

Reporte final

Programa de monitorización acústico extendido para evaluar la distribución actual de vaquita

22 de noviembre de 2024

Responsable Técnico: Dr. Gustavo Cárdenas Hinojosa

Investigador Asociado "A" - Dirección Regional Península de Baja California y Pacifico Norte. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

1. Introducción.

La vaquita (*Phocoena sinus*) es una especie de marsopa endémica del Alto Golfo de California (AGC) y es considerada como el mamífero marino más amenazado del mundo (Rojas-Bracho et al., 2006; Jaramillo-Legorreta et al., 2019). Las estimaciones de la abundancia poblacional de vaquita suponen un decrecimiento poblacional del 92% entre 1997 (567 individuos) y 2015 (59 individuos) (Jaramillo Legorreta et al., 1999; Taylor et al., 2016). Desde el año 2005 el gobierno mexicano ha implementado diferentes acciones de conservación para tratar de evitar la extinción de la especie (DOF, 2005, 2017, 2020), siendo el programa de monitorización acústica un componente esencial para estimar las tendencias de su población con el fin de evaluar si las estrategias de conservación han sido efectivas (SEMARNAT, 2008).

El programa de monitorización acústica de vaquita financiado por la CONANP opera desde 2011 y hasta 2018 incluía un muestreo, entre junio y septiembre, en una malla de 46 sitios de muestreo dentro del Área de Refugio para la Protección de la Vaquita (DOF, 2005; Figura 1). Los análisis de este periodo indicaron que la población de vaquita decreció en un promedio de 45% anual (Jaramillo-Legorreta et al., 2019). El monitoreo acústico ha continuado anualmente hasta 2024 principalmente en una malla de muestro dentro de la Zona de Tolerancia Cero (ZTC) (DOF, 2020; Figura 1). En 2021, la Armada de México colocó bloques de concreto con ganchos de metal para desalentar la pesca con redes agalleras dentro de la ZTC. El área con bloques se amplió en 2023 para incluir el área adyacente denominada zona de extensión. En la ZTC se documentó que la tasa promedio de cambio de la detección acústica para el periodo de 2021 a 2023 fue de -14.4%. Por lo tanto, si la tasa de detección acústica dentro de la ZTC es una aproximación de la tendencia de la población, la vaquita continuó decreciendo, pero a una tasa muy reducida (del -45% a -14%) (Jaramillo-Legorreta et al., 2019).

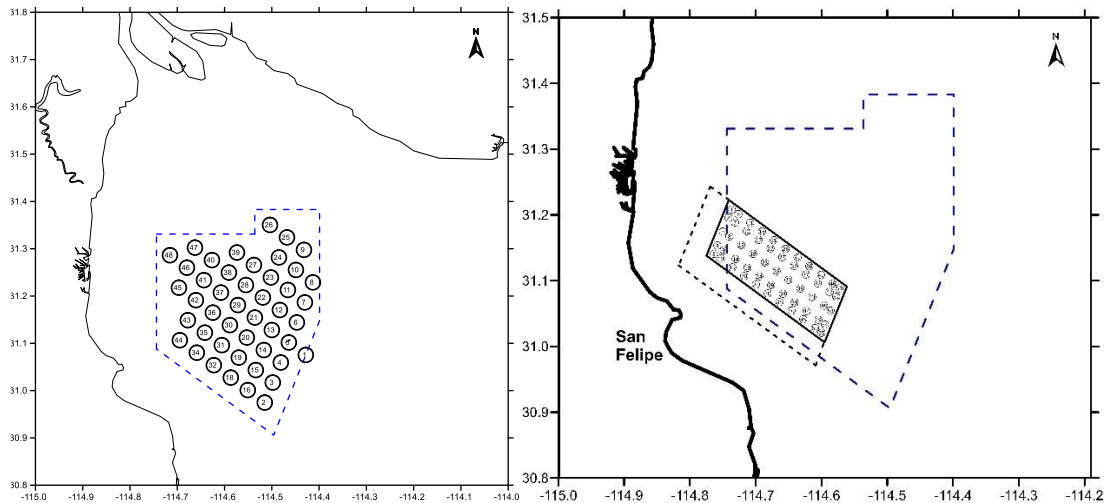


Figura 1. En el mapa de la izquierda se muestra la malla de muestreo para el monitoreo acústico de vaquita que se realizó entre las temporadas de muestreo 2011 a 2018 en el Refugio de la Vaquita (izquierda). En el mapa de la derecha se muestra la malla de muestreo para el monitoreo de vaquita realizado a partir de 2021 en la Zona de Tolerancia Cero que se delimita con el polígono de línea continua negra y con línea discontinua negra se muestra su Zona de Extensión. En los dos mapas se muestra el polígono del Refugio de la Vaquita con línea azul.

En otro tipo de investigación acústica y visual combinada de vaquita también realizada en la ZTC liderada por la CONANP en colaboración con Sea Shepherd Conservation Society, llamada cruceros de observación, al utilizar el método denominado elicitación de expertos se estimó que hay una probabilidad del 75% de que el número total de individuos diferentes observados en 2024 sea entre 6 y 8. Dado que la búsqueda se centró en la ZTC y la zona de extensión (Figura 1), 6-8 se consideró la estimación del número mínimo de vaquitas que quedan. La estimación de mayo 2024 fue inferior a las 8-13 vaquitas que se observaron en mayo 2023 en un área similar. En el crucero de 2024 se observó un individuo que se observó en los cruceros de 2018 y 2019 pero no en los de 2021, 2022 y 2023, lo que sugiere que probablemente las vaquitas pudieran estar reocupando áreas fuera de la ZTC (Cárdenas-Hinojosa *et al.*, 2024). Aunado a esto, zonas de hábitat utilizadas por las vaquitas en el pasado no han sido monitorizadas desde 2019 y por lo tanto, se recomendó que para poder interpretar los resultados de los cruceros de observación y proporcionar una evaluación más confiable del estado de conservación de la vaquita se ejecutara un programa de investigación acústica en otras áreas del hábitat de esta especie para determinar su distribución actual (Cárdenas-Hinojosa *et al.*, 2024).

Por lo anterior, la CONANP en colaboración con la Sea Shepherd Conservation Society y la asesoría del Panel de Expertos de Acústica de Vaquita, realizaron una investigación acústica de vaquita fuera de la ZTC en el Área de Refugio para la Protección de la Vaquita con el objetivo de determinar la distribución actual poblacional para contribuir a la conservación de la vaquita.

2. Objetivos

Realizar monitoreo acústico de la vaquita en el Refugio de la Vaquita para conocer su distribución actual.

3. Métodos

3.1. Diseño de muestreo

El 02 de julio de 2024 se realizó reunión con panel internacional de expertos de vaquita con el objetivo de diseñar el muestreo de monitoreo acústico fuera de la ZTC que consistió principalmente en decidir los sitios de muestreo para treinta y cinco detectores acústicos (F-POD) que se colocaron en el hábitat de la vaquita durante dos meses de la temporada baja de pesca en el Alto Golfo de California. Para enriquecer la discusión sobre el diseño de muestreo, al panel se les mostró un resumen de los registros actuales de vaquita tanto visuales como acústicos en la ZTC y en la zona de extensión de la ZTC, así como una revisión de la distribución de vaquita basada tanto en datos visuales como acústicos obtenidos en el periodo de 1993 a 2018.

La información previa fue usada para utilizar un diseño de muestreo de aceptación balanceada (BAS) (Foster et al. 2017; van Dam Bates et al. 2018) para definir los sitios de muestreo. Esta clase de diseño aleatorio permite especificar la probabilidad de inclusión objetivo de cada ubicación de muestra potencial y, al mismo tiempo, distribuir el muestreo en el área de estudio. Debido a la cantidad de detectores acústicos (F-PODs) disponibles para este proyecto se generaron 70 sitios de muestreo y se seleccionaron los primeras 35 para el primer muestreo 1 y los 35 para el siguiente muestreo (Figura 2). Los sitios fueron arrojados en orden numérico por mayor probabilidad de detectar vaquitas.

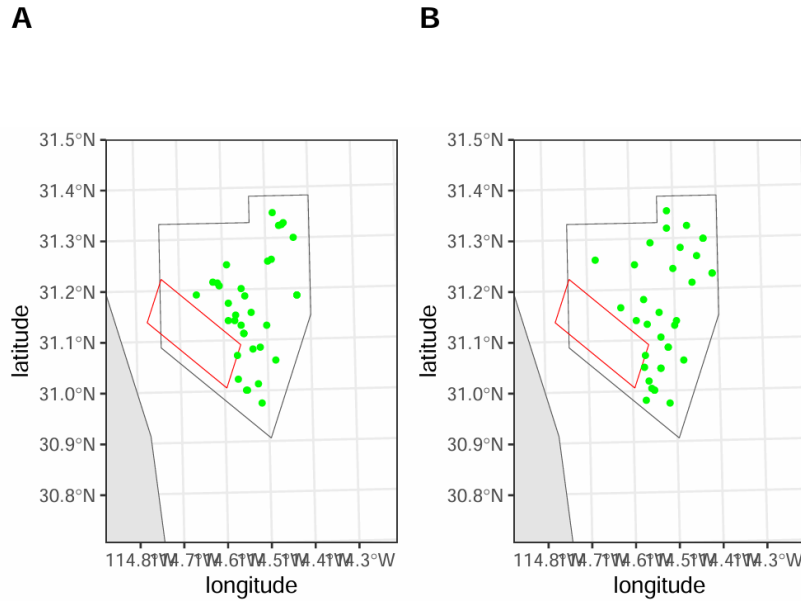


Figura 2. Malla de muestreo de 70 sitios en el Refugio de la Vaquita. En cada figura (A y B) se muestran 35 sitios de muestreo de vaquita donde históricamente se han detectado con más frecuencia a las vaquitas (visual y acústicamente).

El panel también concluyó que en el diseño de muestreo se deberían de recuperar los detectores acústicos cada dos semanas (durante los dos meses) para analizar la información inmediatamente y que los resultados aportarán (basados en previa información acústica y visual) para determinar los siguientes sitios de muestreo para colocar de nuevo los detectores. Mas detalles sobre el diseño de muestreo se adjuntan en el Apéndice 1 (Diseño de muestreo acústico para vaquita-Panel de expertos).

3.2. Preparación de anclajes, dispositivos Resquints y detectores acústicos.

El 19 de agosto de 2024, se trasladaron de Ensenada a San Felipe, los materiales para construir los anclajes. El mismo día, los pescadores realizaron el ensamblado de anclajes (Figura 3). Los anclajes fueron ensamblados desde su base con el siguiente arreglo: 1) ancla danforth o de avión; 2) grillete; 3) tres metros de cadena; 4) 35 metros de cabo con guardacabos en cada extremo; 5) un asa en el cabo para amarrar el F-POD; 6) dispositivo Resquint (mecanismo liberador de boya) y 7) una boya tipo atunera. La longitud del anclaje fue diferente ya que algunos sitios de muestreo fueron más someros o profundos. El objetivo del diseño de anclaje fue para evitar la interacción con actividades pesqueras y así prevenir la pérdida de equipos derivado de la fácil localización de las boyas de superficie. En total se prepararon 35 anclajes para el primer muestreo.

Una vez ensamblados, los anclajes fueron transportados por los pescadores hacia los sitios donde resguardan sus pangas. Ahí, los colocaron en las embarcaciones de forma ordenada para evitar que se enredaran. A cada anclaje se le colocó una etiqueta que identificara en qué sitio debía ser lanzado, o grupo de sitios que comparten la misma profundidad. El acomodo de los anclajes en las pangas obedeció al plan de lance asignado a cada embarcación previamente.

Se contó con tres grupos de trabajo, a los cuales se les asignó un número similar de sitios de lance y posterior intercambio y recuperación. A cada grupo de trabajo se les preparó también una bitácora y un geoposicionador satelital (GPS) con la ubicación geográfica de los sitios de muestreo.



Figura 3. Ensamblado de anclajes por los pescadores.

En cada anclaje se amarró un dispositivo Resqunit (<https://www.resqunit.com/>) que tiene un liberador electrónico con un temporizador que permite agendar el tiempo en que tiene que liberar una boya rígida de color amarillo de un recipiente que lo sostiene (Figura 4). Para poder programar el tiempo en el dispositivo se descargó la aplicación de Resqunit en un teléfono celular para conectarse vía NFC (por sigles en inglés: Near Field Communication) con el liberador y un día antes del lance de los anclajes, se programó el tiempo para coincidir con el inicio de las mareas muertas. Se seleccionó este periodo debido a que la boya es pequeña y en condiciones de mareas vivas las fuertes corrientes en el Alto Golfo pueden hundir la boya evitando su ubicación por los pescadores. Se usaron estos dispositivos, ya que durante el Crucero de Observación de Vaquita 2024 se

probaron estos dispositivos en tres anclajes con detectores acústicos colocados en el Refugio de la Vaquita y se recuperaron con éxito.



Figura 4. Dispositivos Resqunit. En la imagen se pueden ver los componentes principales del dispositivo que son temporizador de liberación electrónico, boya y recipiente que sujeta la boya.

Se usó el detector acústico F-POD, (<http://www.chelonia.co.uk/>), para grabar los chasquidos de ecolocalización de la vaquita. La preparación y programación de los 35 detectores acústicos se realizó un día previo a la instalación de los aparatos. El F-POD consiste en un tubo de plástico, de aproximadamente 10 cm de diámetro y 72 cm de largo (Figura 5). En uno de los extremos tiene una cápsula (inamovible) que resguarda un hidrófono. En el otro extremo lleva una tapa atornillable, que cierra herméticamente el aparato gracias a un par de sellos. En el interior se encuentra un espacio para colocar las diez baterías (tamaño D) que le dan poder y un módulo electrónico, el cual cuenta con un receptáculo para una tarjeta de memoria tipo micro SD, una luz indicadora de estado y un único botón de control.



Figura 5. Detectores acústicos tipo F-POD listos para colocar en los sitios de muestreo con anclajes.

3.3. Lance y recuperación de anclajes con detectores acústicos

El lance y recuperación de los anclajes con detectores acústicos estuvo a cargo de tres equipos de trabajo (Figura 6). El lance ocurrió en cuanto las condiciones del mar permitieron la navegación segura y la recuperación de los detectores se realizó durante las mareas muertas para que la boya del dispositivo Resqunit no fuera hundida por las fuertes corrientes durante las mareas vivas. Para las actividades de recuperación, cuando la boya no se encontró en superficie por falla del liberador electrónico de Resqunit, los pescadores localizaron el anclaje arrastrando un ancla tipo grampín para enganchar el cabo, jalarlo y subirlo a la panga. Cuando se presentaron estos casos, los pescadores lo anotaron en las bitácoras. En cada una de las salidas se utilizaron equipos GPS y bitácoras de campo.



Figura 6. Anclajes en pangas para posterior lance en sitios y pescador recuperando anclaje.

3.4. Recuperación de datos y análisis para la identificación de señales acústicas de vaquitas

Una vez recuperados los detectores acústicos se procedió a revisar los datos almacenados en las tarjetas digitales que estos contenían. El procedimiento se realizó mediante el programa diseñado y proveído por el fabricante. Los datos o detecciones válidas de vaquita se denominan “chasquidos”, que se determinan entre un intervalo de frecuencia entre 120 y 140 KHz, y un intervalo entre 5 y menor a 40 ciclos y ancho de banda menor a cuatro. Además, los chasquidos deben aparecer en series de al menos 5 de ellos, con intervalo entre chasquidos de entre 20 a 80 milisegundos. Adicionalmente, las series de chasquidos deben aparecer asociadas a otras cercanas en tiempo, en escala de segundos o unos pocos minutos. Estas condiciones son fácilmente observables al procesarlas mediante el programa diseñado y proveído por el fabricante (Figura 7).

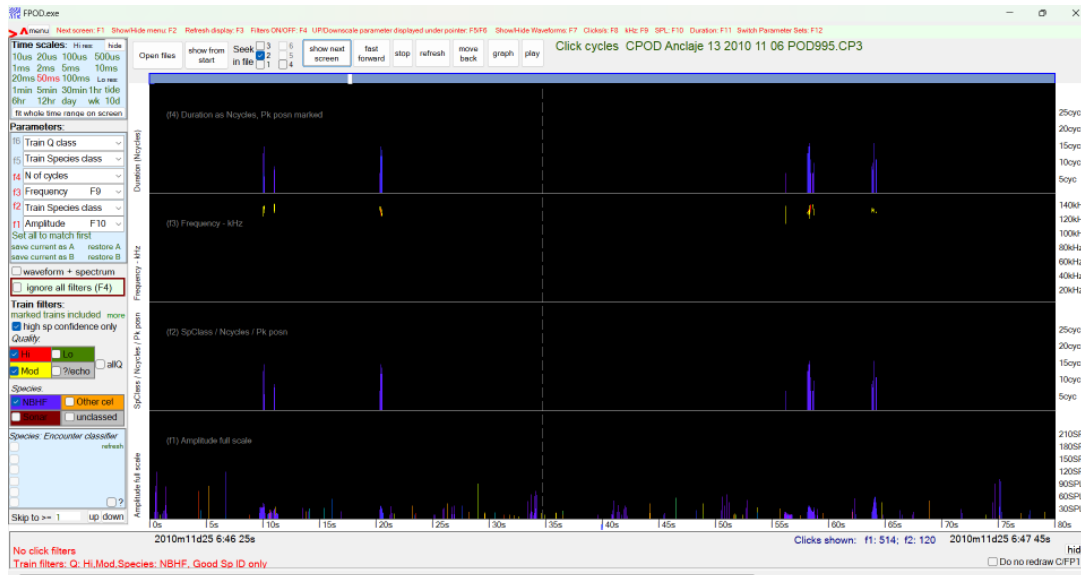


Figura 7. Detección válida de vaquita marina basada en la revisión de los parámetros acústicos de los chasquidos.

4. Resultados

4.1. Lance y recuperación de anclajes con detectores acústicos.

El 23 de agosto de 2024 se realizó el primer lance de los anclajes para dar inicio a la monitorización acústica pasiva en el Área de Refugio de la Vaquita fuera de la Zona de Tolerancia Cero (ZTC), donde se han registrado históricamente con más frecuencia (visual y acústicamente) a las vaquitas. Se colocaron 35 anclajes con detectores acústicos y con los dispositivos de liberación subacuática (Tabla 1). El 11 de septiembre de 2024 los pescadores en tres embarcaciones tipo panga realizaron las actividades de recuperación de los anclajes. En siete anclajes los dispositivos Resquints no liberaron la boya a superficie del mar y los pescadores no pudieron encontrarlos. En otros cinco anclajes tampoco los dispositivos liberaron la boya, pero los pescadores pudieron recuperarlas gracias a que arrastraron un ancla tipo grampín para enganchar el anclaje. En uno de estos anclajes se cortó intencionalmente, con navaja o cuchillo, el cabo que sujetaba el dispositivo Resquint. El mismo día, el 11 de septiembre se descargó y analizó la información de los F-PODs para determinar si hubo detecciones acústicas de vaquita. Por correo electrónico, se compartieron los resultados a algunos miembros del panel internacional de expertos de vaquita para decidir dónde colocar de nuevo los detectores acústicos.

El 12 de septiembre de 2024 se realizó el segundo lance, pero debido a los anclajes perdidos sólo se colocaron 30 anclajes con detectores acústicos. Los anclajes fueron colocados de nuevo en los sitios de muestreo donde se detectaron vaquitas en el primer lance y se colocaron cuatro anclajes, al norte, este, oeste y sur, a 200 metros cerca de

cada sitio con detecciones acústicas. Aunado a esto, el resto de los sitios fueron seleccionados del segundo set de sitios de muestreo arrojados por el diseño de muestreo (del 36 al 70) en orden numérico.

Tabla 1. Actividades de lance y recuperación de anclajes con detectores acústicos y dispositivos Resqunits.

| Fecha | Actividad | Anclajes recuperados | Anclajes perdidos | Comentarios |
|---------------|--------------|----------------------|-------------------|---|
| 23/08/2024 | Lance | | | 35 anclajes |
| 11/09/2024 | Recuperación | 28 | 7 | En cinco anclajes los dispositivos no liberaron la boya pero los pescadores los recuperaron con ancla tipo grampín |
| 12/09/2024 | Lance | | | 30 anclajes |
| 23-24/09/2024 | Recuperación | 24 | 6 | En diez anclajes los dispositivos no liberaron la boya pero los pescadores los recuperaron con grampín |
| 27/09/2024 | Recuperación | 3 | | Esfuerzo de recuperación por pangas en los 13 sitios con anclajes perdidos. Las boyas no fueron liberadas en los 3 anclajes encontrados. |
| 11-12/10/2024 | Recuperación | 2 | | Esfuerzo de recuperación por el barco Sea Horse de Sea Shepherd y se recuperaron dos anclajes. En un anclaje no se liberó la boya y en el otro se liberó la boya probablemente en tiempo no programado. |
| Total | | 57 | 8 | Se recuperaron un total de 57 anclajes de un total de 65 anclajes lanzados. Los dispositivos liberadores fallaron 19 veces. |

El 23 y 24 de septiembre de 2024 se hizo el esfuerzo de recuperación de los detectores. De nuevo algunos dispositivos Resqunits fallaron. En seis anclajes los dispositivos Resqunits no liberaron la boya a superficie del mar y los pescadores no pudieron encontrarlos. En otros diez anclajes tampoco los dispositivos liberaron la boya, pero los pescadores pudieron recuperarlos con el ancla tipo grampín (Tabla 1). Debido a que la temporada de pesca de camarón inició el 02 de octubre de 2024, se decidió no continuar

los muestreos del programa de monitorización debido a la alta probabilidad de perder los anclajes por robo o vandalismo por los pescadores.

El 27 de septiembre y el 11 y 12 de octubre de 2024 se hizo esfuerzo por localizar los anclajes perdidos y se pudieron encontrar cinco. En resumen, se perdieron ocho anclajes con detectores acústicos de un total de 65 anclajes lanzados para el muestreo (Tabla 1). A pesar de que los dispositivos Resqunits fueron probados con éxito durante el Crucero de Observación de Vaquita 2024 la falla de los liberadores acústicos de los dispositivos fue muy frecuente ya que se pudo confirmar que en al menos 19 ocasiones los dispositivos no liberaron la boya a la superficie (Tabla 1). Otro tipo de problemas se tuvo con los liberadores ya que algunas partes son frágiles y se quebraron durante el primer lance o un par de ocasiones la línea de la boya estaba enredada (desde el desempaquetado del dispositivo) y no pudieron usar (Figura 8).

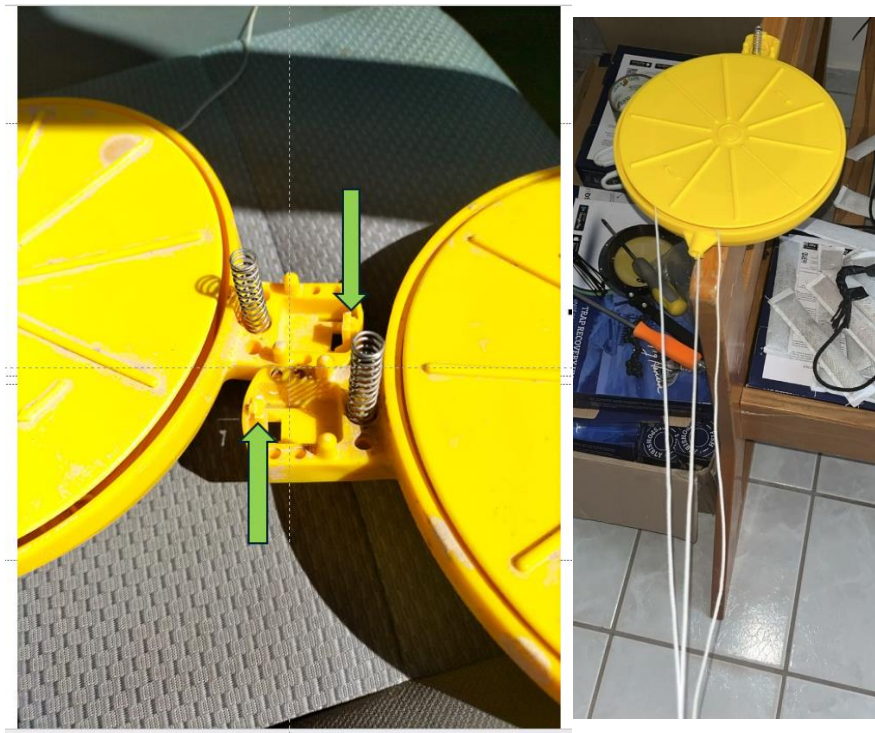


Figura 8. Los dispositivos Resqunits resultaron ser de uso no rudo y tener problemas de fábrica. En la imagen de la izquierda se muestra con flechas verdes una parte del dispositivo que se quebró en dos dispositivos. En otro par de ocasiones, al desempacar, la línea que sujeta la boya estaba enredada evitando su uso posterior.

4.2. Tablas de actividad acústica de vaquita, conteniendo tasas de detección acústica por sitio de muestreo.

Se tenía planeado realizar cuatro muestreos durante dos meses, pero solamente se pudieron realizar dos muestreos que ocurrieron entre el 23 de agosto al 11 de septiembre y entre el 12 de septiembre al 24 de septiembre, aunque en unos sitios el esfuerzo de muestreo fue mayor ya que algunos detectores se recuperaron el 27 de septiembre y otros el 11 y 12 de octubre (Tabla 1). También en algunos sitios el esfuerzo fue mayor ya que se colocaron anclajes en los dos muestreos (Tabla 2). Se instalaron en total 65 anclajes con detectores acústicos en sesenta sitios en los dos muestreos, de los cuales se perdieron ocho en total (Tabla 1). Se aplicó un esfuerzo total de 991.39 días de muestreo (23,793.43 horas de grabación) en sesenta sitios, para un esfuerzo promedio por sitio de 16.52 días de muestreo (396.56 horas). En total se registraron 19 encuentros acústicos de vaquitas en nueve de los sitios y se obtuvo una tasa de detección promedio de 0.02 encuentros / día (Tabla 2).

Tabla 2. Síntesis de resultados de monitorización acústica por sitio de muestreo y agregado total en los dos muestreos. Para cada sitio se muestra posición geográfica, esfuerzo de muestreo en días, encuentros acústicos y tasa de encuentro promedio (encuentros acústicos / día).

| Sitios de muestreo | Longitud | Latitud | Esfuerzo (días) | Encuentros | Tasa/día |
|--------------------|------------|----------|-----------------|------------|-------------|
| 1 | -114.48239 | 31.34973 | 18.96 | 0 | 0.00 |
| 2 | -114.58864 | 31.13892 | 19.05 | 0 | 0.00 |
| 3 | -114.51664 | 31.08524 | 19.15 | 0 | 0.00 |
| 4 | -114.55366 | 31.11300 | 19.22 | 0 | 0.00 |
| 5 | -114.61194 | 31.21331 | 19.05 | 0 | 0.00 |
| 6 | -114.57160 | 31.14942 | 19.04 | 0 | 0.00 |
| 7 | -114.48170 | 31.05930 | 32.60 | 3 | 0.09 |
| 7-1 | -114.48163 | 31.06106 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 7-2 | -114.48177 | 31.05750 | 13.50 | 2 | 0.15 |
| 7-3 | -114.48402 | 31.05941 | 13.47 | 2 | 0.15 |
| 7-4 | -114.47949 | 31.05937 | 13.48 | 0 | 0.00 |
| 8 | -114.46202 | 31.32588 | 32.42 | 2 | 0.06 |
| 8-1 | -114.46203 | 31.32769 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 8-2 | -114.45991 | 31.32586 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 8-3 | -114.46207 | 31.32414 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 8-4 | -114.46416 | 31.32587 | 13.43 | 0 | 0.00 |
| 9 | -114.56943 | 31.07001 | 35.18 | 0 | 0.00 |

| Sitios de muestreo | Longitud | Latitud | Esfuerzo (días) | Encuentros | Tasa/día |
|--------------------|------------|----------|-----------------|------------|-------------|
| 10 | -114.43008 | 31.18635 | 19.09 | 0 | 0.00 |
| 11 | -114.43540 | 31.30009 | 19.03 | 0 | 0.00 |
| 12 | -114.55953 | 31.12935 | 19.01 | 0 | 0.00 |
| 13 | -114.53350 | 31.08195 | 19.14 | 0 | 0.00 |
| 14 | -114.59005 | 31.24898 | 19.05 | 0 | 0.00 |
| 15 | -114.66077 | 31.19075 | 19.05 | 0 | 0.00 |
| 16 | -114.55024 | 31.00110 | 32.41 | 4 | 0.12 |
| 16-1 | -114.55023 | 31.00290 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 16-2 | -114.54815 | 31.00111 | 13.43 | 0 | 0.00 |
| 16-3 | -114.55019 | 30.99929 | 28.73 | 0 | 0.00 |
| 16-4 | -114.55231 | 31.00110 | 13.39 | 0 | 0.00 |
| 17 | -114.54966 | 31.18688 | 19.13 | 0 | 0.00 |
| 18 | -114.49543 | 31.25438 | 19.06 | 0 | 0.00 |
| 19 | -114.46836 | 31.32420 | 19.01 | 0 | 0.00 |
| 20 | -114.56853 | 31.02309 | 19.07 | 0 | 0.00 |
| 21 | -114.45772 | 31.32940 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 22 | -114.58778 | 31.17317 | 19.05 | 0 | 0.00 |
| 23 | -114.55366 | 31.11300 | 15.21 | 0 | 0.00 |
| 24 | -114.50085 | 31.12822 | 19.19 | 0 | 0.00 |
| 26 | -114.53582 | 31.15415 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 27 | -114.55768 | 31.20147 | 19.13 | 0 | 0.00 |
| 28 | -114.54815 | 31.00106 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 29 | -114.48694 | 31.25782 | 19.05 | 3 | 0.16 |
| 29-1 | -114.48698 | 31.25962 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 29-2 | -114.48485 | 31.25787 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 29-3 | -114.48697 | 31.25599 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 29-4 | -114.48922 | 31.25784 | 13.44 | 0 | 0.00 |
| 30 | -114.52270 | 31.01320 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 32 | -114.51531 | 30.97518 | 34.99 | 0 | 0.00 |
| 33 | -114.57397 | 31.13864 | 19.03 | 0 | 0.00 |
| 34 | -114.62239 | 31.21531 | 31.36 | 1 | 0.03 |
| 34-1 | -114.62241 | 31.21713 | 12.31 | 0 | 0.00 |

| Sitios de muestreo | Longitud | Latitud | Esfuerzo (días) | Encuentros | Tasa/día |
|--------------------|------------|----------|-----------------|------------|-------------|
| 34-2 | -114.62025 | 31.21534 | 12.31 | 0 | 0.00 |
| 34-3 | -114.62203 | 31.21354 | 12.31 | 0 | 0.00 |
| 34-4 | -114.62454 | 31.21531 | 12.31 | 0 | 0.00 |
| 35 | -114.60788 | 31.20782 | 19.05 | 0 | 0.00 |
| 36 | -114.53582 | 31.15415 | 29.75 | 1 | 0.03 |
| 37 | -114.56368 | 31.13123 | 19.03 | 0 | 0.00 |
| 38 | -114.51381 | 31.35395 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 39 | -114.49642 | 31.13715 | 19.19 | 0 | 0.00 |
| 40 | -114.56943 | 31.07001 | 12.30 | 0 | 0.00 |
| 44 | -114.53289 | 31.10539 | 12.30 | 1 | 0.08 |
| 47 | -114.58864 | 31.13892 | 12.32 | 0 | 0.00 |
| Total: | | | 991.39 | 19 | 0.02 |

4.3. Distribución de la actividad acústica de vaquita fuera de la ZTC.

Los sitios de muestreo donde se registraron encuentros acústicos de vaquitas se encuentran localizados principalmente en el área sureste fuera de la ZTC y en un par de sitios localizados hacia el área noreste del Refugio de la Vaquita (Figura 9). La distribución y la cantidad de los encuentros acústicos de vaquita en los dos muestreos fue similar ya que en el primero se registraron 10 y en el segundo 9 encuentros (Figura 9).

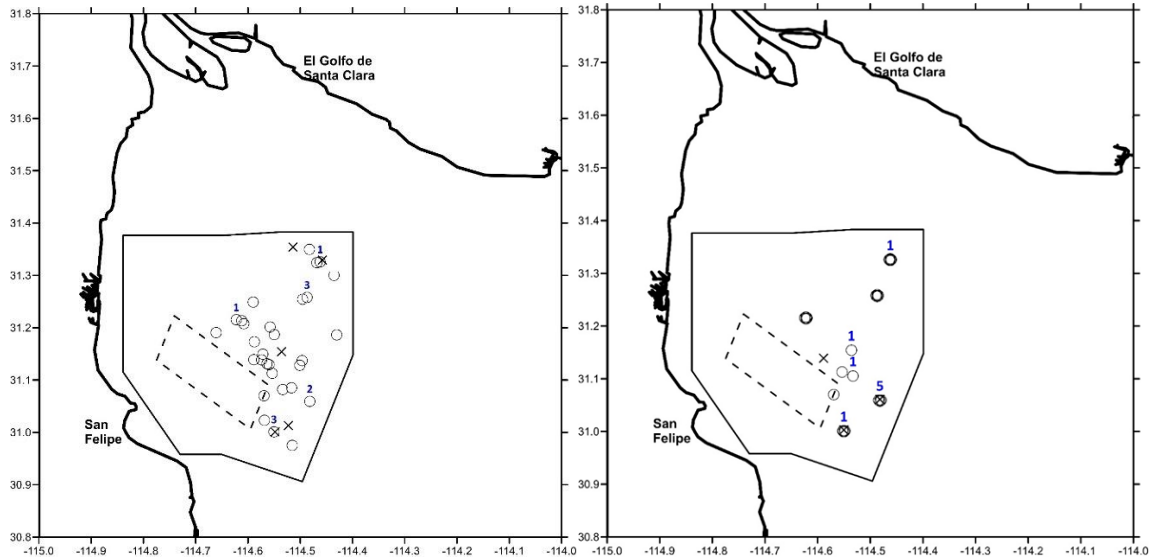


Figura 9. Resultados de los dos muestreos acústicos ocurridos entre el 23 de agosto al 24 de septiembre de 2024. Los símbolos en el mapa muestran los sesenta sitios en que se instaló un anclaje con detector acústico. Los círculos muestran los sitios en los que se recuperó el detector acústico. La figura de la izquierda muestra los sitios del primer muestreo y la figura de la derecha el segundo muestreo. En el segundo muestreo los sitios “traslapan” en el mapa por la cercanía de los sitios (200 metros distancia). Un número en color azul arriba de los círculos indica el número de encuentros acústicos registrados de vaquita en ese muestreo. Los símbolos con una equis indican los sitios en que el anclaje no se recuperó. La Zona de Tolerancia Cero se delimita con el polígono de línea quebrada.

En la Figura 10, se incluye en un solo mapa las tasas de detección acústica de vaquita (encuentros/total de esfuerzo por sitio) obtenidas en los dos muestreos y se aprecia que los sitios con las tasas de detección más altas fueron obtenidos en los sitios 16, 7, 7-2 y 7-3 (separados a sólo 200 metros del 7) localizados hacia el área sureste fuera de la ZTC.

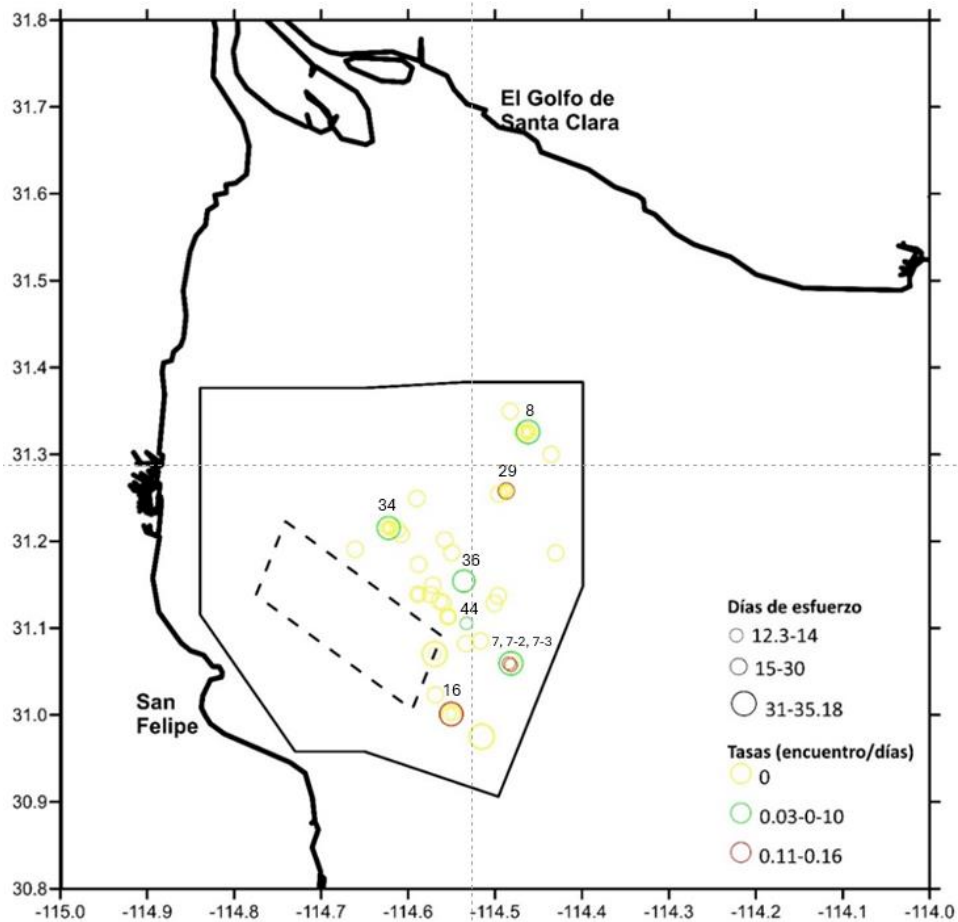


Figura 10. Síntesis de resultados de monitorización acústica durante el muestreo fuera de la ZTC entre el 23 de agosto al 24 de septiembre de 2024. Los sitios de muestreo se muestran con círculos. El tamaño del círculo indica el nivel de esfuerzo, en días, en cada sitio. La tasa de encuentro acústico se indica con el color. Las tasas de detección se muestran en tres rangos. En amarillo son los sitios en que no se detectó actividad acústica de vaquitas, con color verde las tasas de detección entre 0.03 a 0.10 y en rojo en el rango de 0.11 a 0.16. La Zona de Tolerancia Cero se delimita con el polígono de línea quebrada.

4.4. Esfuerzo simultaneo de monitoreos acústicos y distribución de la actividad acústica de vaquita.

Analizamos los datos de los detectores acústicos colocados en los 32 sitios de muestreo del monitoreo acústico regular dentro de la ZTC que se traslaparon con los periodos de muestro del monitoreo fuera de la ZTC. El objetivo de este análisis fue visualizar los encuentros acústicos de la vaquita para determinar la distribución de la vaquita durante el período de estudio. Dado que el muestreo del monitoreo dentro de la ZTC solo ocurrió durante los cortos períodos de las mareas vivas de junio a septiembre, el número de días de muestreo en que los esfuerzos de monitoreo fueron simultaneos fue de 438.33 días (Tabla 3). Los días de esfuerzo fuera de la ZTC fue mayor (991.39) debido a que el esfuerzo de muestreo fue prácticamente continuo en los sitios y a pesar de que los

anclajes con detectores se colocaron en 60 sitios, el promedio de esfuerzo por sitio fue mayor también (Tabla 3).

Tabla 3. Esfuerzo simultáneo de monitoreos acústicos y comparación de esfuerzo y encuentros acústicos por área de estudio (ZTC y fuera de ZTC).

| Área de estudio | Periodos de muestreo | Sitios de muestreo | Días de esfuerzo | Promedio esfuerzo por sitio | Encuentros acústicos | Tasa (encuentros /días) |
|-----------------|--|--------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| ZTC | 23-24 agosto; 02-07 y 16-21 septiembre | 32 | 438.33 | 13.71 | 54 | 0.12 |
| Fuera de ZTC | 23 agosto – 24 septiembre | 60 | 991.39 | 16.52 | 19 | 0.02 |

En total, se registraron 54 encuentros acústicos de vaquitas en la ZTC distribuidos en trece sitios de muestreo y se obtuvo una tasa de detección promedio de 0.12 encuentros/día (Tabla 3 y Tabla 4). La tasa de detección acústica de vaquita fue menor fuera de la ZTC (0.02 encuentros/día).

Tabla 4. Síntesis de resultados de monitorización acústica por sitio de muestreo y agregado total en la ZTC. Para cada sitio se muestra el esfuerzo de muestreo en días, encuentros acústicos y tasa de encuentro promedio (encuentros acústicos / día).

| Sitio de muestreo | Esfuerzo (días) | Encuentros | Tasa/día |
|-------------------|-----------------|------------|----------|
| 1 | 11.00 | 0 | 0.00 |
| 2 | 11.01 | 3 | 0.27 |
| 3 | 11.01 | 0 | 0.00 |
| 4 | 11.00 | 0 | 0.00 |
| 5 | 11.01 | 0 | 0.00 |
| 6 | 10.00 | 0 | 0.00 |
| 7 | 11.00 | 2 | 0.18 |
| 8 | 11.00 | 1 | 0.09 |
| 9 | 11.01 | 1 | 0.09 |
| 10 | 11.01 | 1 | 0.09 |
| 11 | 10.99 | 0 | 0.00 |
| 12 | 11.00 | 4 | 0.36 |

| | | | |
|--------------|---------------|-----------|-------------|
| 13 | 10.98 | 7 | 0.64 |
| 14 | 11.03 | 0 | 0.00 |
| 15 | 10.98 | 0 | 0.00 |
| 16 | 10.99 | 0 | 0.00 |
| 18 | 14.77 | 7 | 0.47 |
| 20 | 33.75 | 0 | 0.00 |
| 22 | 6.01 | 0 | 0.00 |
| 23 | 11.02 | 14 | 1.27 |
| 24 | 25.75 | 1 | 0.04 |
| 26 | 34.18 | 0 | 0.00 |
| 28 | 9.78 | 10 | 1.02 |
| 30 | 11.02 | 0 | 0.00 |
| 32 | 11.09 | 0 | 0.00 |
| 34 | 23.80 | 0 | 0.00 |
| 38 | 14.79 | 1 | 0.07 |
| 42 | 11.06 | 0 | 0.00 |
| 44 | 10.99 | 2 | 0.18 |
| 47 | 24.78 | 0 | 0.00 |
| 48 | 10.04 | 0 | 0.00 |
| 49 | 11.00 | 0 | 0.00 |
| Total | 438.83 | 54 | 0.12 |

Los encuentros acústicos de vaquita en la ZTC se distribuyeron principalmente en el centro y hacia la porción noroeste de la ZTC (Figura 11) como en años anteriores y como en los esfuerzos acústicos para los Cruceros de Observación de Vaquita 2023 y 2024.

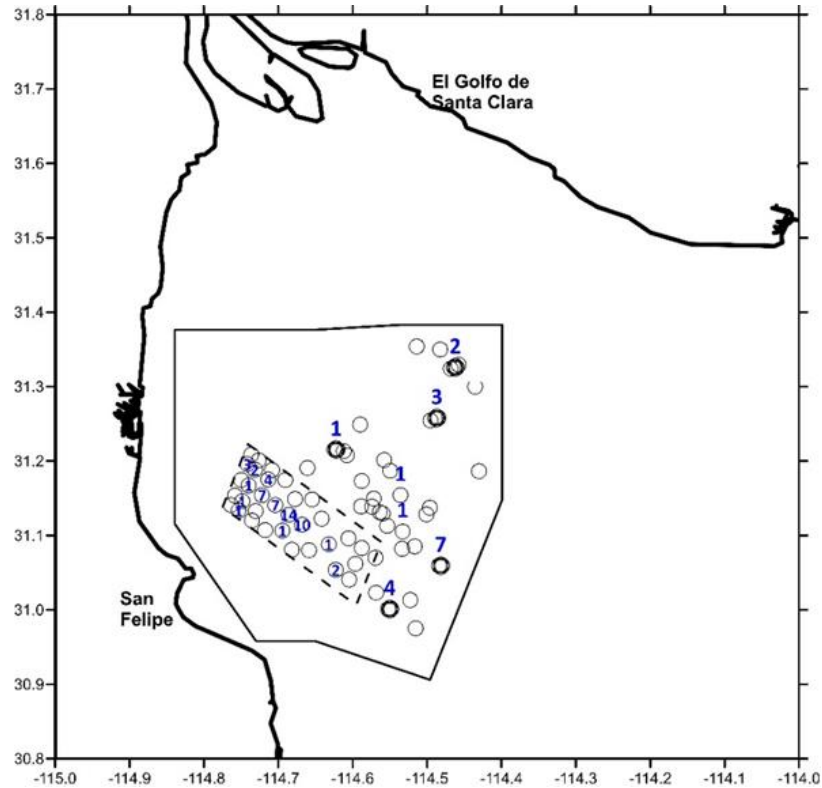


Figura 11. Distribución de los encuentros acústicos de vaquita registrados en la ZTC y fuera de la ZTC. Los círculos en el mapa muestran los sitios de muestreo. Un número en color azul arriba de los círculos indica el número de encuentros acústicos registrados de vaquita. La Zona de Tolerancia Cero se delimita con el polígono de línea quebrada.

Las tasas de detección acústica de vaquita fueron mayores en la ZTC que fuera de la ZTC (Figura 12), lo que refleja la importancia de esta área para el hábitat de la vaquita. Aunque fuera de la ZTC las tasas de detección de vaquita fueron bajas, el resultado de haber detectado vaquitas en esas áreas permite inferir sobre la distribución actual de vaquita en el Área de Refugio para la Protección de la Vaquita.

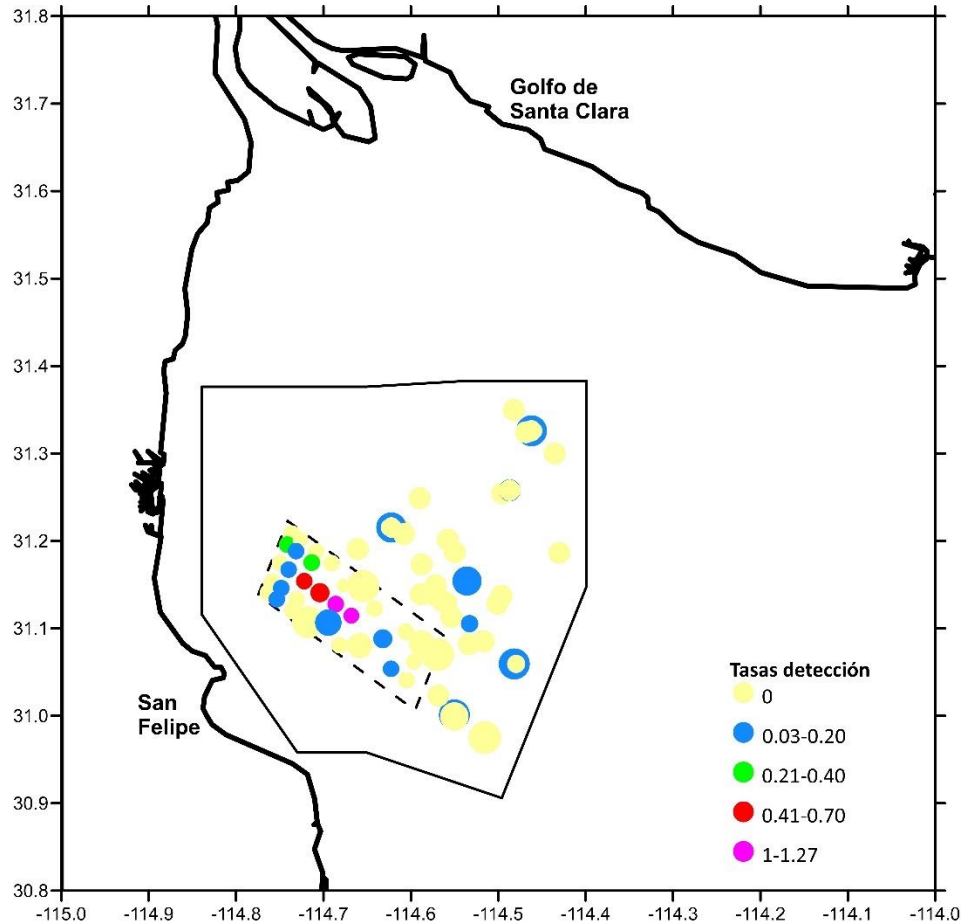


Figura 12. Síntesis de resultados de monitorización acústica durante el muestreo en la ZTC y fuera de la ZTC entre el 23 de agosto al 24 de septiembre de 2024. Los sitios de muestreo se muestran con círculos. El tamaño del círculo indica el nivel de esfuerzo, en días, en cada sitio. Los rangos obtenidos de las tasas de encuentro acústico se indica con el color de los círculos. La Zona de Tolerancia Cero se delimita con el polígono de línea quebrada.

Por último, es importante mencionar que se revisó el tiempo en que se registraron los encuentros acústicos de vaquita para determinar el registro simultaneo de grupos diferentes de vaquitas. No hubo traslape temporal en los registros de las detecciones de vaquita, pero en los sitios de muestreo 7-2 y 7-3 (separados solamente 200 metros) se registraron vaquitas con una diferencia de alrededor de 1 y 9 minutos en dos encuentros acústicos por lo que la probabilidad es muy poca de que detecciones acústicas fueran de diferentes grupos de vaquitas

4.5. Reunión con el Panel Internacional de Expertos de Vaquita

El 31 de octubre se realizó reunión virtual con el Panel Internacional de Expertos de Vaquita. En la reunión, el Dr. Cárdenas Hinojosa del Grupo de Investigación y Conservación de Mamíferos Marinos de la CONANP presentó los resultados obtenidos en el monitoreo acústico extendido con el objetivo de evaluar el diseño de muestreo implementado y de discutir y llegar a consenso sobre un nuevo diseño de muestreo (basado en los resultados) que se pueda aplicar en la temporada baja de pesca en 2025 para continuar colectando datos científicos que permita determinar la distribución actual de vaquita basada en monitoreo acústico pasivo.

Se consideró que el método usado para seleccionar los sitios de muestreo basado en registros previos acústicos y visuales de vaquita fue adecuado ya que se logró detectar acústicamente a la vaquita. La presencia de vaquita fuera de la ZTC se consideró una muy buena noticia debido a que conforme la población disminuyó se documentó también que la distribución de la actividad acústica de vaquita se redujo al área conocida actualmente como ZTC (Jaramillo-Legorreta *et. al.*, 2019). Para continuar colectando datos acústicos que permitan conocer si las vaquitas están reocupando su área de distribución en el Refugio de la Vaquita se considera crucial que el monitoreo acústico extendido continúe la siguiente temporada de muestreo. Al respecto, los miembros del Panel de Expertos estuvieron de acuerdo en que se implemente el mismo diseño de muestreo en 2025 pero por un periodo de muestreo y esfuerzo mayor al realizado en 2024 para obtener más información sobre la distribución actual de la vaquita y las áreas que frecuenta con mayor regularidad en el Refugio de la Vaquita. Sin embargo, se consideró que se necesita buscar alternativas a los dispositivos Resqunit ya que su mecanismo de liberación falló en múltiples ocasiones y es muy importante contar con un dispositivo que permita colocar los anclajes con detectores sin boya en superficie fuera de la ZTC. Por lo anterior, en la reunión la Dra. Barbara Taylor y el Dr. Jay Barlow presentaron una alternativa a los liberadores Resqunit. Indicaron que en San Diego esta la compañía Subseasonics que fabrica liberadores acústicos económicos que son usados en pesquerías y en resumen los dispositivos se componen principalmente por una computadora conectado a un cable con un transductor para emitir la señal acústica al receptor (con boyas) en el fondo del mar para liberarse de un ancla pequeña. De esta manera, el cabo del anclaje del detector se pudiera amarrar al receptor para recuperarlo. El Dr. Nick Tregenza también indicó que en su compañía Chelonia Limited están desarrollando un liberador acústico barato que podrá adaptarse al detector acústico F-POD que tendría la función de liberarse en un tiempo programado. Debido a que el F-POD tiene flotabilidad positiva este pudiera ser recuperado junto con el anclaje en la superficie del mar.

Los miembros del Panel de Expertos sugirieron que cualquier tipo de dispositivo liberador tendría que ser probado antes de implementarlo en monitoreo acústico extendido y también se acordó que se pudiera conseguir financiamiento externo para adquirir estos dispositivos en caso de que funcionarán correctamente en las pruebas. Por lo anterior, la Dra. Taylor indicó que la compañía Subseasonics ponía de manera

inmediata la disponibilidad de manera gratuita de sus sistemas liberadores para ser probados en las condiciones del Alto Golfo de California.

4.6 Conclusiones y recomendaciones.

1. Resultados del monitoreo acústico.

En el último muestreo realizado en 2018 por el Programa de Monitoreo Acústico de Vaquita dentro del Refugio de la Vaquita, se detectaron individuos únicamente en la porción suroeste, en el área actualmente conocida como la Zona de Tolerancia Cero (ZTC). Sin embargo, la detección acústica de vaquitas fuera de la ZTC en 2024, a pesar de que el esfuerzo de muestreo se limitó a un solo mes y de la baja densidad poblacional, demuestra el éxito del monitoreo acústico extendido. Estos resultados aportan evidencia valiosa sobre la distribución actual de la especie dentro del Refugio de la Vaquita.

2. Recomendaciones para el monitoreo acústico

Ampliación del monitoreo acústico. Es fundamental continuar con la investigación acústica extendida durante la temporada baja de pesca. Esto permitirá recopilar datos adicionales para determinar con mayor precisión y robustez científica la distribución actual de la vaquita y las áreas que frecuenta con mayor regularidad, información clave para diseñar estrategias de protección y conservación.

Planificación del muestreo 2025. Se recomienda iniciar la temporada de monitoreo acústico en mayo de 2025, tanto dentro como fuera de la ZTC. Este mes ofrece condiciones climáticas óptimas para llevar a cabo tanto el monitoreo acústico como los cruceros de observación visual de manera integrada. Los resultados del esfuerzo acústico en mayo contribuirían al diseño de muestreo de los cruceros para incrementar la probabilidad de detectar, avistar y fotografiar vaquitas en áreas fuera de la ZTC, proporcionando información crucial para estimar el tamaño mínimo poblacional en el Refugio de la Vaquita.

3. Alternativas para anclajes sumergidos.

Se sugiere buscar una alternativa a los liberadores Resqunit, que presentaron múltiples fallas durante su uso. Es crucial disponer de una solución que permita la instalación de anclajes sumergidos sin boya en la superficie, fuera de la ZTC, para minimizar la interacción con actividades pesqueras para evitar la pérdida de los detectores acústicos.

Estas recomendaciones buscan optimizar los esfuerzos de monitoreo y conservación, mejorando la calidad de la información científica disponible para apoyar la recuperación de esta especie críticamente amenazada.

Literatura citada

- Cárdenas-Hinojosa, G., Jaramillo-Legorreta, A., Bonilla-Garzon, A., Nieto-García, E., Taylor, B., Mesnick, S., Henry, A., Patiño-Sevillano, N., Rojas-Bracho, L., Booth, C., y L. Thomas. 2024. Reporte Final de Crucero de Observación de Vaquita 2024. CONANP.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2005. Acuerdo mediante el cual se establece el área de refugio para la protección de la vaquita (*Phocoena sinus*). 8 de septiembre de 2005.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2017. Acuerdo por el que se restringe la navegación, las actividades de pesca y de turismo náutico, en el polígono indicado dentro de la Región conocida como Alto Golfo de California, a efecto de realizar acciones de preservación de la vaquita marina (*Phocoena sinus*). 11 de octubre de 2017.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2020. Acuerdo por el que se regulan artes, sistemas, métodos, técnicas y horarios para la realización de actividades de pesca con embarcaciones menores y mayores en Zonas Marinas Mexicanas en el Norte del Golfo de California y se establecen sitios de desembarque, así como el uso de sistemas de monitoreo para tales embarcaciones. 24 de septiembre de 2020
- 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., Cárdenas-Hinojosa, G., Nieto-García, E., Rojas-Bracho, L., Thomas, L., Ver Hoef, J., Tregenza, N. 2019. Decline towards extinction of Mexico's vaquita porpoise (*Phocoena sinus*). *Royal Society Open Science*, 6, 190598. DOI: 10.1098/rsos.190598
- Rojas-Bracho, L., Reeves, R.R., & Jaramillo-Legorreta, A. (2006). Conservation of the vaquita *Phocoena sinus*. *Mammal Review*, 36(3), 179-216. DOI: 10.1111/j.1365-2907.2006.00088.x
- SEMARNAT. 2008. Programa de Acción para la Conservación de la Especie: Vaquita. 106p. Recuperado el 08/02/2020 de: <https://www.gob.mx/conanp/documentos/programa-de-accion-para-la-conservacion-de-la-especie-vaquita-phocoena-sinus>
- Taylor, B.L., L. Rojas-Bracho, J. Moore, A. Jaramillo-Legorreta, J. Ver Hoef, G. Cardenas-Hinojosa, E. Nieto-Garcia, J. Barlow, T. Gerrodette, N. Tregenza, L. Thomas, and P.S. Hammond. 2016. Extinction is imminent for Mexico's endemic porpoise unless fishery bycatch is eliminated. *Conservation Letters*. doi: 10.1111/conl.12331.

Vaquita acoustic survey 2024 - proposed survey design v3

Len Thomas + Vaquita Expert Panel

2024-08-14

History

- v1 12th July 2024. Initial balanced acceptance sampling design on a 1x1km grid, with 30 locations per deployment.
- v2 17th July 2024. Switched to a 200m grid on suggestion from Barb Taylor.
- v3 14th August 2024. Final version for deployment - went to 35 locations per deployment.

Introduction

This design arises from a planning meeting held on 2nd July 2024, and subsequent discussions. The objective of the passive acoustic monitoring (PAM) survey is to determine whether vaquita may be present outside the area of intensive visual surveying in 2024, and also outside of the zero tolerance area (ZTA) which will be subject to a separate acoustic survey.

For design purposes, we assume there are 35 acoustic sensors available and that they will be redeployed at least once. In reality there may be more than 35 sensors available and they may be redeployed up to 4 times - however the sampling locations of the 3rd and 4th deployment will certainly be dependent on the findings of the earlier deployments (and adaptive sampling design). It may be that the location of the 2nd deployment is also dependent on the 1st, but for the purposes of this document we will produce a set of 70 sample locations that can be used to make two deployments of 35 sample locations.

In selecting locations, we use the following guidance: - sampling locations should be outside the ZTA but within the vaquita refuge area; - sampling locations should be very close to places where vaquita have previously been seen (during sightings surveys that took place in 1993, 1997, 2008 and 2015) or heard (during acoustic surveys that took place in 2011-2018) ; - sampling locations for each deployment should be distributed as evenly as possible over the area of interest - locations should be chosen objectively using some element of randomization

After a second round of consultation, we decided to place sample locations at randomly selected sites on a 200m grid covering the refuge area, with probability of selecting a grid cell being a function of previous visual and acoustic detections and using a spatially balanced design algorithm. The grid spacing is a compromise between wanting to have sample locations close to previous detections (because we suspect habitat preference of vaquita varies strongly over small spatial scales) vs wanting to have sensors far enough apart that they are not redundant. The computer code (in R) that produced this design is fully automated and other spacings could readily be used if desired.

Sightings

We read in the locations of all sightings from the 1993, 1997, 2008 and 2015 surveys and created a 1x1 km raster covering these. (One exception was that we removed the first sighting from 1993 since it was very far away from the refuge and from any subsequent sighting.) We calculated the number of sightings in each grid cell – this ranged from 0 to 5. We set counts for any rasters inside the ZTA or outside the refuge to 0, because this survey will not cover those areas. A map showing the sighting locations and the raster grid cell counts is given in Figure 1.

Acoustic detections

The number of acoustic detections declined greatly during the years of the PAM surveys, and also largely contracted into the area now covered by the ZTA (see Figure 4 of Jaramillo-Legorreta et al. 2019 and note the values there are on a logarithmic scale). Our interest here is in determining whether vaquita are once again occurring outside the ZTA, so we base sampling probabilities for the new design on the sum of detections across all years of the acoustic survey. Specifically, we calculated acoustic encounter rate for each sample location as the total number of clicks detected at that location across all years of monitoring divided by the total number of days of monitoring. We refer to this metric as clicks per day, and the values are shown on Figure 2.

The pattern is dominated by one site that had a high acoustic encounter rate, so we show the same data in Figure 3 on the log scale (natural log of the clicks per day + 1).

Sampling design

We elected to use a balanced acceptance sampling (BAS) design (Foster et al. 2017; van Dam-Bates et al. 2018). This class of random design allows specification of the target inclusion probability of each potential sample location while also spreading the sampling over the study area. Samples are generated in order and any sequential subset is spatially balanced. Hence if we generate 60 sampling locations and then take the first 30 for deployment 1 and the second

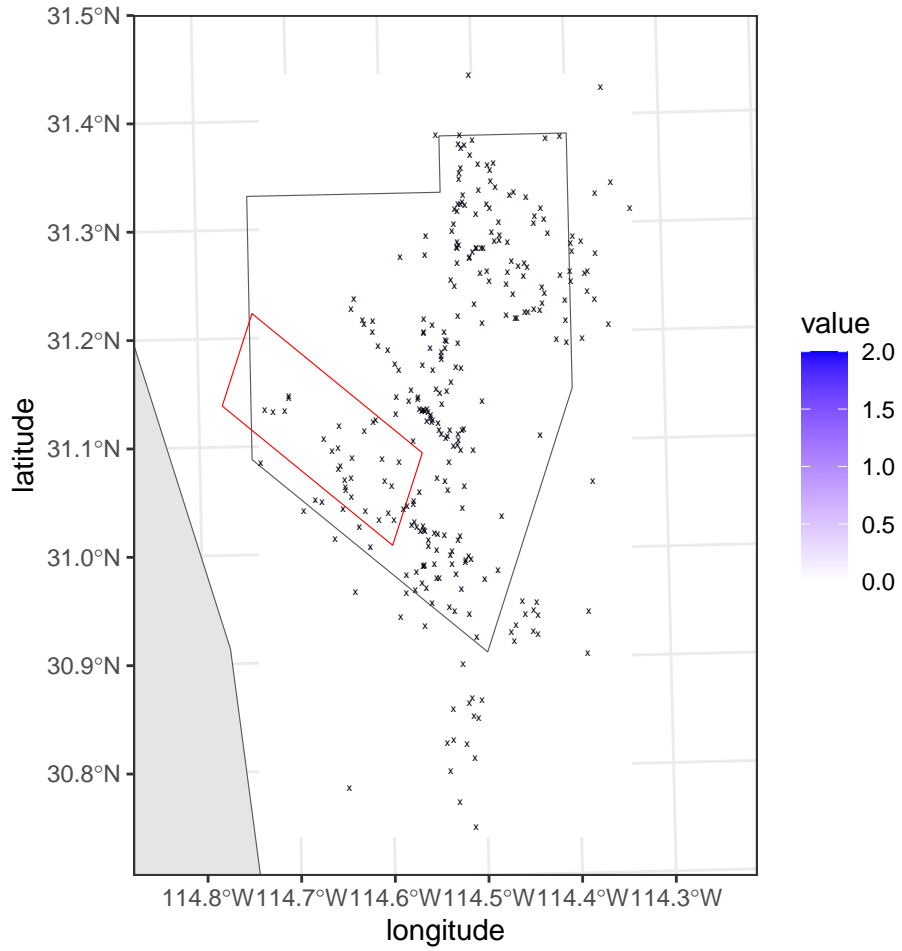


Figure 1: Sighting locations (crosses) and counts of number of sightings per raster grid square (colors) Note that only sightings within the vaquita refuge but outside the ZTA contributed to the counts.

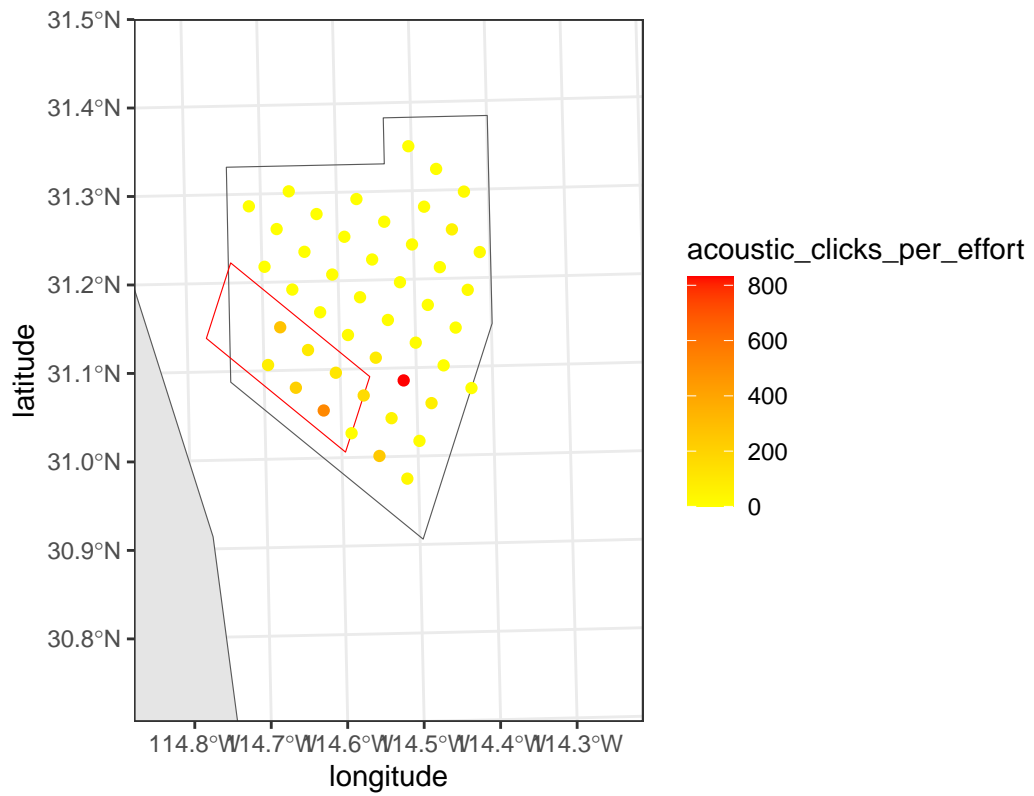


Figure 2: Acoustic click detections per day at the PAM sampling locations.

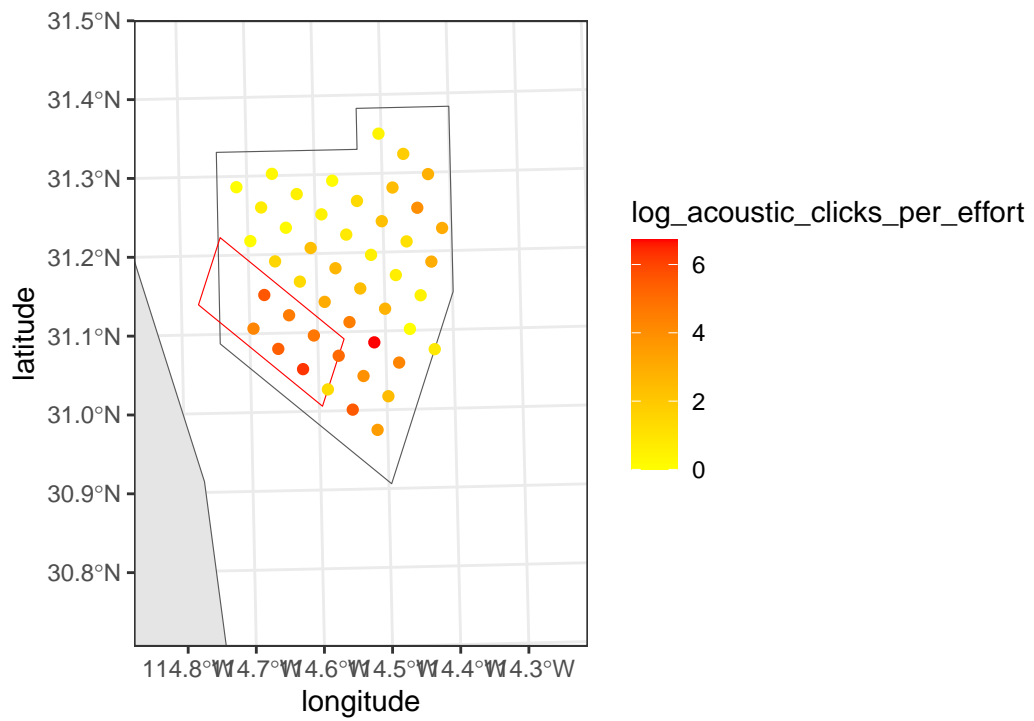


Figure 3: Log of acoustic click detections per day at the PAM sampling locations.

30 for deployment 2 we have 2 spatially balanced samples. If deployment 2 uses an adaptive design instead then we still had a spatially balanced sample for deployment 1.

For the visual detections we set the inclusion probabilities as proportional to the number of detections per raster cell. For the acoustic detections, it would not be practical to set the inclusion probability as directly proportional to the acoustic encounter rate as 2 of the 46 locations accounted for almost half of all detections and so the inclusion probabilities would be too unbalanced to generate a valid design realization. Instead we elected to use the natural log of the (clicks per day + 1) – this still gave higher inclusion probability to sites with more detections and gave an inclusion probability of 0 for sites with no detections.

One remaining decision is the relative weight to allocate to the visual vs acoustic detection locations. Here, we elected to allocate equal weight to each.

A single random realization of the proposed sample scheme, with 70 samples, is shown in Figure 4, together with information used to inform the inclusion probabilities. The sample locations alone for the first 35 samples (deployment 1) and second 35 samples (deployment 2) are shown in Figure 5. The locations are also saved in the file `sample_locations.csv`.

Literature cited

- van Dam-Bates, P., O. Gansell and B. Robertson. 2019. Using balanced acceptance sampling as a master sample for environmental surveys. *Methods in Ecology and Evolution* 9: 1718-1726.
- Foster, S.D., G.R. Hosack, E. Lawrence, R. Pzrselawski, et al. 2017. Spatially balanced designs that incorporate legacy sites. *Methods in Ecology and Evolution* 8: 1433-1442.
- Jaramillo-Legorreta, A.M., G. Cardenas-Hinojosa, E. Nieto-Garcia, L. Rojas-Bracho, L. Thomas, J. M. Ver Hoef, J. Moore, B. Taylor, J. Barlow and N. Tregenza. 2019. Decline towards extinction of Mexico's vaquita porpoise (*Phocoena sinus*). *Royal Society Open Science*. doi: 10.1098/rsos.190598

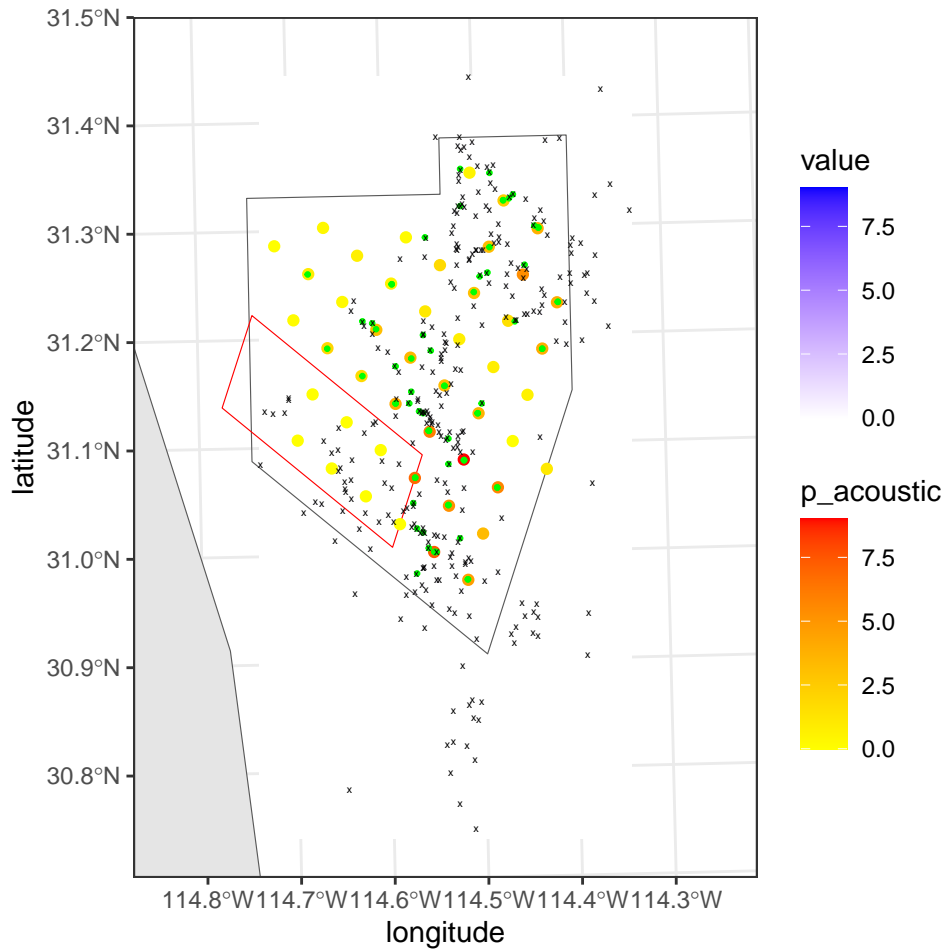


Figure 4: Proposed sample locations (green dots). Also shown is the logged acoustic detection rates (yellow-orange dots), the sighting locations (crosses) and number of visual detections per raster cell (white to blue).

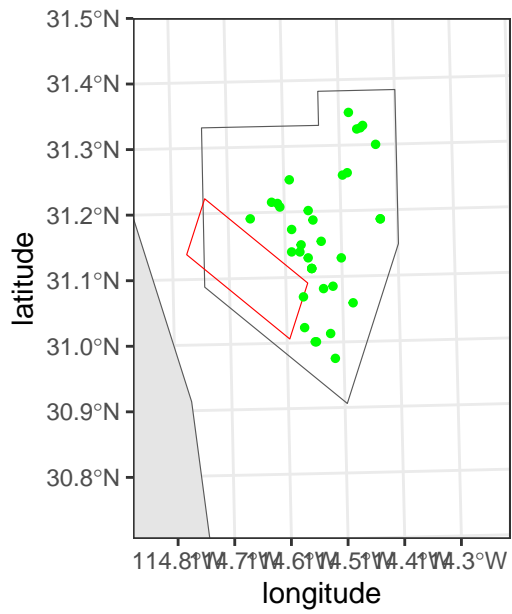
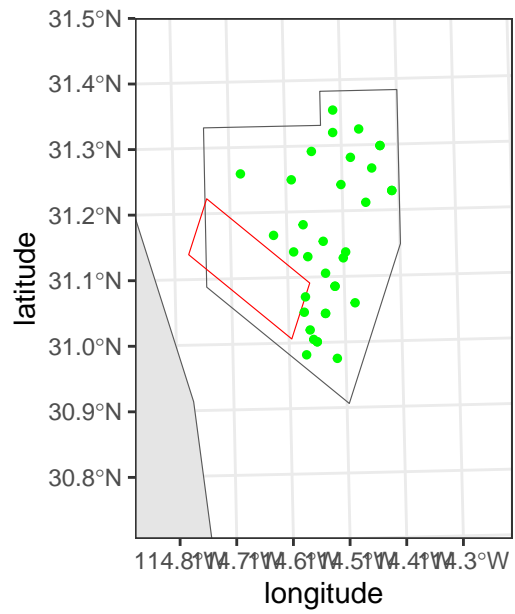
A**B**

Figure 5: Proposed sample locations (green dots) for (A) deployment 1 and (B) deployment 2.