Reporte de Mediciones Acústicas en Laguna San Ignacio
Programa Científico del Ecosistema Laguna San Ignacio (PCELSI)
Temporada Invierno, 2010

Melania Guerra, Aaron M. Thode, Dawn Grebner y Diana Ponce
Scripps Institution of Oceanography (SIO)
Anaid I. López
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

INTRODUCCION

El Equipo de Acústica del PCELSI se encuentra compuesto por científicos del Scripps Institution of Oceanography (SIO) en colaboración con investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recolectando datos acústicos e información auxiliar cada temporada de invierno de los últimos 5 años, nuestro estudio desea satisfacer los siguientes objetivos a largo plazo:

1) Demonstrar la habilidad de monitorear cambios en poblaciones animales mediante la medición única de sonidos, lo cual permitiría observar los cambios en presencia de mamíferos marinos en la costa de Baja California con mayor resolución que utilizando solo métodos visuales como en la actualidad.

2) Demonstrar la habilidad de localizar y rastrear pasivamente en dos dimensiones (radio y ángulo) a las ballenas que vocalizan. Rastrear es importante para poder asociar el comportamiento de un individuo particular con su actividad vocal y luego traducir los conteos crudos a números absolutos de animales presentes. Esto sería el primer paso en generar un exitoso "censo acústico". La demostración de esta técnica permitiría también la generación de "mapas" de la distribución de llamadas en la laguna como función del tiempo y talvez esto podría ser luego correlacionado con la actividad turística. La habilidad de demostrar rastreo 2D utilizando instrumentos acústicos autónomos no-sincronizados es la meta principal del doctorado de Melania en SIO.

3) Establecer si existe alguna correlación estadística entre tipos específicos de vocalizaciones y grupos demográficos de ballena gris (solitarios, madres, crías). Marcas que graban sonido e información acústica son colocadas con copas de succión sobre ballenas grises para obtener información sobre su repertorio vocal y tasas de vocalización, al mismo tiempo que son seguidas visualmente por investigadores en la superficie, para conocer su trayectoria.

4) Medir la respuesta vocal y de comportamiento por parte de la ballena gris ante la presencia de tráfico de botes, mediante la grabación de movimientos corporales, vocalizaciones y ruido ambiente en una marca puesta sobre el animal

5) Explorar novedosos métodos acústicos de estimar el tamaño de una ballena, por medio del análisis de la estructura de los formantes creados por la respiración del animal, los cuales son documentados en la marca puesta sobre él. Estos formantes podrían estar relacionados con la longitud del tracto vocal y posiblemente con el tamaño absoluto de la ballena.

6) Cuantificar la contribución del viento al ruido ambiental submarino, para crear un mejor modelo del entorno acústico base de la laguna. Esto es especialmente importante dada la propuesta de construir un camino asfaltado entre San Ignacio y la Laguna, mejorando el acceso y probablemente aumentando el volumen de turistas.

7) Educar a los estudiantes e investigadores de UNAM/UABCS sobre métodos y técnicas de estudio acústico: cómo programar, colocar, recobrar y analizar datos de instrumentos acústicos autónomos y marcas.

TEMPORADA 2010

El Equipo de Acústica realizó dos viajes a San Ignacio durante la temporada de invierno 2010: el primero para colocar estaciones sumergidas de Monitoreo de Largo Plazo (MLP) en el fondo de la laguna y una segunda, más extensa expedición, para marcar ballenas.

Las estudiantes de doctorado de SIO, Melania Guerra y Delphine Mathias arribaron al campamento Kuyimá Ecoturismo el 5 de Febrero y unieron fuerzas con la estudiante de maestría de la UNAM, Anaid López. La logística inicial involucró tomar un inventario de los intrumentos y organizar el alquiler de pangas con los campamentos locales. A partir del 6 de Febrero, el equipo condujo la construcción de dos arreglos horizontales de tres elementos cada uno y los colocaron bajo el agua. También se colocaron dos estaciones meteorológicas en Punta Piedra (hacia la boca de la laguna) y en el campamento Kuyimá. Melania y Delphine dejaron Laguna San Ignacio el 8 de Febrero, tras cumplir con todos los objetivos planeados para la primera parte del trabajo de campo.

Una segunda visita se llevó a cabo entre el 21 de Febrero y el 6 de Marzo. Las estaciones submarinas MLP se recuperaron para reemplazar las baterías y salvar una copia de los datos recopilados hasta la fecha. Una vez que se volvieron a colocar las estaciones MLP bajo el agua, el equipo inició la actividad de marcamiento acústico. Trabajar en cercana colaboración con otros estudiantes de la UABCS y el equipo de Ballena Gris fue fundamental en esta etapa, pues proveyeron consejos de navegación, así como datos de los censos visuales. Melania y Delphine cerraron la temporada, regresando a San Diego con todos los instrumentos e invaluables datos recopilados.

INSTRUMENTACION Y METODOLOGIA

Construir la base de datos necesaria para explorar los objetivos propuestos require de tres tecnologías:

1) Instrumentos acústicos autónomos para estaciones MLP
2) Marcas:
    a. Bio-Probe (acústica)
    b. Acousonde (acústica)
    c. MK-10 (satélite)
3) Sensores meteorológicos:
    a. estación fija de medición de viento
    b. estación fija de medición de temperatura
    c. sensores submarinos de temperatura del agua
4) GPS para documentar tránsito de pangas

Aquellos instrumentos en letras *itálicas* se utilizaron por primera vez en el 2010. Las características de todos los equipos se detallan a continuación:

1. Estaciones de Monitoreo a Largo Plazo (MLP):

Los instrumentos acústicos autónomos (Figura 1) permiten la grabación extendida y contínua de sonidos, utilizando una frecuencia de muestreo de 12500Hz. Adicionalmente, requieren de mínimos cuidados de mantenimiento durante la temporada. A inicios de Febrero del 2010, dos estaciones/arreglos de 3 elementos fueron desplegados para monitorear las tendencias en la tasa de producción de llamadas de la ballena gris en Laguna San Ignacio, así como para observar los cambios que ocurren en el ruido ambiental a lo largo de plazos extendidos.

Figura 1.
Instrumento acústico autónomo (con hidrófono) atado a la línea del arreglo

Las estaciones MLP son construidas uniendo una secuencia de instrumentos acústicos autónomos a una cuerda de nylon de 100m de longitud (Figura 2). Esta cuerda se asegura al sedimento en el fondo de la laguna por medio de dos anclas tipo Grapnel o granpin, generosamente prestadas por los pangueros y/o pescadores locales. Asimismo,

cada uno de los instrumentos autónomos es pesado hacia el fondo con plomos de buceo (Figura 1). Esta configuración no deja marca alguna en la superficie y es recobrada ”pescando” con un granpin la línea en el fondo, siguiendo puntos de GPS tomados durante el depliegue. En el caso de que fuertes mareas o corrientes deplazaran el arreglo de su ubicación original, un transmisor acústico en el arreglo puede ser interrogado desde la superficie y regresa información acerca de su rango.

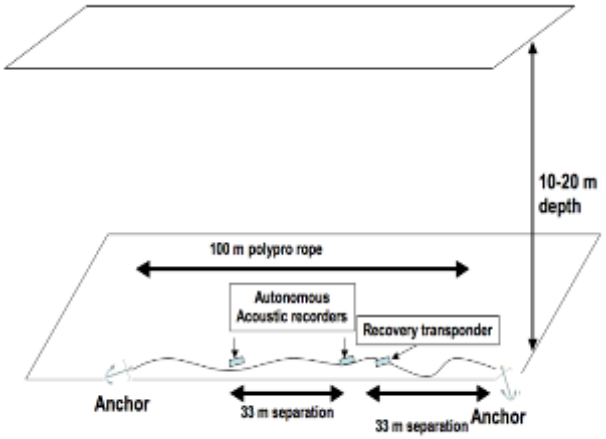

Figure 2.
Diagrama de estación de grabación acústica submarina de MLP

En el 2010, dos estaciones MLP fueron colocadas en la zona de la boca, hacia el sur de la laguna, dentro del área de observación de ballenas (Figura 3). La estación MPL del Oeste, se denominó “Estación MPL Punta Piedra” (PP_MLP) y su ubicación se mantuvo compatible con la de previos años de nuestra investigación, así como con la ubicación donde Marilyn Dahlheim tomó sus mediciones históricas entre 1982-1984. PP_MLP fue un arreglo horizontal de dos elementos. El arreglo submario hacia la costa Norte de la boca fue denominado AM_MLP. Esta ubicación fue reconfigurada a mediados de la temporada, cuando los instrumentos fueron recobrados y re-colocados en un mejor terreno cercano, siguiendo las recomendaciones de los pangueros locales.

El mayor reto de este proyecto es el de encontrar mediciones independientes para sincronizar y calibrar los elementos independientes de los arreglos y para verificar las posiciones resultantes. La primera estrategia es utilizar el ruido del motor de las pangas para rastrear su ubicación y comparar los resultados con los datos de GPS tomados a bordo del bote. El segundo método es marcar ballenas y seguirlas sobre la superficie. Esta metodología, propuesta en detalle a continuación, incorpora el segundo tipo de tecnología: las marcas Bprobe. Una variante de esta técnica es también colocar una marca satelital sobre la ballena, que toma puntos de GPS cada vez que ésta sale a la superficie a respirar.

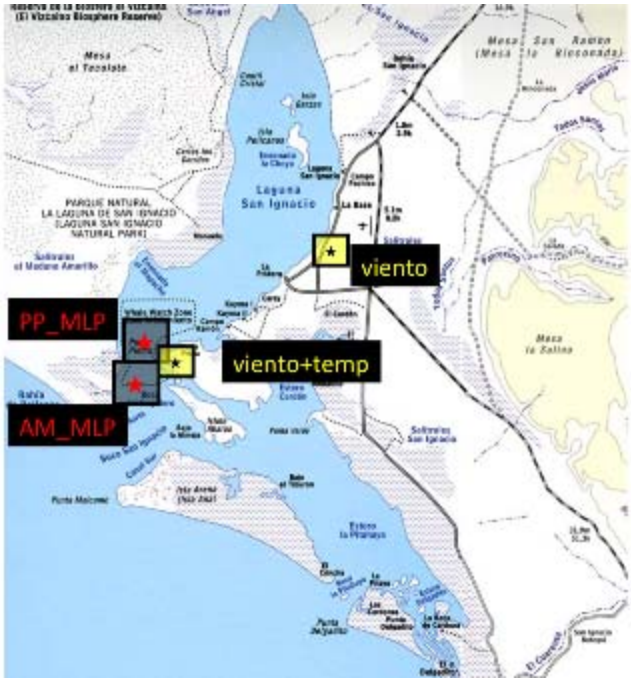

Figura 3.
Mapa de la Laguna y ubicación de la instrumentación para la temporada 2010

2. Marcamiento con marcas acústicas Bio-Probe y Acousonde y marca de GPS MK-10

Durante la semana del 21 de Febrero y 6 de Marzo, una vez que los arreglos acústicos submarinos estaban en posición bajo el agua, nuestro equipo se dedicó a marcar ballenas grises con el instrumento llamado Bio-probe. Este aparato, diseñado y construido por Bill Burgess (www.greeneridge.com), graba información acústica, datos de presión (por lo tanto, profundidad) y orientación del animal. Mediante copas de succión (o chupones) se coloca sobre la piel de la ballena. Otras partes del conjunto son: la unidad de flotación y un transmisor de radio-frecuencia que permite seguir al animal, ya que envía una señal cuando éste sale a la superficie. También es así como se recupera la marca, pues para descargar la información, hay que recuperar el instrumento.

Esta novedosa tecnología no había sido nunca probada en ballenas grises, pero en los Estados Unidos, el grupo Cascadia Research Collective ha marcado exitosamente otras especies de ballenas como: azules, jorobadas y cachalotes. Dada la naturaleza amistosa de la ballena gris en la Laguna y lo acostumbradas que están a tener interacciones cercanas con las personas, aproximarnos a ellas fue más fácil que con las otras especies. Si el individuo no mostraba señales de estrés por el acercamiento, la marca fue colocada utilizando un poste de 5 metros. Una secuencia del procedimiento de marcamiento se muestra en las figuras 4, 5 y 6.

Rastreando el transmisor de radio-frecuencia se pueden establecer ángulos relativos al bote, y así podemos obtener ubicaciones aproximadas de la ballena, lo cual proveería una verificación independiente del método de ratreo acústico. La marca permite también, mediante la información de los dos acelerómetros, recopilar datos estadísticos acerca de los comportamientos bajo las cuales realizan ciertas llamadas y sobre cómo ellas reaccionan ante el circundante ruido de embarcaciones.

La tripulación en la panga incluyó: un panguero, una persona a cargo de marcar, una persona tomando notas y puntos de GPS, una persona sosteniendo la antena y un fotógrafo (la posición de la marca sobre el animal se usa para calibrar los datos de aceleración). La ballena marcada fue seguida por nuestra embarcación, por lo que generalmente, no más de dos ballenas se marcaron a la vez.

Figura 4.
Montaje completo de una marca con la unidad flotante (color naranja) y copas de succión (círculos blancos) colocada al final del poste de despliegue.

Figura 5.
Despliege de una marca acústica sobre el flanco derecho de una ballena gris adulta.

Figura 6.
Marca acústica Bio-probe sobre una ballena gris adulta.

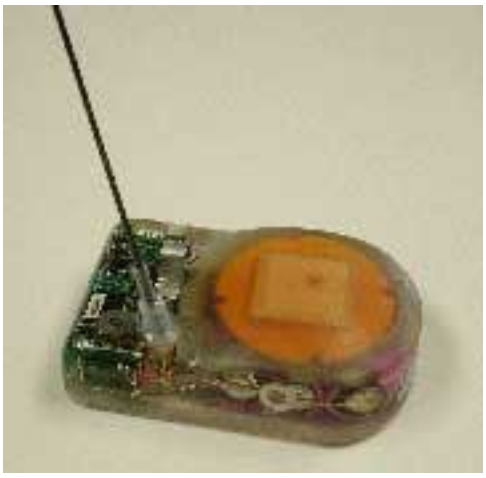

Figura 7. Marca satelital de GPS MK-10

Por primera vez, nuestro equipo probó la marca satelital MK-10 construida por Wildlife Computers, la cual es capaz de transmitir señales de localización en los sistemas *ARGOS* y GPS. Además, esta configuración archiva información sobre presión (=profundidad), temperatura y nivel de luz, así como diferencia entre condiciones de seco/mojado.

Durante la temporada 2010 en Laguna San Ignacio, esta marca fue exitosamente colocada en combinación con la marca acústica Bprobe sobre la misma ballena. Este evento podría marcar la primera ocasión en que se marca a una ballena gris con un instrumento satelital y uno acústico simultáneamente.

3. Sensores meteorológicos: viento, temperatura del aire y temperatura del agua

El clima ha sido identificado como una gran fuente de ruidos ambientales, (por ejemplo: formación de olas y por ende, de burbujas que crean ruido submarino). Por lo tanto, instalamos dos estaciones meteorológicas (sensor: HOBO S-WCA_M003) que miden la dirección y velocidad del viento. Dichos instrumentos se colocaron en los terrenos de los campamentos Kuyimá Ecoturismo y Baja Discovery en Punta Piedra (Figura 3). Los datos recopilados de esta forma, serán investigados para estudiar la posible corelación entre el ruido ambiental submarino y la velocidad del viento. De existir esta correlación, se estudiará si la dirección del viento puede ser inferida mediante análisis más detallados del sonido bajo el agua.

La estación meteorológica de Punta Piedra también contiene un sensor de temperatura del aire (modelo: HOBO S-TMB-M002), así que se dispondrá con una serie de tiempo de esta variable también.

Figura 8.
Estación meteorológica HOBO midiendo dirección y velocidad del viento en Punta Piedra

Una segunda variable meteorológica que afecta la propagación acústica bajo el agua es la temperatura, pues ella determina la velocidad del sonido. El sensor llamado Stowaway "Tidbit" está diseñado para medir y documentar la temperatura del agua, protegido por un plástico contra-agua que tolera altas presiones (hasta 300m). El sensor tiene además batería para una vida útil de 5 años y una luz LED para monitorear su apropiado funcionamiento (Figura 9). Los sensores "Tidbits" fueron colocados en las cuerdas de ambas estaciones de MLP, grabando la temperatura del agua en el fondo a lo largo de un plazo de varias semanas consecutivas.

Figura 9.
Sensor "Tidbits" - Medidor de temperatura del agua

4. Unidades GPS para documentar el tránsito de las pangas

Por primera vez este año, cinco pangas de turistas fueron equipadas con unidades de GPS Garmin. La información de su tránsito diario por la laguna servirá como una fuente conocida más que genera ruido ambiental y se podrá localizar mediante el sistema de arreglos submarinos como un método para corroborar esta técnica de localización. También existe la posibilidad de asociar las ubicaciones de los sonidos de las pangas con los datos recobrados por las marcas acústicas, proveyendo respuestas sobre cuánto se propaga un sonido en la laguna y a qué rango horizontal reaccionan las ballenas ante el paso de los botes.

BASE DE DATOS 2009

Generosamente, los miembros del Equipo de Ballena Gris del PCELSI, dieron acceso a los datos de sus censos visuales. La Figura 10 presenta los resultados de los conteos de ballena gris adulta durante la temporada 2010 (solitarios vs. madre/cría), mientras que la Figura 11 grafica resultados de los conteos en diferentes zonas de la laguna (codificados en curvas de distintos colores). Las líneas punteadas verticales definen la duración del proyecto paralelo de acústica.

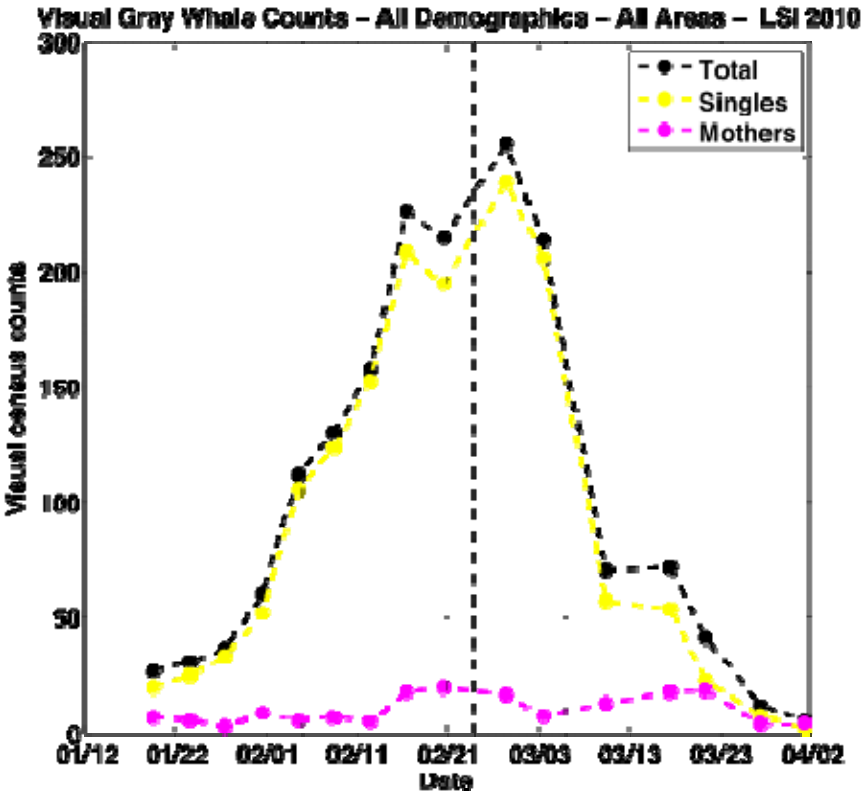

Figura 10.
Conteos visuales de ballena gris por grupo demográfico y duración del proyecto acústico
Temporada de Invierno 2010 (Datos cortesía de UABCS)

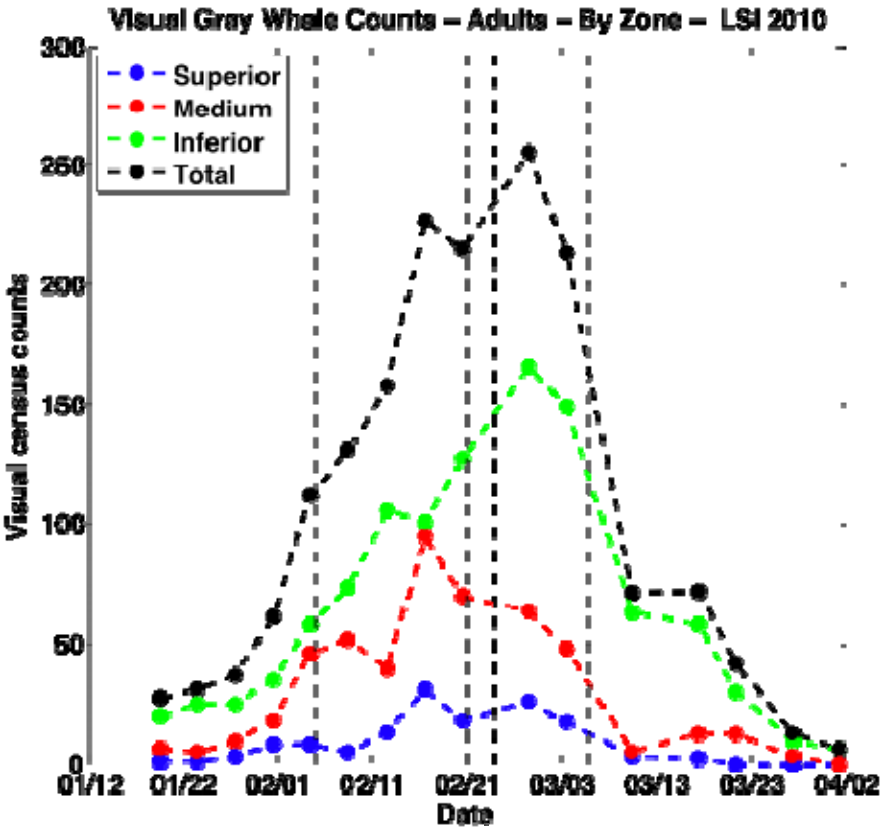

Figura 11.
Conteos visuales de ballena gris por zona y duración del proyecto acústico Temporada de Invierno 2010 (Datos cortesía de UABCS)

Los conteos visuales indican que el máximo de animales presentes se alcanzó hacia finales de Febrero y principios de Marzo y que la mayoría de éstos se concentraron en la Zona Inferior de la Laguna (curva verde, Figura 11), la cual es la región de medición acústica. La variabilidad en números de animales es casi exclusivamente determinada por cambios en los solitarios. Los pares de madre/cría fueron raramente avistados este año, conformando solamente un 10% de la población lagunar al pico de su presencia.

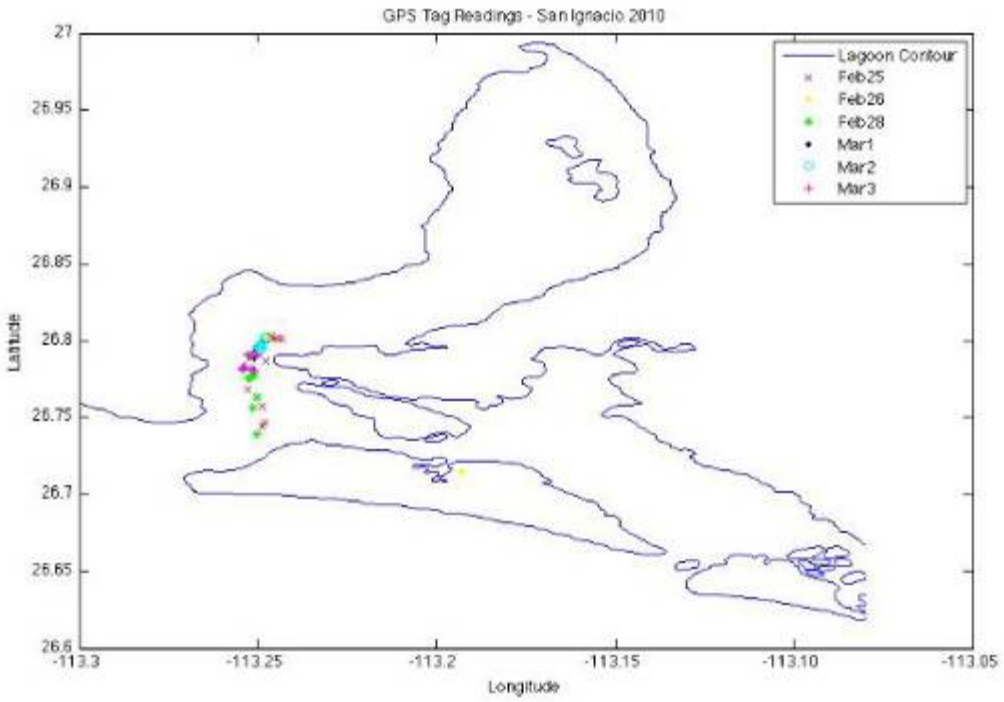

Figura 12.
Seguimiento de ballenas marcadas con MK-10 GPS – Temporada de Invierno 2010
Figura cortesía de Dawn Grebner

Los marcamientos realizados en el 2010 incluyeron:

- siete de Bprobe,
- uno de Acousonde,
- seis de GPS MK-10.

De estos, solamente uno (el 3 de Marzo) fue un combo de Bprobe con GPS. La tabla del Apéndice I contiene más información sobre los eventos exitosos de marcamiento con la MK-10. Estos records de satélite indican que, luego de ser marcadas, las ballenas no viajan muy lejos ni abandonan la zona, más bien se mantuvieron dentro de la zona Inferior, donde podrían ser localizadas acústicamente (Figura 12). Es alentador saber que las actividades de marcamiento no parecen causar un cambio drástico de comportamiento en las ballenas grises. En años venideros, sería deseable tener una mejor resolución espacial en el GPS.

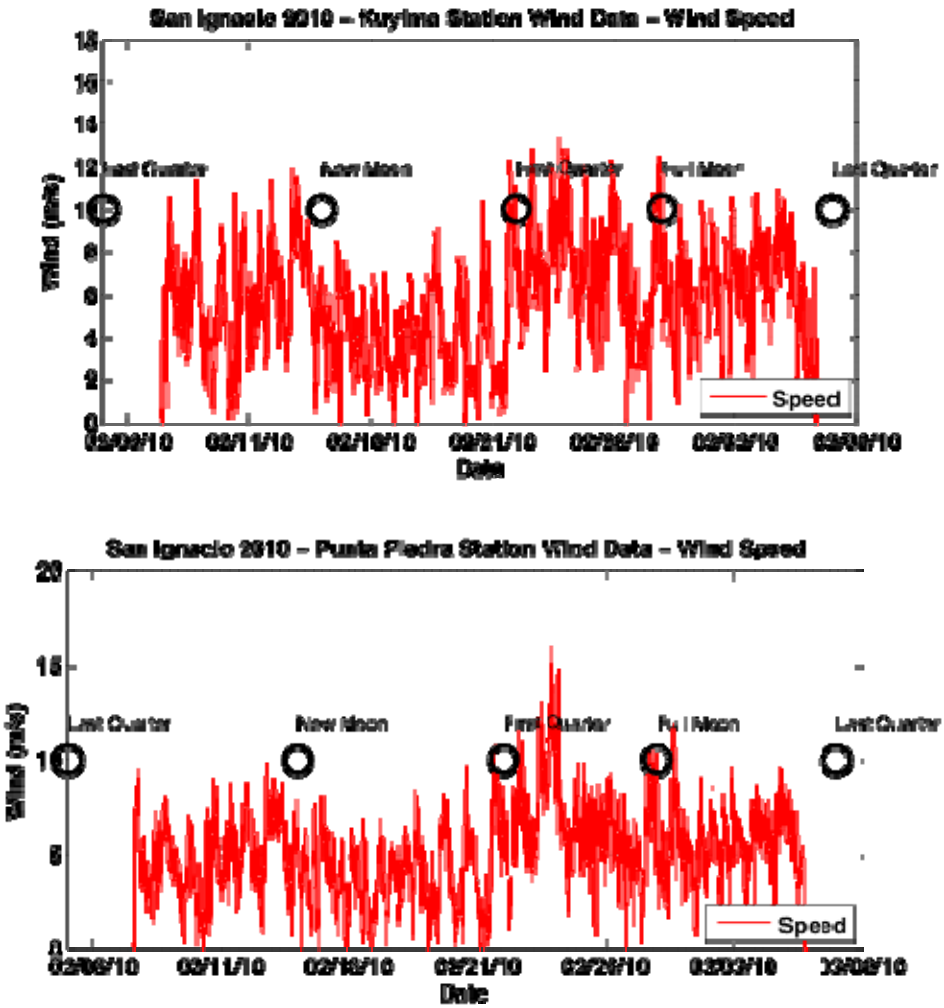

Figura 13.
Velocidad del viento medido en) Kuyimá Ecoturismo y
b) Punta Piedra – Temporada de Invierno 2010

La estación de viento generó 29 días de información sobre la velocidad y la dirección del viento. La Figura 13 muestra la existencia de fluctuaciones diurnas en la velocidad del viento, alcanzando máximos de 10-12m/s, posiblemente causados por las variaciones en presión y temperatura del terreno desértico a diferentes horas del día. Punta Piedra parece experimentar velocidades más elevadas en comparación con Kuyimá. Sería interesante examinar las estadísticas de ruido ambiental sumarino en la laguna el 23 de Febrero, pues las pangas no salieron ese día. Asimismo, el 27 de Febrero fue una fecha en la cual pocos botes navegaron antes de las 3pm, por advertencias de tsunami luego del terremoto en Chile.

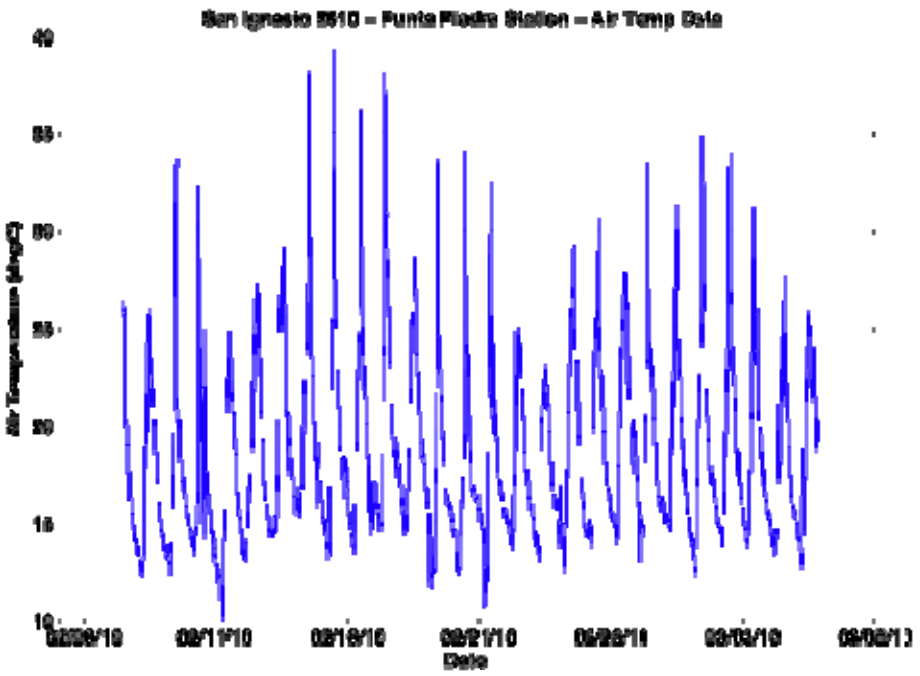

Figura 14.
Temperatura del aire en Punta Piedra – Temporada de Invierno 2010

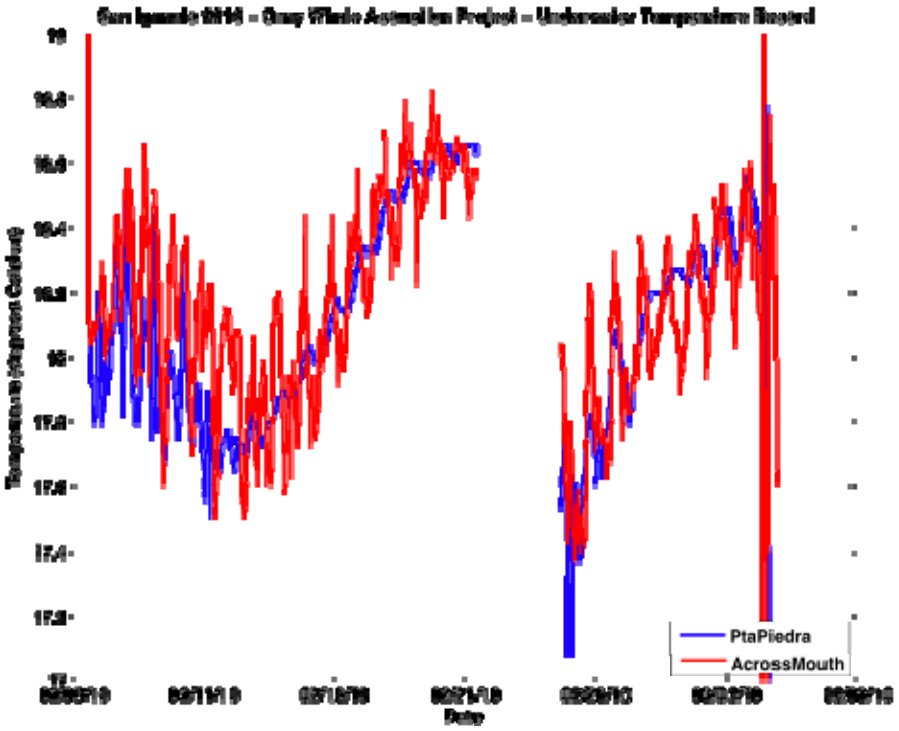

Figura 15.
Temperatura del agua de la laguna medida en las dos estaciones MLP

Los sensores Tidbits recolectaron datos de temperatura en las dos estaciones MLP (Figura 15). Los datos de larga escala temporal muestran oscilaciones diurnas complementando lo que podría ser un ciclo principal de menor frecuencia. La temperatura pico en Punta Piedra alcanzó un máximo de 18.6°C el 21 de Febrero, mientras que la temperatura máxima en el extremo opuesto de la boca, fue un poco mas caliente y en general, presentó mayor variabilidad.

RESULTADOS PRELIMINARES 2008-2010

- Actividad acústica 2008 en relación con el conteo de ballenas en LSI

Las grabaciones acústicas recopiladas en 2008 fueron analizadas manualmente por Diana Ponce en busca de vocalizaciones de ballena gris. Inspeccionando manualmente selectos períodos de 24-horas, que coincidían con aquellos días en que se realizaron censos visuales, ella investigó la relación entre tasas de producción vocal y números de individuos presentes.

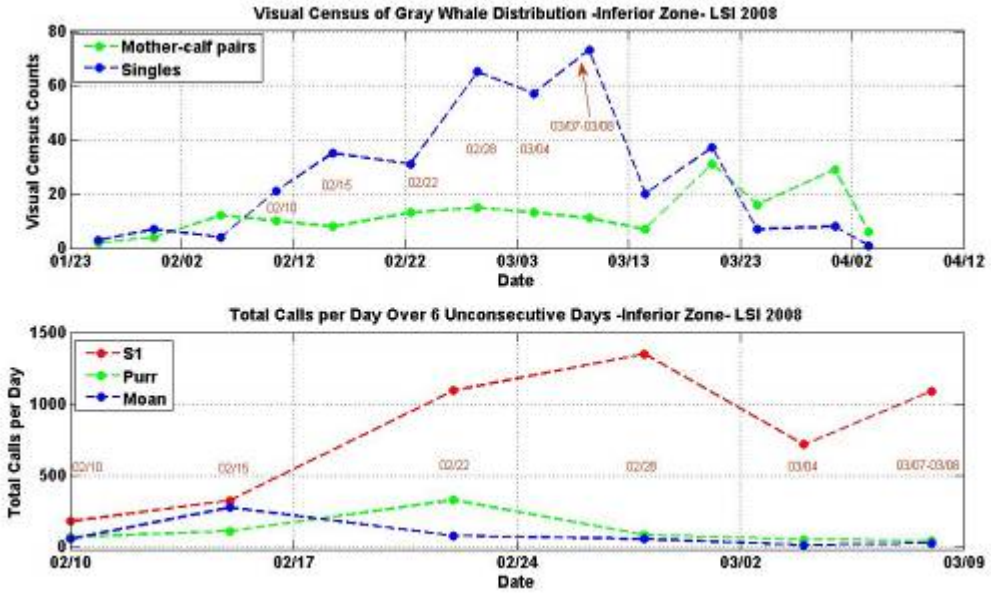

Figura 16.
a) Conteo visual de temporada 2008 en la zona Inferior por grupo demográfico
b) Tasas diarias de producción vocal por tipo de llamada
Figura cortesía de Diana Ponce

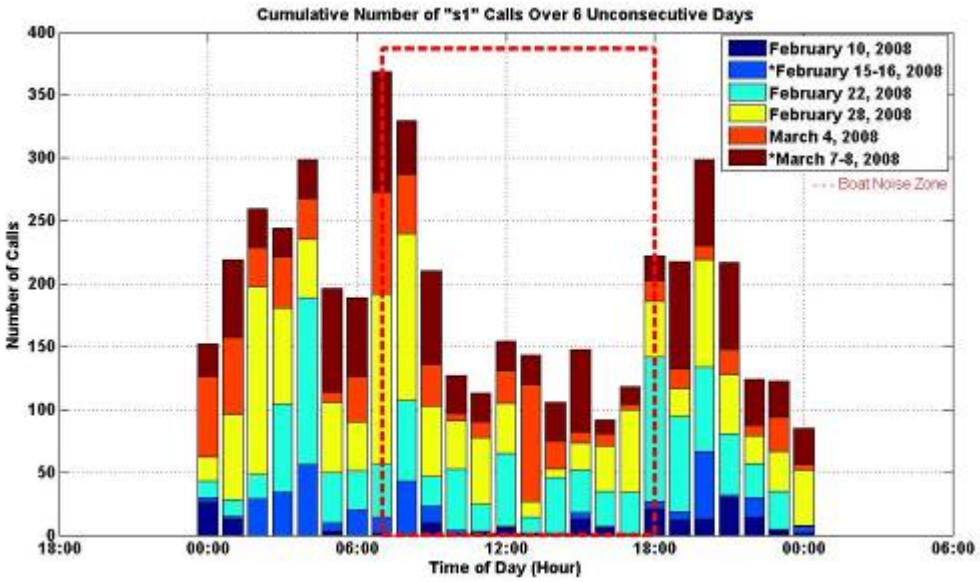

Figura 17.
Tasa de vocalizaciones de ballena gris – Ciclo diurno
Figura cortesía de Diana Ponce

Diana calculó las tasas de vocalización por hora y las comparó con las curvas de conteos visuales (Figura 16). En general, las tasas de llamadas por hora siguen los cambios relativos del patrón visual. Tasas crecientes fueron observadas conforme el mes de Febrero progresó y el pico coincide con las fechas cuando el máximo número de animales fueron vistos en la laguna a principios de Marzo. Es de particular interés la observación demográfica que esta población alcanzó un pico asociado al máximo de presencia en solitarios (curva amarilla, Figura 16), sugiriendo que este tipo de llamada particular podría servir un rol reproductivo en el grupo. Dentro de los períodos inspeccionados, también se revisó si contenían ruido de botes. Como sería de esperar, es aparente que menores tasas de llamadas son capturadas en la presencia de pangas, pues potencialmente enmascaran las vocalizaciones (Figura 17). Este fenómeno podría impactar el desempeño de un sistema automatizado de detección de llamadas, creando la ilusión de un ciclo diurno. Se requiere de investigaciones más completas para determinar si las vocalizaciones de ballena gris en LSI siguen un verdadero patrón diurno o si los resultados están prejuiciados por la presencia de botes de turismo.

El trabajo de Diana se presentó como un afiche en una conferencia científica. El Apéndice II muestra el resumen de dicha presentación.

- Documentación multi-anual (2008-2010) de marcas acústicas

Anaid López realizó análisis manuales de todas las marcas acústicas del 2008 y 2009 así como selectas marcas del 2010. Con apoyo económico del PCELSI, Anaid visitó San Diego en Mayo del 2009 y en Mayo del 2010 para mejorar sus habilidades con herramientas computacionales, como por ejemplo crear espectrogramas, medir parámetros en las llamadas y graficar resultados. Algunos de estos resultados se muestran

en los histogramas de la Figura 18, la cual implica que la llamada “conga” o llamada tipo S1 es la vocalización mas comúnmente hallada en los records de las marcas y que la mayoría del tiempo se realiza cuando las ballenas están nadando cerca de la superficie.

En su inspección de llamadas, Anaid también encontró lo que se cree es un nuevo tipo de llamada, nunca antes reportado en la literatura. El espectrograma de la Figura 17 muestra un ejemplo de este sonido de baja frecuencia (~50Hz) estructurado como un tono con armónicos, que ella llamó “ronrroneo”.

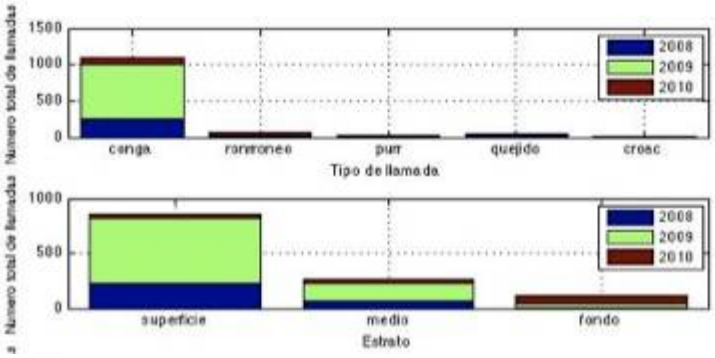

Figura 18
a) Histograma de la distribución de tipos de llamada
b) Histograma de la distribución de profundidades de vocalización
Figura cortesía de Anaid López

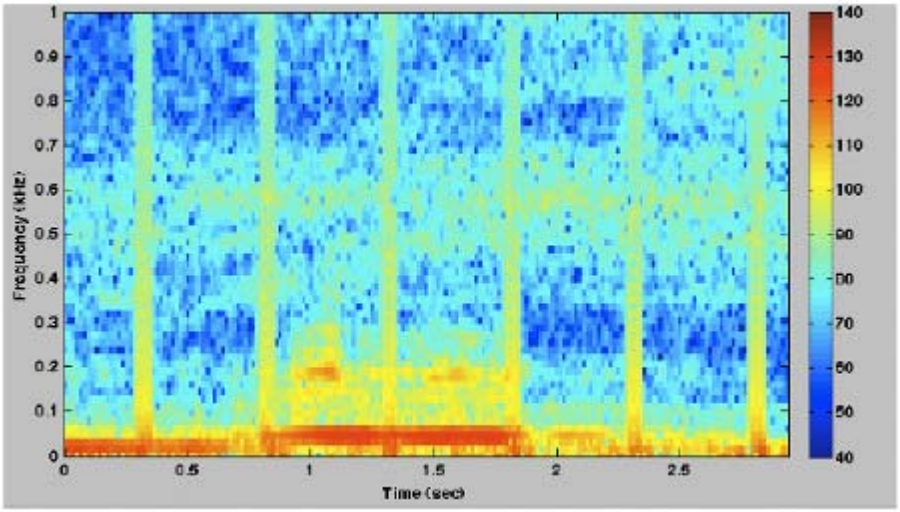

Figura 19.
Espectrograma de una llamada tipo “ronroneo” grabada en la marca
Figura cortesía de Anaid López

Se espera que Anaid reciba su Maestría de UNAM en Agosto 2010. Su trabajo fue presentado ante la Sociedad de Mamología Marina en Quebec en forma de afiche. El resumen de dicha presentación se anexa en el Apéndice III.

- Sincronización temporal de elementos en un arreglo utilizando ruido ambiental

Resultados preliminares de Melania Guerra con datos del 2010 muestran promesa en utilizar el ruido ambiental natural de la laguna como fuente de sincronización temporal. Calculando la covarianza espacial inversa (Figura 20b) entre dos instrumentos de un mismo arreglo linear, separados por ~6m, se reveló que la tasa de cambio del reloj interno de los instrumentos puede ser estimado. La mayor contribución a esta correlación proviene de sonidos de baja frecuencia, debajo de 400Hz (Figura 20a). Este resultado marca un gran paso en demonstrar la abilidad de las estaciones MLP para seguir animales, y por lo tanto hacia la finalización de la tesis de Melania.

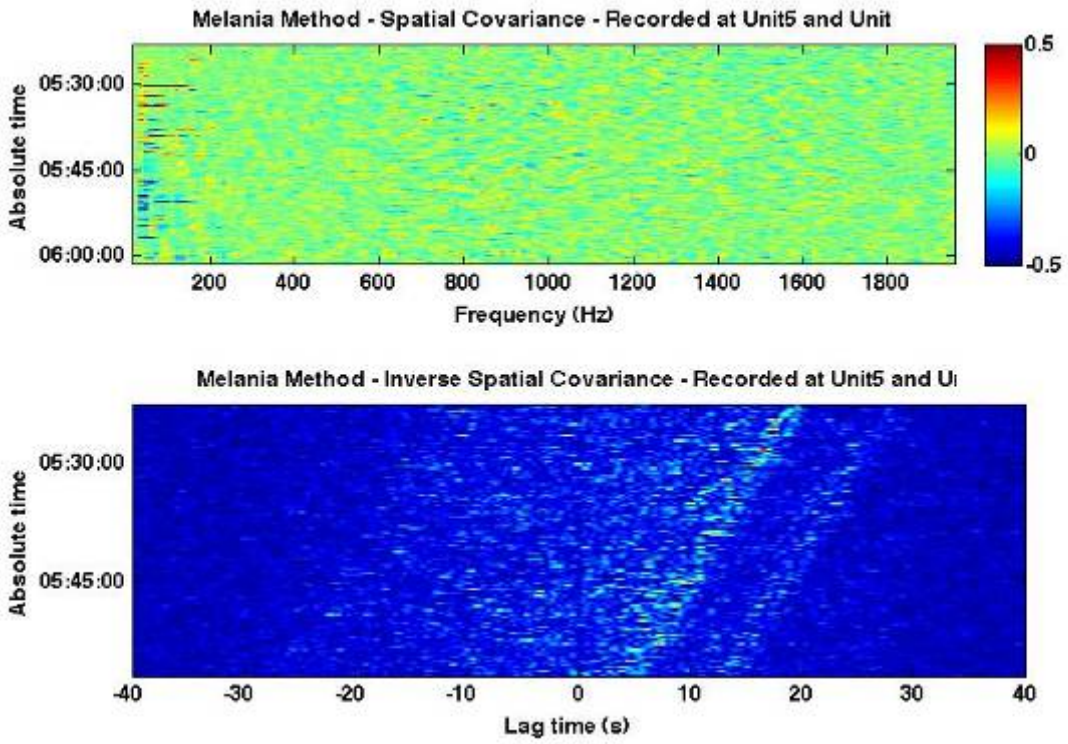

Figura 20. a) Covarianza espacial en el dominio de la frecuencia – periodo de un hora de datos 2010 b) Covarianza espacial inversa del mismo periodo de datos

LECCIONES APRENDIDAS

En el futuro, otros investigadores acústicos en Laguna San Ignacio, podrían beneficiarse de algunas “lecciones aprendidas” por nuestro grupo:

1) Al construir arreglos para MLP, la combinación de usar cuerda de nylon y plomos de buceo atados a los instrumentos, hace el conjunto demasiado pesado, creando dificultades para recobrarlo. En el pasado algunos instrumentos se hundieron bajo el sedimento. En años futuros, se recomienda el uso de línea de polipropileno (la cual flota), con algunos pocos pesos (1 libra) suspendidos a intervalos a lo largo de la cuerda. Los plomos en cada instrumento acústico deberían ser reducidos de 8 libras por instrumento a solo 4 libras por instrumento, si las condiciones del subsuelo son de arena o arcilla fina.
2) Consistentemente, la estación de MLP Punta Piedra nos ha dado problemas a lo largo de los años, por la composición del fondo y su batimetría (cerca del “bajo”). Como queríamos mantener el sitio de los estudios acústicos de Dahlheim consistente con el nuestro, el lugar de medición no se ha cambiado entre los años 2005-2010, pero nuevos y futuros estudios deberían prepararse de antemano a utilizar servicios locales de buzos para recobrar instrumentos colocados en la zona.
3) En la segunda mitad de la temporada 2010, el panguero de Kuyimá, Chavalo recomendó una ubicación para la estación AM, que demostró ser conveniente para nuestro trabajo. La estación colocada en esta zona fue fácil de recuperar y presentó muchos menos problemas que la de Punta Piedra.
4) Por primera vez, se tomaron rutas de GPS en alta resolución (1 muestra por segundo) al realizar la maniobra circular con botes alrededor de las estaciones acústicas sumergidas. Esto permitiría una sincronización temporal más fina.
5) Recomendamos que para aumentar el éxito del marcamiento dual Bprobe+MK-10, ambas marcas deberían estar incorporadas en el futuro en una sola unidad. Una manera de lograr esto sería utilizando la ranura intencionada para el transmisor de radio frecuencia en la marca satelital, para calzar la Bprobe. Este acoplamiento tendría que ser sólido y confiable, pues ambas marcas dependerían solamente del transmisor de VHF en la Bprobe. Se debería agregar también un poco de extra flotación para sustituir lo que se removió al calzar la Bprobe.
6) Idealmente, el ejercicio de marcamiento de nuestro equipo estaría más altamente integrado con el proyecto de foto identificación de la UABCS, reduciendo así el costo total, involucrado en mantener dos pangas diarias para dos equipos. Asimismo, llevaría a una más eficiente identificación de la ballena marcada, por ejemplo, su género, grupo demográfico, historia de vida, tiempo de residencia en la laguna, etc. En caso de que alguna vez se retomara el muestreo genético en la laguna, sería invaluable también unificar estas bases datos en combinación con documentación acústica.
7) El educar estudiantes e investigadores de la UABCS sobre cómo utilizar, programar, desplegar, recobrar y analizar datos acústicos recolectados con marcas debería ser continuado. Esta transferencia de conocimientos sobre técnicas acústicas constituye uno de los mayores logros del programa acústico del PCELSI.

AGRADECIMIENTOS

El Equipo de Acústica del PCELSI quisiera agradecer a sus directores Steven Swartz y Jorge Urbán por incluir nuestro estudio bajo el permiso de trabajo #08433 de la temporada 2010 emitido el 27 de Noviembre, 2009 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAP). Nuestro proyecto acústico, como parte del programa PCELSI es financiado por las fundaciones Ocean Foundation y Pacific Life Foundation. Agradecemos a todos los participantes y voluntarios: Delphine Mathias, Aaron Thode, Dawn Grebner, Diana Ponce, Anaid López, Alejandro Gómez Gallardo, Lorena Viloria y Claudia Díaz y demás colaboradores de la UABCS. Este proyecto no podría haber sido posible sin la asistencia generosa de Eddie Kisfaludy (de Oceans Aloft LLC - http://www.oceansaloft.com) quien transportó una gran fracción de nuestros equipos científicos a bordo de su avioneta, permitiéndonos usar sus servicios de vuelo para viajar entre San Diego y San Ignacio. Un gran agradecimiento a todo el personal de Ecoturismo Kuyimá por proveernos de acomodaciones, comidas y servicios de pangas: Gracias María de los Angeles, Raúl, Josele, Lalo, Fernando, Alejandro, Manuel, entre otros. En particular, reconocemos la ayuda de los siguientes pangueros por prestar sus servicios de navegación y proveer sus anclas a nuestro experimento: Molo, Chino, Chopi, Ramiro, Jonás, Luis, Domingo, Chavalo, Chícharo, Gertrudis, Gaby, Max, Federico y Ramón. Gracias especiales a Toto por realizar los buceos para recuperar instrumentos que no se pudieron recobrar desde la superficie. Gracias a Karen Ivey y Jose Luis Zúñiga de Baja Discovery por permitirnos colocar la estación de viento en su terreno.

APENDICE I

Table 1: Resumen de Datos Recolectados por MK-10 en 2010

Fecha	Inicio Marca	Hora Colocación	Latitud	Longitud	Grupo Demogr.	Fin Despliegue
Feb. 25th	10:35	11:13	26°44.810	-113°14.918	Solitario	12:30
Feb 25th	10:35	15:13	26°48.170	-113°14.760	Solitario	Doble
Feb 28th	11:04	11:11	26°47.356	-113°15.152	?	11:20
Feb 28th	11:04	12:45	26°46.129	-113°15.069	?	12:51
Mar 1st	14:06	No	No	No	No	14:48
Mar 2nd	10:43	11:06	26°48.073	-113°14.845	?	14:10
Mar 3rd	11.29	12.05	26°47.390	-113°15.136	Solitario	14.20

Amarillo = Ballena marcada con ambas marcas: B-Probe y MK-10 GPS.

APENDICE II

Monitoreando los sonidos de ballena gris utilizando grabaciones acústicas a largo plazo en Laguna San Ignacio

Diana Ponce, Aaron Thode, Melania Guerra, Steven Swartz

Actualmente el método más generalizado de estimar el tamaño de una población de mamíferos marinos, es contándolas visualmente en mar abierto; sin embargo, los conteos visuales son caros y restringidos a las horas de luz del día y bajo buenas condiciones meteorológicas. El desarrollo de instrumentación submarina barata con capacidad de grabar autónomamente ha abierto la posibilidad de inferir el tamaño aproximado de una población de animales, a partir del monitoreo de su actividad vocal. Para probar este concepto, se han desplegado grabadores de largo plazo en Laguna San Ignacio, en Baja California Sur, México, durante las temporada de nacimientos y reproducción de la ballena gris. Las estaciones acústicas de Monitoreo de Largo Plazo (MLP) están siendo utilizadas para investigar las tasas de producción de llamadas y los cambios en el ruido ambiente submarino en la laguna, especialmente el ruido relacionado con el tráfico de botes de turismo. Por cuatro semanas, los instrumentos de las estaciones MLP fueron posicionados en paralelo en el fondo de la laguna, a una profundidad de 10m y grabaron a una frecuencia de muestreo de 6kHz. Luego de que los instrumentos fueron recuperados, se analizaron representaciones visuales de los sonidos en la computadora (espectrogramas). Sin embargo, para entrenar los algoritmos computacionales, selectas porciones del record acústico deben ser revisadas manualmente por una persona, para identificar los verdaderos positivos. Se presentarán los resultados de este análisis manual así como una comparación con el procedimiento automatizado. [Trabajo apoyado por el Programa Científico del Ecosistema Laguna San Ignacio].

APENDICE III

Patrones de buceo, movimientos corporales y actividad acústica de ballenas grises marcadas en presencia de botes en Laguna San Ignacio, BCS, México

Guerra, Melania [1]; Thode, Aaron M. [1]; López, Anaid [3]; Swartz, Steven [2]; Urbán, Jorge [3]; Mathias, Delphine [1];

(1) Scripps Institution of Oceanography, UCSD, La Jolla CA, 92093-0238, USA

(2) Cetacean Research Associates 14700 Springfield Road, Darnestown, MD 20874, USA

(3) Departamento de Biología Marina, UABCS, La Paz, México

Durante dos temporadas de invierno consecutivas, ballenas grises del Pacífico (*Eschrichtius robustus*) fueron marcadas en Laguna San Ignacio, una de las tres principales lagunas de reproducción en Baja California, México. Debido a que las ballenas muestra un comportamiento “amigable” único, la laguna recibe grandes masas de visitantes y los botes de turismo de observación de ballenas están constantemente presentes en las aguas entre 9:00 y 17:00. Históricamente se ha limitado un número máximo de 17 pangas activas, aunque no existe evidencia científica en soporte de que esa cantidad representa un verdadero umbral seguro. La marca acústica llamada Bioacoustic

Probe (construida por Bill Burgess de Greeneridge Sciences Inc.) es colocada sobre los animales por medio de copas de succión y carga consigo un transmisor de VHF permitiendo el seguimiento de la ballena, asi como la recoleccion de la marca una vez que se ha soltado. La marca B-Probe provee series de tiempo de la presión, aceleración en 2 ejes (permitiendo la derivación de orientación corporal instantánea) y sonido, medidas a una frecuencia de muestreo máxima de 20kHz. En el año 2008, se marcaron 14 ballenas grises, 3 solitarios y 11 madres. La duración promedio de la marca sobre el animal fue de 1.8hrs. En el 2009, siete ballenas fueron marcadas, entre ellas 3 madres, 3 crías y un animal solitario, el cual era parte de un grupo en cortejo. La duración promedio de las marcas sobre los animales fue de 2.9hrs. De estos animales marcados, una cría y una madre exhibieron comportamiento “amigable” inmediato hacia los botes cercanos, sugiriendo que la colocación del instrumento no produce cambios hostiles en su conducta. La información acústica de cada marca fue analizada, buscando la presencia de sonidos de pangas en tránsito y sonidos de ballena gris. Los datos recopilados pueden ser combinados con records de rutas de pangas, datos ambientales, características demográficas de la ballena marcada y observaciones desde la superficie. Se presentarán resultados preliminares de estos análisis, con indicaciones de una posible relación entre actividad vocal, mecánica corporal y disturbios externos, como la presencia de botes.