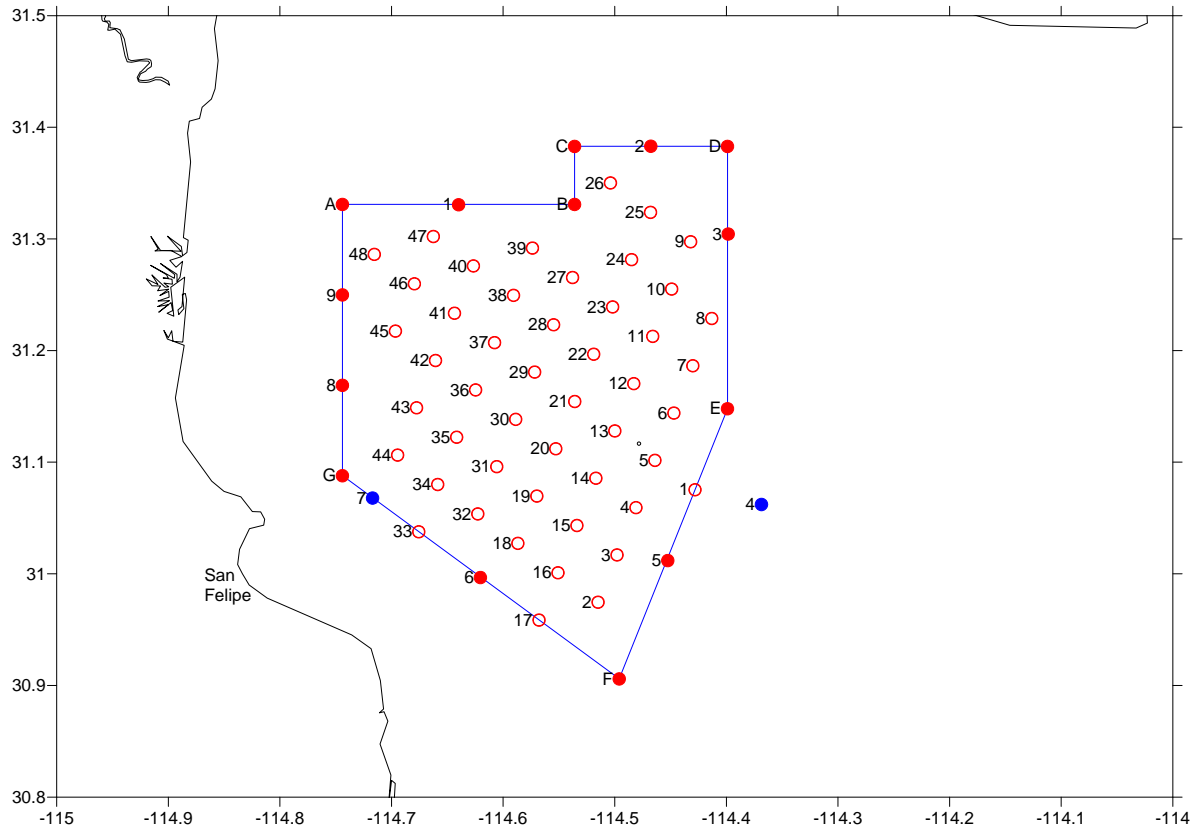
$$TEA_{t+1} = \delta \cdot TEA_t$$

El modelo determina que la Tasa de Detección Acústica en el año  $i+1$  es igual a la Tasa en el año previo multiplicada por un parámetro  $\delta$  de incremento. Un valor mayor a 1 del parámetro de incremento determina que la Tasa se haya en incremento y viceversa. Un valor de 1 indica que la Tasa se haya sin cambio. Estimar el parámetro  $\delta$  con métodos bayesianos sería conciso, permitiría incluir información previa, aprender de la naturaleza de su distribución de probabilidad y contrastar de forma útil las tres hipótesis sobre su valor. En suma, se recomienda el uso de un modelo que permita el manejo de datos de conteos, con distribuciones de error para datos discretos, ajustado con métodos bayesianos.

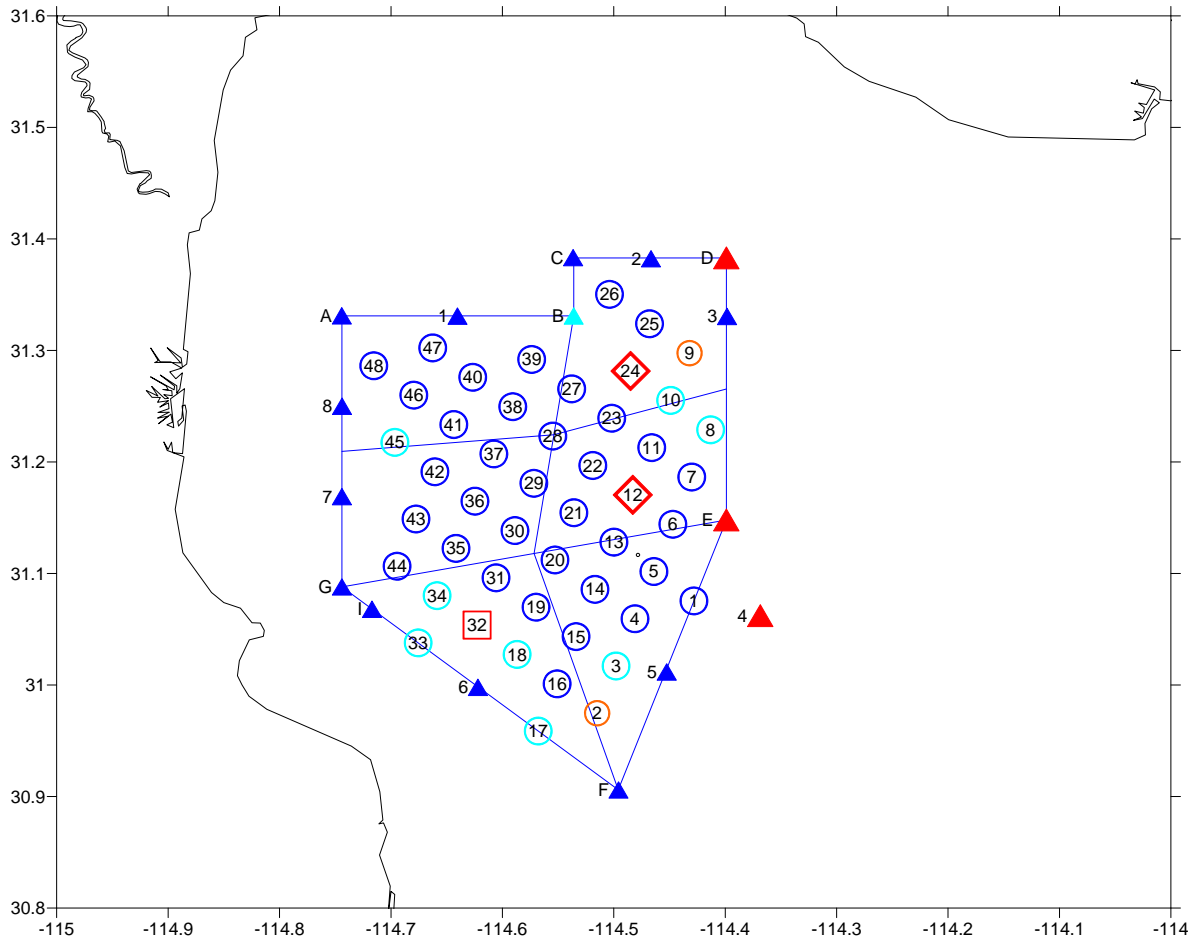
## 9. Literatura Citada

- Au, W.W.L. 1993. *The Sonar of Dolphins*. Springer-Verlag, New York. 292 pp.
- Akamatsu, T., Y. Hatakeyama, T. Kojima y H. Soeda. 1994. Echolocation rates of two harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *Marine Mammal Science* 10(4):401-411.
- Barlow, J., Gerrodette, T., y Silber, G. 1997. First Estimates of Vaquita Abundance. *Marine Mammal Science* 13:44-58.
- Chappell, O.P., R. Leaper y J. Gordon. 1996. Development and Performance of an Automated Harbour Porpoise Click Detector. *Reports of the International Whaling Commission* 46:587-594.
- El-Sayyad, G.M. 1973. Bayesian and Classical Analysis of Poisson Regression. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 35(3):445-451.
- 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.
- Gillespie, D. y O. Chappell. 2002. An automatic system for detecting and classifying the vocalisations of harbour porpoises. *Bioacoustics* 13:37-61.
- Hendry, J.L. 2004. *The Ontogeny of Echolocation in the Atlantic Bottlenose Dolphin (Tursiops truncatus)*. Ph. D. Dissertation. College of Education and Psychology. University of Southern Mississippi. 133 pp.
- 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., L. Rojas-Bracho y T. Gerrodette. 1999. A New Abundance Estimate for Vaquitas: First Step for Recovery. *Marine Mammal Science* 15:957-973.
- 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.
- Jaramillo Legorreta, A.M., G. Cárdenas Hinojosa, L. Rojas Bracho. 2008. Informe de actividades de la embarcación Koipai Yú-Xá durante el Crucero Vaquita 2008. No publicado. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. Disponible escribiendo un mensaje a: ajaramil@cicese.mx.

- Ridout, M., J. Hinde y C.G.B. Demétrio. 2001. A Score Test for Testing a Zero-Inflated Poisson Regression Model against Zero-Inflated Negative Binomial Alternatives. *Biometrics* 57(1):219-223.
- 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.
- 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.
- Silber, G.K. 1991. Acoustic Signals of the Vaquita (*Phocoena sinus*). *Aquatic Mammals* 17:130-133.
- Tregenza, N.J.C. 2006. T-POD sensitivity at sea. Proceedings of the European Cetacean Society, Gdnyia, Poland. Special Issue, 46: 29-32. 20th Annual Meeting, April 2006.
- White, G.C. y R.E. Bennetts. 1996. Analysis of Frequency Count Data Using the Negative Binomial Distribution. *Ecology* 77(8):2549-2557.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall Inc., New Jersey. 718 pp.



**Figura 1.** Polígono del Refugio de Protección para la Vaquita (líneas azules). Los sitios de muestreo del esquema de monitorización acústica comprenden las boyas de marcaje del refugio (círculos rojos y azules) y sitios de muestreo (circunferencias rojas) en donde se lanzan los anclajes sumergidos. Inicialmente el plan no contemplaba instalar detectores en las boyas 4 y 7, pero se decidió intentarlo con el fin de aumentar la muestra.

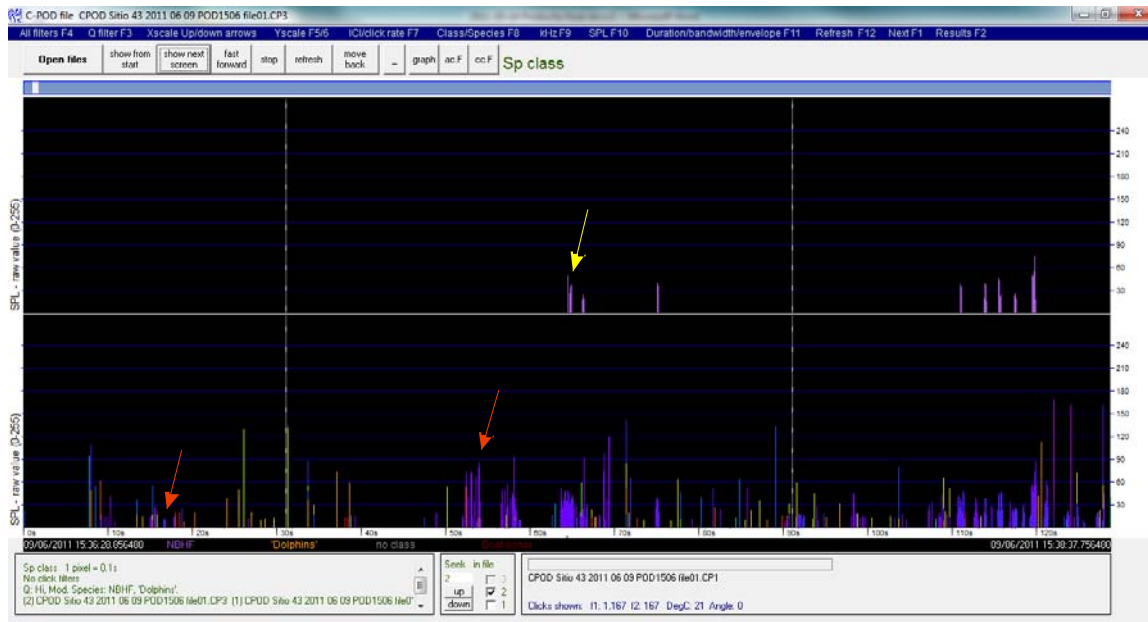


**Figura 2.** Resultado de la recuperación de anclajes y detectores acústicos del esquema de monitorización. Los círculos azules representan anclajes localizados y recuperados con detector acústico. Los círculos azul claro son anclajes no localizados. El cuadro rojo es un anclaje localizado y recuperado pero sin detector. Los círculos anaranjados son detectores entregados a personal de la Reserva de la Biósfera y en los que no se realizó labor de localización de anclaje. Los triángulos azul oscuro son boyas de las que se recuperaron los detectores. El triángulo azul claro es la boya en la que no se encontró el detector. Los triángulos rojos son las boyas perdidas.



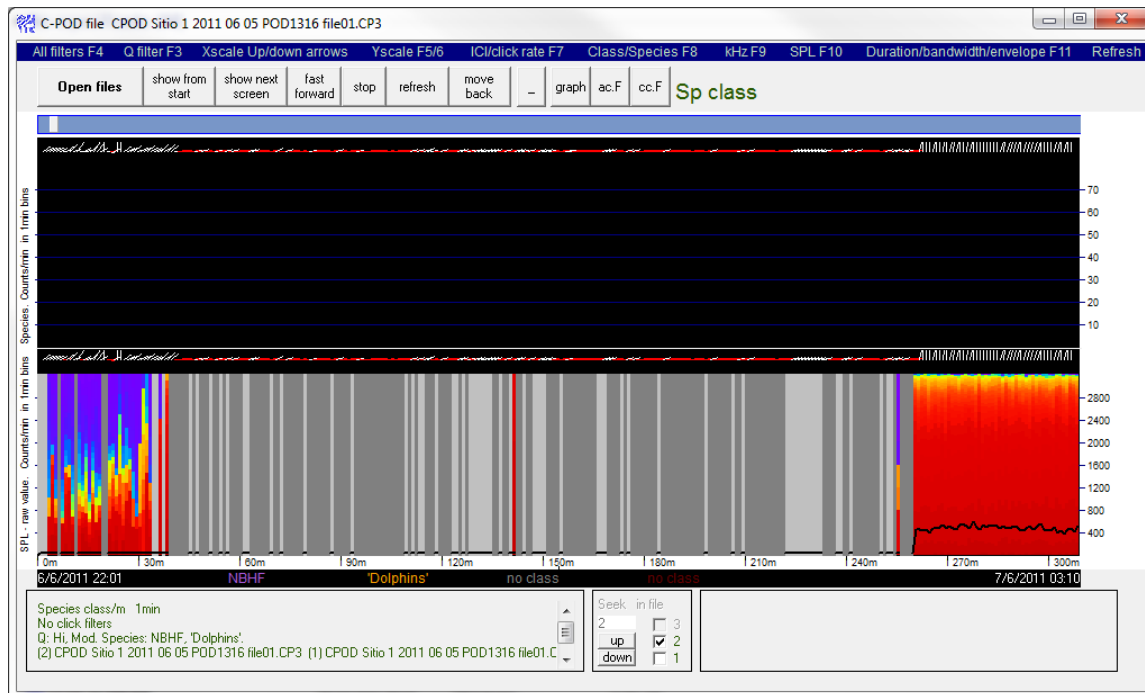
**Figura 3.** Estado de los detectores acústicos al ser recuperados. Se aprecia como todo el cuerpo del detector estaba cubierto por flora (algas), fauna (diversos invertebrados) y un sedimento lodoso. Incluso, las cuerdas y boya asociadas se hallaban infestadas de moluscos bivalvos parecidos a mejillones. La limpieza se realizó fácilmente con una pistola hidráulica. Después de esta limpieza fueron apreciables conchas de balanos, las cuales sólo pudieron retirarse por medio de una espátula.



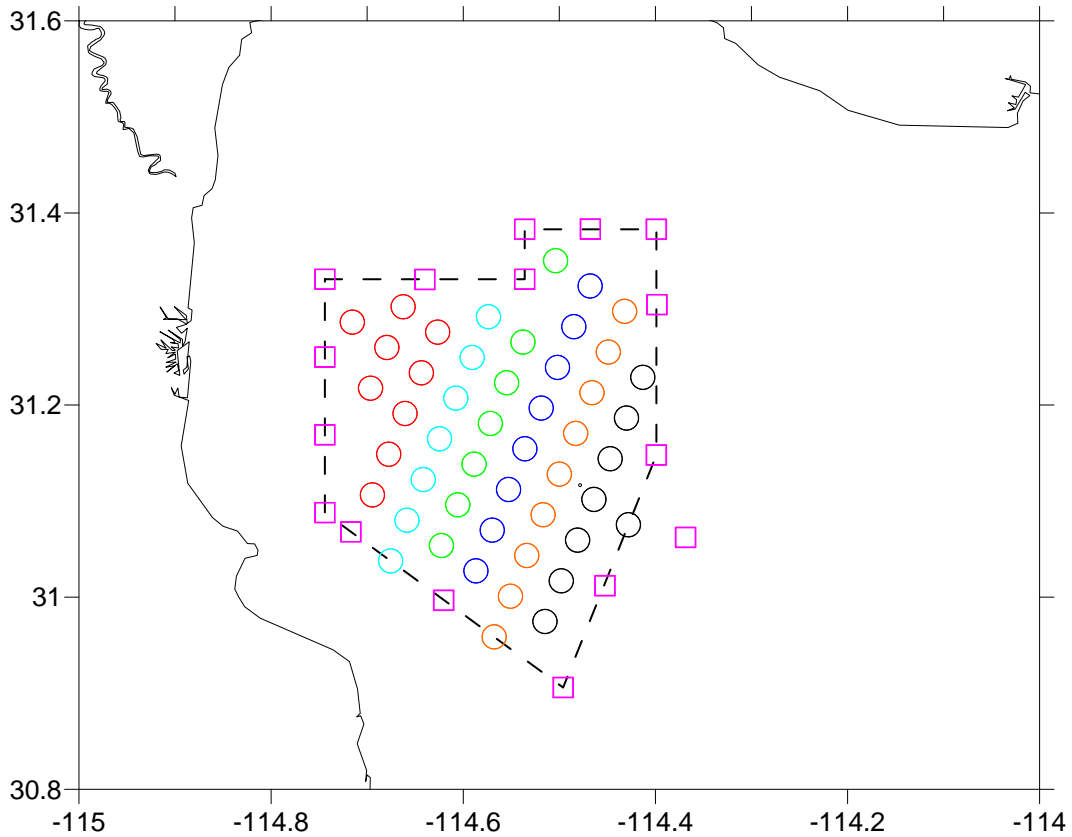


**Figura 4.** Despliegue de una porción de un encuentro acústico de vaquita, en que se muestran series detectadas por el programa de análisis (por ejemplo la señal identificada con una flecha amarilla). Como se aprecia, no todas las series emitidas por vaquitas son detectadas (como las mostradas por una flecha roja). Incluso, hay series muy pequeñas, pero con características muy claras para ser identificadas como vaquitas (la identificada a la izquierda con la flecha roja) que indican el inicio y final de encuentros acústicos. El grueso del análisis se hace en modo “Sp class” (ver la parte superior central de la figura), en el que las series se identifican con códigos de color. En morado se muestran las señales tipo NBHF (siglas en inglés de banda estrecha y alta frecuencia) a las que pertenecen las señales emitidas por marsopas, incluida la vaquita.

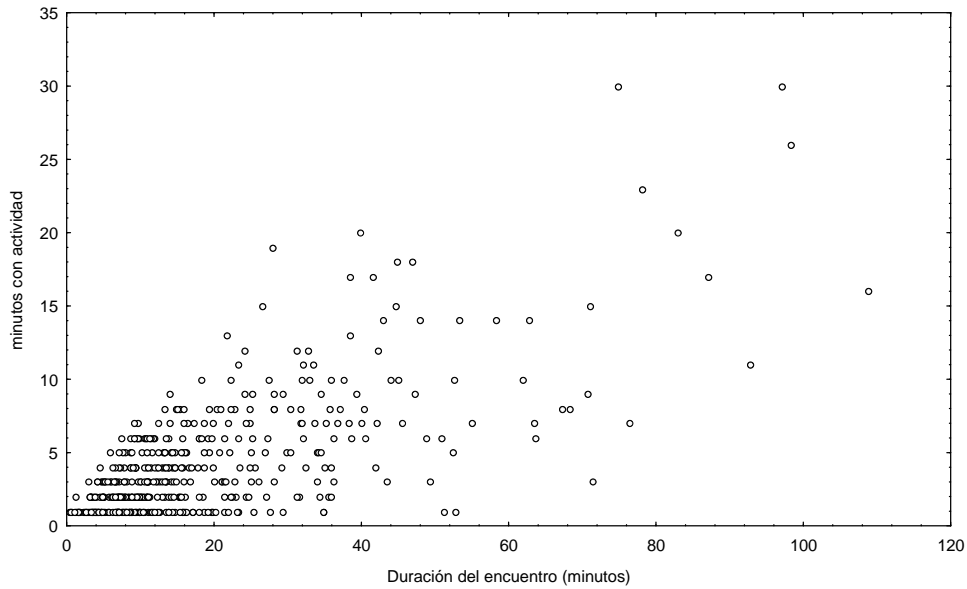




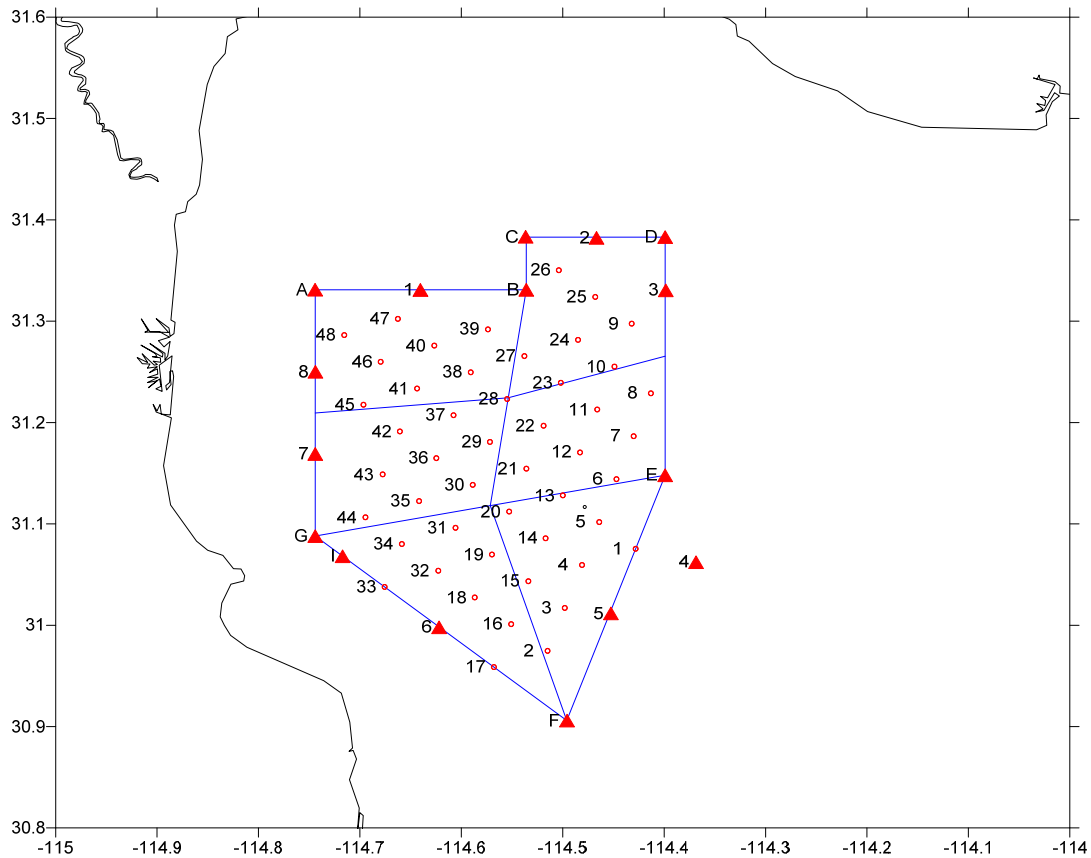
**Figura 5.** Pantalla del programa de análisis que muestra el momento en el que un detector tomó una posición vertical al ser lanzado e inició la detección. Hacia la parte derecha se ve una porción predominantemente roja que muestra una colección normal de datos. A la izquierda se ven barras grises y, en el extremo izquierdo, algunos momentos en que el detector tomó una posición vertical y registro datos, quizá durante momentos en que estaban siendo transportados al sitio del lance. En la parte superior de la pantalla se ve una serie de líneas blancas y rojas. La rojas indican momentos en que el detector estuvo en posición horizontal (en reposo) y las blancas momentos es que estaba en posición horizontal (detectando). Al extremo derecho se nota como las barras blancas muestran una posición vertical constante, lo que indica que el detector ya estaba lanzado.



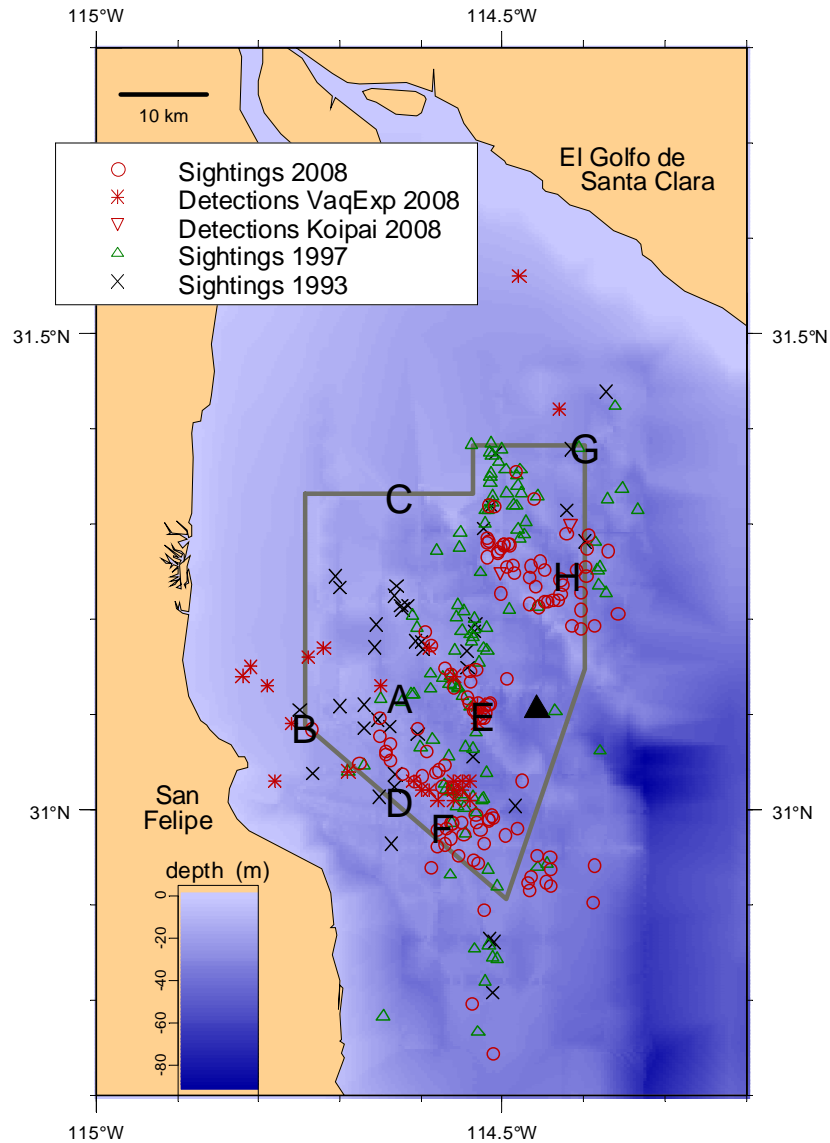
**Figura 6.** Sitios de muestreo del esquema de monitorización acústica de la vaquita arreglados en parcelas (sitios indicados con figuras del mismo color), diseñadas para realizar recambios de detectores acústicos de forma secuencial y continua para muestreos a lo largo del año. Este esquema fue aplicado para la recuperación de anclajes con tres embarcaciones en un lapso de dos semanas.



**Figura 7.** Gráfica de dispersión del número de minutos con actividad detectados por el programa de análisis vs la duración de los encuentros acústicos determinados por los analistas. Para cada encuentro se determinó cuantos minutos con actividad le correspondían de acuerdo a los tiempos de inicio y final. Es apreciable la alta variabilidad, enfatizada en encuentros de menor duración.



**Figura 8.** Mapa de los sitios de muestreo del esquema de monitorización acústica (boyas y sitios dentro del refugio) en que se muestra la estratificación usada para describir el patrón de distribución de la tasa de encuentro acústico. La estratificación siguió criterios geométricos. Primero se unió la Boya G a la Boya E (que marca aproximadamente los límites de la Reserva de la Biósfera). El triángulo formado se dividió en dos uniéndola Boya F con la parte media de la primera línea trazada. De este punto se trazó una línea hacia la Boya B. Del punto medio de esta línea se trazaron las últimas dos, hacia el punto medio de la línea que une la Boya A con la Boya G en el oeste, y el punto medio de la línea que une la Boya D a la Boya E en el este.



**Figura 9.** Distribución de los avistamientos de vaquita obtenidos durante los cruceros 1993, 1997 y 2008 (Barlow *et al.*, 1997; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999; Gerrodette *et al.*, 2011). También se muestra la distribución de detecciones acústicas obtenidos en 2008. Tomado de Rojas-Bracho *et al.* (2010).

**Tabla I.** Relación de los anclajes sumergidos y detectores acústicos lanzados en boyas durante el inicio de operaciones y primer ciclo de muestreo del Esquema de Monitorización Acústica de la Vaquita. La letra B al inicio de la designación de sitio indica que se trata de una boya identificada por el siguiente carácter. Las boyas se identifican con una sola posición geográfica a diferencia de los anclajes sumergidos. La última columna indica el número de detecciones acústicas identificadas en cada sitio en todo el muestreo reportado.

Sitio	C-POD	Ancla tipo yate		Ancla tipo río		Detecciones acústicas
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
1	1316	31.07553	114.42825	31.07505	114.42687	4
2	998	30.97455	114.51521	30.97377	114.51140	221
3	1317	31.01715	114.49832	31.01658	114.49682	PERDIDO
4	991	31.05962	114.48081	31.05984	114.47984	199
5	1304	31.10157	114.46339	31.10032	114.46209	0
6	1302	31.14423	114.44673	31.14390	114.44494	0
7	1300	31.18638	114.43041	31.18609	114.42853	42
8	1305	31.22870	114.41275	31.22813	114.41106	PERDIDO
9	1301	31.29769	114.43178	31.29771	114.42975	17
10	1303	31.25541	114.44891	31.25546	114.44694	PERDIDO
11	1306	31.21282	114.46590	31.21307	114.46417	10
12	1307	31.17043	114.48284	31.17046	114.48106	PERDIDO
13	1315	31.12966	114.49985	31.12949	114.49802	1
14	1308	31.08570	114.51675	31.08510	114.51498	62
15	1309	31.04342	114.53376	31.04354	114.53213	53
16	1313	31.00102	114.55074	31.00100	114.54902	0
17	1310	30.95861	114.56784	30.95858	114.56612	PERDIDO
18	1318	31.02754	114.58672	31.02768	114.58535	PERDIDO
19	1319	31.06975	114.56976	31.06972	114.56798	206
20	1320	31.11213	114.55286	31.11218	114.55116	146
21	1331	31.15451	114.53579	31.15478	114.53408	34
22	1332	31.19692	114.51884	31.19720	114.51702	0
23	1333	31.23921	114.50183	31.23929	114.50015	19
24	1312	31.28169	114.48492	31.28217	114.48293	PERDIDO
25	1314	31.32410	114.46816	31.32405	114.46635	0
26	995	31.35026	114.50367	31.35024	114.50272	0
27	1006	31.26575	114.53744	31.26581	114.53616	26
28	1009	31.22344	114.55468	31.22369	114.55350	4
29	1336	31.18105	114.57167	31.18133	114.57013	5
30	1337	31.13863	114.58864	31.13876	114.58734	29
31	1334	31.09620	114.60542	31.09677	114.60385	257
32	1503	31.05606	114.62691	31.05730	114.62499	PERDIDO
33	1340	31.03792	114.67521	31.03845	114.67346	PERDIDO
34	1299	31.08022	114.65871	31.08136	114.65691	PERDIDO
35	1502	31.12264	114.64200	31.12356	114.63976	222
36	1350	31.16511	114.62448	31.16550	114.62251	3
37	1342	31.20732	114.60769	31.20711	114.60564	11
38	1341	31.24971	114.59044	31.25016	114.58844	0
39	992	31.29201	114.57364	31.29133	114.57191	0
40	1348	31.27603	114.62666	31.27743	114.62569	0
41	1349	31.23365	114.64361	31.23491	114.64237	4
42	1343	31.19132	114.66058	31.19277	114.65964	0
43	1506	31.14892	114.67755	31.14950	114.67649	177
44	1504	31.10655	114.69444	31.10695	114.69342	132
45	1345	31.28638	114.71542	31.28794	114.71426	PERDIDO
46	1346	31.30372	114.66139	31.25999	114.67947	0

47	1347	31.30231	114.66253	31.30372	114.66139	1
48	1344	31.25999	114.67947	31.26170	114.67858	3
BA	1507	31.33109	114.74412			0
BB	989	31.33100	114.53600			PERDIDO
BC	1353	31.38326	114.53651			2
BD	1352	31.38300	114.39900			PERDIDO
BE	993	31.14800	114.39900			PERDIDO
BF	1497	30.90592	114.49579			5
BG	1514	31.08800	114.74400			100
BI	1515	31.06800	114.71700			113
B1	1501	31.33084	114.64031			0
B2	1498	31.38226	114.46663			0
B3	1496	31.33049	114.39839			0
B4	1000	31.06224	114.36856			PERDIDO
B5	1500	31.01172	114.45251			0
B6	1499	30.99795	114.62196			13
B7	1351	31.16900	114.74400			5
B8	1511	31.25002	114.74393			0