

## **Monitoreo de Vaquita y Cóndor de California, así como Análisis de oportunidades de Restauración del Estuario del Río Colorado**

---

### **INFORME FINAL**

#### **Estudio a cargo de:**

Dirección General de Investigación de  
Ordenamiento Ecológico y  
Conservación de los Ecosistemas  
(DGIOECE)

Dra. Ana Córdova  
Directora General

Dirección de Conservación de los Ecosistemas

Dr. Edward M. Peters  
Director

Responsables técnicos  
MVZ. Elvia de la Cruz Robles  
Departamento de Conservación de Especies Prioritarias  
M. en C. Roberto Márquez Huitzil  
Subdirector de Conservación de Hábitat y Comunidades  
Dr. Armando Martín Jaramillo Legorreta  
Investigador Titular "C", Ensenada, B.C.

#### **Preparado por:**

Centro de Investigación Científica y  
Educación Superior de Ensenada, B.C.  
(CICESE)

#### **Bajo contrato:**

INE/A1-038/2008

**2008**



**MONITOREO DE VAQUITA Y CÓNDOR DE CALIFORNIA, ASÍ COMO ANÁLISIS DE  
OPORTUNIDADES DE RESTAURACIÓN DEL ESTUARIO DEL RÍO COLORADO**

---

INFORME FINAL

PRESENTADO POR EL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA  
(CICESE)

A LA

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO Y  
CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

**OCTUBRE DE 2008**

## **CONTENIDO**

- I. Caracterización del hábitat acústico de la vaquita y monitorización de las tasas de detección acústica como indicadores de la dinámica poblacional de la vaquita  
(*Phocoena sinus*)

Pag. 3

- II. Monitoreo satelital de los cóndores de California (*Gymnogyps californianus*)  
reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California

Pag. 29

- III. Análisis de oportunidades de restauración del estuario del Río Colorado

Pag. 50

# **I. CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT ACÚSTICO DE LA VAQUITA Y MONITORIZACIÓN DE LAS TASAS DE DETECCIÓN ACÚSTICA COMO INDICADORES DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE LA VAQUITA (*Phocoena sinus*)**

---

## **INTRODUCCIÓN**

La vaquita es una especie en peligro de extinción, listada en las más críticas niveles categorías de fauna silvestre en el mundo (Rojas-Bracho y Jaramillo-Legorreta, 2002). El principal factor de riesgo que ha empujado a la vaquita a este escenario es su captura en redes de pesca artesanal en el Alto Golfo de California. El crítico nivel poblacional estimado para 1997 (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999) debe ser más bajo hoy día, debido a que las operaciones pesqueras en que es capturada no han cesado y, al contrario, podría haber aumentado el esfuerzo pesquero.

El Comité Internacional para la Recuperación de la Vaquita (CIRVA) recomendó, en su segunda reunión, evitar tan pronto como fuera posible que más capturas siguieran ocurriendo (Rojas-Bracho y Jaramillo-Legorreta, 2002; Rojas-Bracho *et al.*, 2006). Bajo cualquier esquema de mitigación que se aplique será necesario obtener información sobre áreas y temporadas críticas. Esto es, conocer con precisión la distribución actual y usos de hábitat de la vaquita, lo que requiere de un esquema adecuado de muestreo y un eficiente sistema de detección de individuos.

El CIRVA, durante su segunda reunión, discutió respecto a este tema. Sus miembros acordaron recomendar, como alternativa viable, la aplicación de técnicas acústicas pasivas para la localización de individuos (Rojas-Bracho y Jaramillo-Legorreta, 2002). Este tipo de técnicas pueden ser aplicadas desde embarcaciones pequeñas por grupos reducidos de personal científico. Además, el esfuerzo de muestreo puede ser extendido a horas de oscuridad y aquellas bajo condiciones meteorológicas más adversas. Esto, por supuesto, resulta en gastos de operación reducidos y mejor rentabilidad en la toma de datos (Mellinger *et al.*, 2007). Por ejemplo, durante el crucero de 1997 para estimar abundancia (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999), cada avistamiento tuvo un costo aproximado de 4,400 dólares, mientras que los encuentros acústicos reportados en este trabajo tuvieron un costo aproximado de 250 dólares. Es decir, los encuentros acústicos tienen un costo aproximado de 6% el valor de los avistamientos.

Los muestreos acústicos pueden ser usados para identificar especies por medio de análisis espectral (Richardson *et al.*, 1995). Por otro lado, la distancia de los individuos emisores detectados puede ser determinada con cálculos de pérdida de transmisión y análisis de rutas de rayo (McDonald y Fox, 1999), o mediante el uso de arreglos de hidrófonos, sistema que permite ubicar la posición de los emisores mediante el análisis de los tiempos de arribo de señales a los diferentes elementos del sistema con técnicas similares a la auto-correlación (Au *et al.*, 1999). Con información de este tipo se puede investigar, a diversas escalas de tiempo, sobre distribución, usos de hábitat y densidad de la especie de interés (Gordon y Tyack, 2002; Mellinger *et al.*, 2007).

Los equipos de detección acústica usados para el estudio de mamíferos marinos regularmente incluyen hidrófonos, pre-amplificadores y grabadoras comerciales. Algunos investigadores construyen arreglos de hidrófonos y pre-amplificadores de acuerdo a sus necesidades. Las señales se pueden almacenar en medios analógicos que frecuentemente son digitalizados en computadoras para su análisis. Alternativamente, la información puede ser digitalizada *in situ* como parte del diseño del equipo de detección. Los equipos usados pueden ser operados desde embarcaciones o, convenientemente, pueden ser autónomos y no requerir de la intervención del investigador sino para recopilar información o dar mantenimiento. Con instrumentos de este tipo se pueden llevar a cabo estudios intensivos y extensivos (Mellinger *et al.*, 2007).

Las características de las señales acústicas de las marsopas (Familia Phocoenidae) permitieron el desarrollo de un detector acústico automatizado, diseñado por un grupo de investigación de Inglaterra (Chapell *et al.*, 1996). Poco después el mismo grupo creó una nueva versión mejorada (Gillespie y Chappell, 2002), la cual fue exitosa en la detección de vaquitas (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 2002; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 2003; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 2005). En este reporte se presentan los resultados de cruceros realizados para el estudio de la distribución y tendencias de la población de vaquita con la utilización de este equipo de detección. Este estudio cumple con la recomendación del CIRVA para continuar la investigación de vaquita con técnicas acústicas pasivas.

Por otro lado, se sabe que la población de vaquita ha seguido una tendencia negativa a juzgar por la información acústica aquí presentada, así como por inferencias realizadas

a partir del uso de modelos sencillos de población e información de esfuerzo pesquero (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 2007). De tal forma, la técnica de muestreo acústico aquí presentada ha dejado de tener la resolución necesaria para cumplir con las expectativas de monitorización que se requieren. En este trabajo se presentan datos oceanográficos (temperatura, salinidad y velocidad del sonido) y acústicos (contenido de frecuencias en grabaciones acústicas de banda amplia) que servirán para caracterizar el ambiente acústico de la vaquita, lo que podría ser de valía para el diseño de equipos de detección autónoma, que es la alternativa viable para incrementar el esfuerzo de muestreo acústico que permita continuar con la monitorización de la especie en apoyo a su Programa de Recuperación.

## **METODOLOGÍA**

### **Bioacústica de marsopas y vaquita**

La vaquita, tal como otras especies de la Familia Phocoenidae (marsopas), emite señales acústicas de alta frecuencia (chasquidos o “clicks” con frecuencias fundamentales centradas entre 128 y 139 KHz) y banda estrecha (11 a 28 KHz de ancho) (Silber, 1991; Kamminga *et al.*, 1996). El Género de delfines *Cephalorhynchus* emite señales con características similares, mientras que las otras especies de odontocetos también emiten pulsos de alta frecuencia, pero en bandas más amplias o con frecuencias fundamentales centradas en valores más bajos. Este tipo de señales se sabe son usadas para actividades de ecolocación (Au, 1993; Richardson *et al.*, 1995). Los chasquidos son producidos en series, compuestas de entre 3 a 57 chasquidos individuales en el caso de la vaquita (Silber, 1991). Por otro lado, se sabe que en la marsopa común (*Phocoena phocoena*) los chasquidos son emitidos en un haz, con pérdida máxima de 3 dB, de 16.5° en el sentido vertical y horizontal (Au *et al.*, 1999). Fuera de este haz la potencia de la señal decae rápidamente, lo que implica que las señales son emitidas hacia direcciones específicas. Este patrón debe ser muy similar para la vaquita, dadas las similitudes anatómicas entre ambas especies (Brownell Jr., 1983).

### **Equipo de detección acústica**

El equipo (Chappell *et al.*, 1996; Gillespie y Chappell, 2002) consiste de un hidrófono (Sonar Research & Development HS-150) con pre-amplificador (ganancia de 40dB) conectados a un cable de cerca de 100m de largo; una caja metálica que contienen los módulos electrónicos para la manipulación de las señales; una computadora equipada con una tarjeta de digitalización tipo PCMCIA (Measurement Computing PC-CARD DAS16/330, frecuencia de muestreo de 330 KHz y resolución de 12 bits) la cual captura las señales manipuladas en los módulos electrónicos a través de un software especializado escrito por los mismos desarrolladores llamado *Porpoise*; y finalmente un GPS con conexión RS-232C, que conectado a la computadora permitió en todo momento contar con referencias geográficas del lugar en el que se realizaron los muestreos acústicos.

Las señales recibidas en la caja de electrónicos son filtradas en tres bandas: a) una centrada a 50KHz, con 11KHz de ancho; b) otra centrada a 71KHz, con 13KHz de ancho, y c) la banda de marsopas entre 115 a 145KHz (las frecuencias fundamentales de las emisiones de vaquita se hallan contenidas en esta banda). La señal saliente de cada filtro es amplificada con una función logarítmica y pasada a través de un circuito de trazado de envoltura (*envelope tracing circuit*). Estas salidas son dirigidas a un puerto de conexión de audífonos, lo que permite escuchar las señales en tiempo real, ya que el circuito de envoltura reconvierte la señal a frecuencias audibles.

Por otro lado, las mismas salidas son enviadas a la tarjeta de digitalización en la computadora, en donde son muestreadas a una tasa de 25KHz. El software está diseñado para recibir, almacenar, medir, analizar y desplegar las señales en la pantalla de manera informativa. Una rutina de identificación de chasquidos dispara el almacenamiento de ellos cuando en cualquiera de las tres bandas la potencia de la señal excede niveles de referencia. Los chasquidos detectados son almacenados en el disco duro y, a su vez, desplegados en pantalla. Los datos almacenados consisten de formas de onda digitales de 25KHz de cada chasquido individual en cada una de las tres bandas filtradas, así como información de fecha y hora a la que fueron almacenadas. Adicionalmente, cada segundo se almacena información sobre niveles de ruido de fondo en cada una de las tres bandas. La unidad de medición son decibeles RMS ( $\text{dB}_{\text{RMS}}$ , root mean square; la intensidad de una señal se mide con la raíz cuadrada del cuadrado medio de un ciclo de onda; Urick, 1983).

Un chasquido “tipo vaquita” es identificado cuando el nivel de potencia en la banda de marsopas es más alto que en las otras dos bandas de referencia. La diferencia requerida es asignada por el investigador. Un encuentro acústico con vaquitas sólo se confirma con el análisis de series de chasquidos, no con la identificación de chasquidos individuales (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 2002; Gillespie y Chappell, 2002).

### **Diseño de muestreo**

Para analizar la distribución de la vaquita el área de estudio se dividió en seis estratos (Figura 1). La estratificación norte-sur divide el área en una región norteña con características deltaicas (muy somera y de fuertes corrientes mareales), una región intermedia somera y con corrientes suficientes para mantener la columna de agua



mezclada, y una región sureña, profunda, menos turbia y más estratificada (Lavín *et al.*, 1997). La estratificación este-oeste divide el área en una región occidental del lado de baja California, donde la mayoría de los avistamientos de vaquita han ocurrido. Del lado oriental, hacia el Estado de Sonora, es donde se reportaron varios eventos de captura incidental de vaquitas (D'Agrosa *et al.*, 1995; D'Agrosa *et al.*, 2000). Esta estratificación este-oeste también coincide con las provincias sedimentarias definidas para el Alto Golfo de California (Carriquiry y Sánchez, 1999), las cuales son el resultado de los procesos oceanográficos que prevalecen en la zona. El muestreo fue restringido a aguas con profundidades máximas de 50m, atendiendo al conocimiento previo sobre distribución (Silber, 1990; Vidal, 1995; Gerrodette *et al.*, 1995; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999). Por lo tanto, una porción del estrato 6 fue retirada del muestreo, dadas las profundidades de esta región que pertenecen a la Cuenca Wagner (Figura 1).



En cada estrato la posición de la estación fue seleccionada al azar previo al período de muestreo. Nunca fue posible muestrear en el estrato 2, y las posiciones en el estrato 1 fueron seleccionadas por el capitán de la embarcación de acuerdo a consideraciones de seguridad, debido a la compleja batimetría y lo somero del estrato de esta región deltaica.

Para incluir posibles variaciones en la detección de vaquitas de acuerdo a ciclos circadianos, en cada estación se intentó muestrear por un día completo con el detector acústico operativo todo el tiempo. Fue necesario interrumpir el muestreo debido a condiciones climatológicas adversas (Beaufort por encima de niveles 4 ó 5), fallas en el instrumental científico o desperfectos del barco. El hidrófono fue tendido en el agua con la ayuda de tres boyas atadas al cable a intervalos regulares. De esta forma las corrientes permiten que el hidrófono se aleje del barco, lo que evita el ruido provocado por el oleaje o corrientes chocando con el casco. El hidrófono se intentó colocar siempre aproximadamente a 5m debajo de la boya más distal al barco. Las otras dos boyas también evitan que el cable choque con el fondo.

## **Análisis de datos**

### ***Cálculo de la Tasa de Encuentro Acústico***

La tasa de encuentro acústico, para cada estación, fue calculado como:

$$\frac{\text{número de encuentros certeros de vaquitas}}{\text{esfuerzo efectivo aplicado}}$$

Solamente las detecciones confirmadas de vaquitas, de acuerdo a los parámetros explicados antes, fueron incluidas en los cálculos. Al total del tiempo invertido en una estación se le restaron los tiempos muertos para obtener el tiempo efectivo. Estos tiempos incluyeron períodos de falla del equipo acústico, períodos de ruido de fondo excesivo y periodos necesarios para recalibrar o mantener los equipos.

La tasa de encuentro acústico fue comparada entre estratos y graficada en un mapa para identificar tendencias espaciales.

### ***Tendencia de la serie de tiempo de la tasa de encuentro acústico***

Del total de estaciones de muestreo realizadas se seleccionaron aquellas dentro de la zona geográfica, en la que se detectaron vaquitas acústicamente, para analizar la tendencia de la serie de tiempo de la tasa de encuentro acústico.

La tendencia fue descrita a través del ajuste de un modelo de regresión, de manera que la pendiente es el parámetro principal de interés. Dado que la tasa de encuentro es en realidad un conteo (número de detecciones acústicas en cada estación), la variable a manejar es discreta y positiva mayor a cero. De tal forma se eligió ajustar un modelo logarítmico, compensado por tiempo, así como una distribución discreta para el error.

Se probaron dos distribuciones, Poisson y Binomial Negativa (El-Sayyad, 1973; White y Bennetts, 1996). Además, se probaron estas 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. Por tal parece adecuado utilizar una distribución inflada. El modelo utilizado fue, entonces:

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

*de manera que :*

$$\frac{\# \text{ de encuentros}}{\text{esfuerzo}} = e^{(\alpha + \beta * \text{tiempo})} = \text{tasa de encuentro acústico}$$

El esfuerzo es el número de horas efectivas de muestreo en cada estación; el # de detecciones es el número de detecciones acústicas de vaquita confirmadas, conseguidas en cada estación durante el esfuerzo efectivo; tiempo es la fecha y hora en la que se inició el esfuerzo en cada estación, expresada como año con decimales. Los parámetros a estimar son la ordenada al origen ( $\alpha$ ) y la pendiente ( $\beta$ ).

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.

La estimación de los parámetros de la regresión se realizó bajo una aproximación bayesiana. La información previa para los parámetros de la regresión fue no informativa, tal como se justifica cuando el número de datos es mayor al número de parámetros a estimar (Gelman *et al.*, 1995). La verosimilitud está expresada por el error, ya sea Poisson o Binomial negativo, inflado por ceros o no. El método para describir la distribución posterior de los parámetros del modelo fue a través de un método de simulación basado en cadenas de Markov de Monte Carlo (MCMC por sus siglas en inglés) implementadas con el algoritmo Metropolis-Hastings como lo estructura el paquete AD Model Builder (copyright Otter Research Ltd., otter@otter-rsch.com).

### **Muestreo de temperatura y salinidad**

Se utilizó un CTD SeaBird 37-SI para registrar condiciones de temperatura y salinidad a través de la columna de agua en tres sitios del área de estudio. La profundidad a la que se tomaron las lecturas fue medida con un sensor de presión del propio CTD. Para tomar las lecturas el CTD fue bajado hasta casi tocar el fondo (profundidad medida con ecosonda) y subido de nuevo a una velocidad aproximada de 0.5 m/s. La información se almacenó directamente en la computadora dado que el CTD no cuenta con memoria propia. Con esta información se calculó la velocidad del sonido de acuerdo a la fórmula de Mackenzie (1981). La información se presenta a manera de perfiles de salinidad, temperatura y velocidad respecto de la profundidad.

### **Grabaciones acústicas de banda amplia**

Se utilizó un osciloscopio digital TiePie HS4 para obtener grabaciones de banda amplia. Estas fueron realizadas a una tasa de muestreo de 500K muestras por segundo. El osciloscopio guarda bloques de información en su memoria interna y cuando esta se llena la información es enviada a la computadora vía una pila de almacenamiento. El tiempo en el que ocurre esto no se registran más muestras, por lo que por lapsos se dejan de registrar sonidos. Sin embargo, el tiempo sin grabación no es superior a 10%. Con la información generada se realizó un análisis espectrográfico para identificar los componentes de frecuencia preponderantes, utilizando la herramienta de análisis de frecuencias del programa Adobe® Audition® 2.0. Para ello se utilizó la función de ventana de Blackman-Harris que es adecuada para aplicaciones de banda amplia como es el caso. El análisis se realizó para el total de los datos acumulados así como para la información analizada por secciones con tamaño de 512 puntos. Esto permitió identificar eventos que pudieran ser de importancia y que pudieran no ser identificados cuando se analiza todo el cúmulo de información a intervalos de aproximadamente 1 segundo.

## **RESULTADOS**

### **Esfuerzo**

Dieciséis cruceros fueron completados entre abril de 1997 (1997-04) hasta diciembre de 2007 (2007-12), los cuales forman parte del acervo de datos acústicos generados hasta antes de este reporte. A estos se suman tres cruceros realizados en 2008 (Tabla I).

**Tabla I. Esfuerzo de muestreo y encuentros acústicos**

<b>Crucero</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Esfuerzo</b>	<b>Encuentros</b>
1997-04	5	30.5	8
2001-06	15	66.0	8
2001-09	4	77.7	0
2001-12	5	84.8	0
2002-03	6	98.3	3

2002-05	8	144.8	21
2003-03	5	74.2	20
2003-10	1	1.1	0
2004-04	2	8.9	0
2005-07	3	35.9	6
2006-05	2	37.3	2
2007-02	5	79.0	0
2007-04	7	89.7	8
2007-07	3	83.0	3
2007-11	2	47.0	1
2007-12	1	13.0	0
2008-06	1	5.0	0
2008-07	2	49.0	2
2008-08	1	103.0	3
19	78	1128.2	85

Cuatro diferentes tipos de embarcaciones fueron utilizadas para realizar los muestreos, todas ellas bajo el esquema de estaciones en las que se apagaron las máquinas y se trabajó con la embarcación anclada. En 1997 se utilizó una panga de 8 metros de eslora con motor fuera de borda y cabina. Durante los cruceros 2001-06, 2001-09, 2001-12, 2002-02 y 2002-05 se utilizó un barco llamado *Pasaporte*, el cual es un yate de 11 metros de eslora. El crucero 2003-03 se realizó abordó de un bote de pesca deportiva de 25m de eslora llamado *José Andrés*. El crucero 2004-04 fue abordó de una embarcación pesquera de arrastre de 20m de eslora llamada *Oviedo III*. El resto de los cruceros (2005-07 a 2008-08) se realizaron abordó de la embarcación llamada *Koipai Yú-Xá*.

En total setenta y ocho estaciones fueron realizadas, totalizando 1,128.2 horas de esfuerzo efectivo (Tabla I). No se pudo realizar muestreo en el estrato 2 debido a diversas causas, entre ellas la presencia de esfuerzo pesquero, condiciones climáticas adversas y dificultad de navegación en aguas tan someras.

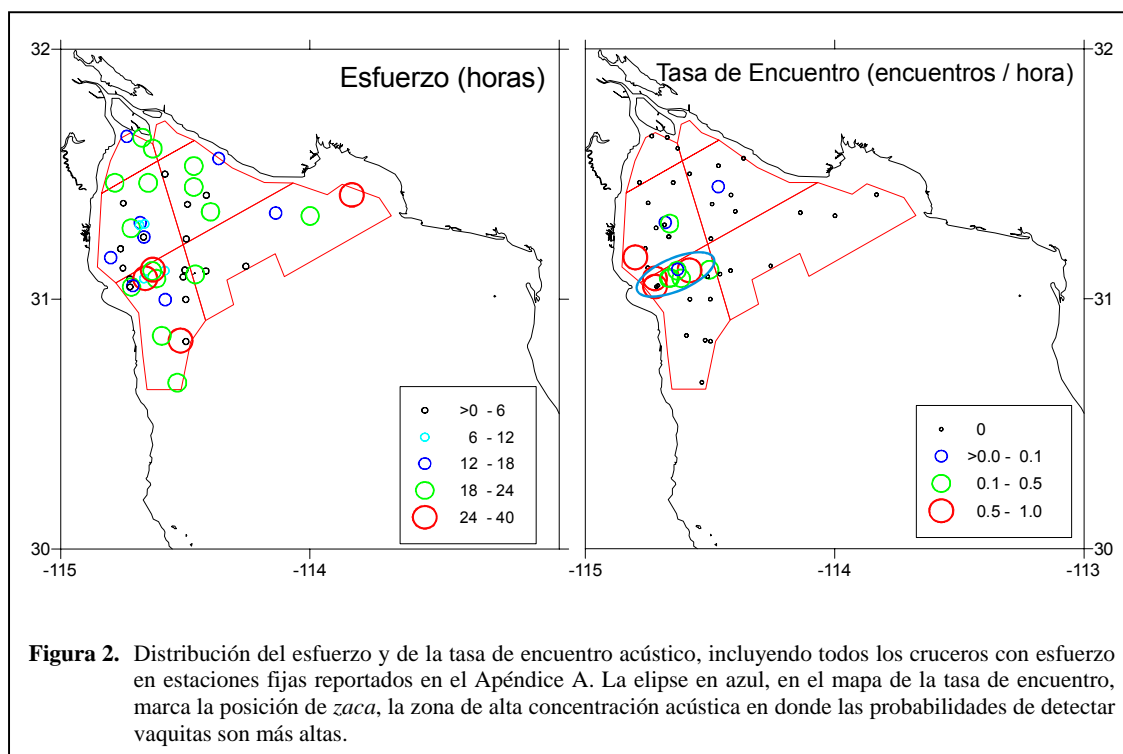
La distribución de las estaciones de muestreo se muestra en la Figura 2. Se observa que las estaciones están distribuidas de forma aleatoria, y que tienden a esparcirse a lo

largo y ancho de los estratos. Se observa una saturación de estaciones hacia *zaca* (zona de alta concentración acústica, Figura 2), debido a su pequeño tamaño y al nivel de esfuerzo, así como una ausencia de muestreo hacia el centro del estrato 6, lo cual en parte se explica por el menor esfuerzo aplicado y el relativo gran tamaño de este estrato.

### **Encuentros acústicos y tasa de encuentro acústico**

Todos los 85 encuentros acústicos obtenidos, excepto uno, ocurrieron en los estratos 3 y 5. El otro ocurrió en el estrato 4. La tasa de encuentro acústico varió desde un mínimo de cero hasta un máximo de 0.791 encuentros / hora. Para estaciones en las que hubo encuentros, la tasa mínima fue de 0.029 encuentros / hora. No hubo diferencias significativas ( $t=1.244$ , g.l.=87,  $p=0.117$ ) para la tasa de encuentro entre horas luz (promedio 0.167) y horas de oscuridad (promedio 0.145), lo que indica una actividad acústica de la vaquita similar a lo largo del ciclo circadiano.

Las estaciones en las que se detectaron vaquitas están más cercanas a la costa de Baja California (Figura 2). Aquellas en que la tasa de encuentro acústico es alta tienden a distribuirse hacia el límite sur de la reserva de la Biósfera y a pocas millas de la Bahía de San Felipe. Esta es la característica de la zona a la que se le ha llamado *zaca*. Hay una tendencia, también, a que en las estaciones más cercanas a la costa se hayan obtenido tasas de encuentro más altas. Es también observable que las estaciones con encuentros acústicos no están uniformemente distribuidas en los estratos 3 y 5. En vez de ello, los encuentros se concentran hacia *zaca* y hacia la costa.



La distribución de los encuentros acústicos coincide con la Provincia Sedimentaria de Baja California (figuras 1 y 2; Carriquiry y Sánchez, 1999), incluida la única detección lograda en el estrato 4. Esto podría indicar que la vaquita prefiere los fondos con sedimentos más finos, quizá debido a la presencia de fauna que forma parte de su espectro alimenticio. Aunque las detecciones en el estrato 5 se hallan fuera de la definición de la provincia sedimentaria, están tan cercanas que muy probablemente la composición de los sedimentos es similar. El análisis Carriquiry and Sánchez (1999) se restringió a las zonas en que muestras de sedimentos estuvieron disponibles.

### Tendencia de la serie de tiempo de la tasa de encuentro acústico

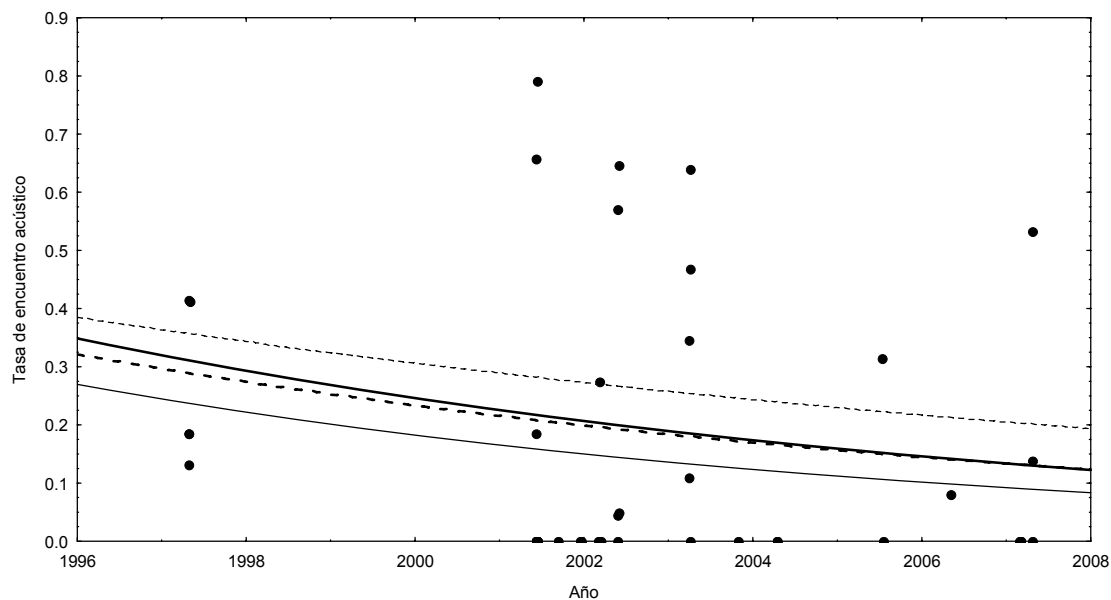
En la Figura 3 se muestran las curvas ajustadas con cada uno de los cuatro modelos de error ajustados. Se nota que la pendiente de las curvas es muy similar y marca la misma tendencia decreciente. Dado que el interés central del problema es justamente describir esta tendencia, se decidió utilizar el ajuste con el modelo binomial negativo sin el inflado por ceros.

Sólo se presenta, entonces, el ajuste bayesiano para este modelo. En la Figura 4 se muestra la gráfica de convergencia para un millón de simulaciones generadas. No se aprecian indicios de falta de convergencia, dado que la media y desviación estándar de

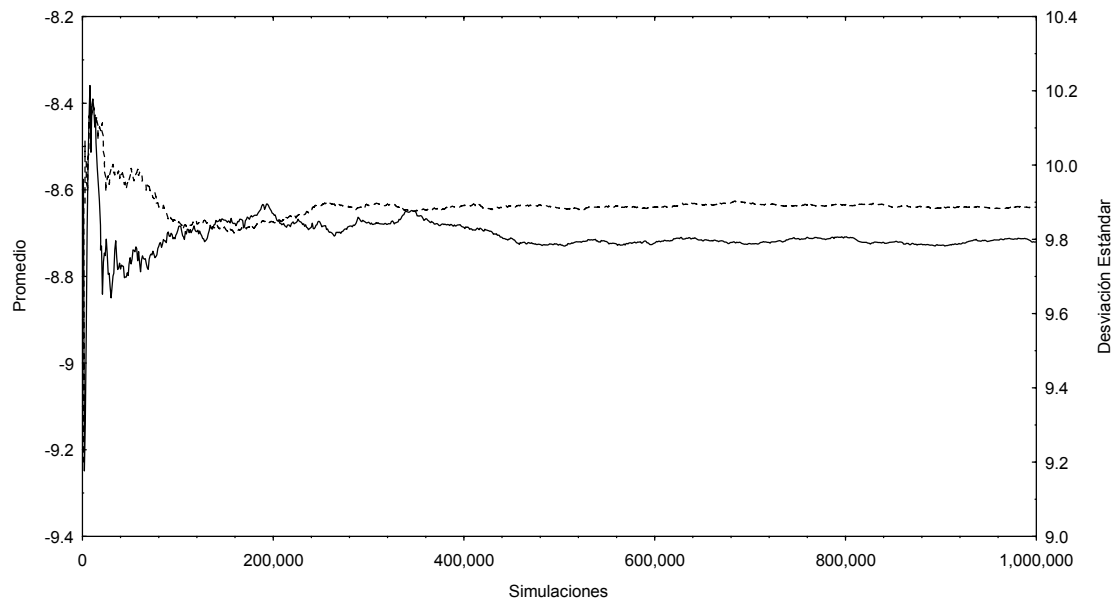


los parámetros estimados se estabilizaron. La distribución posterior (Figura 5) para la pendiente muestra contornos suaves y una moda bien definida, lo que muestra más aún que la distribución posterior debe haber convergido.

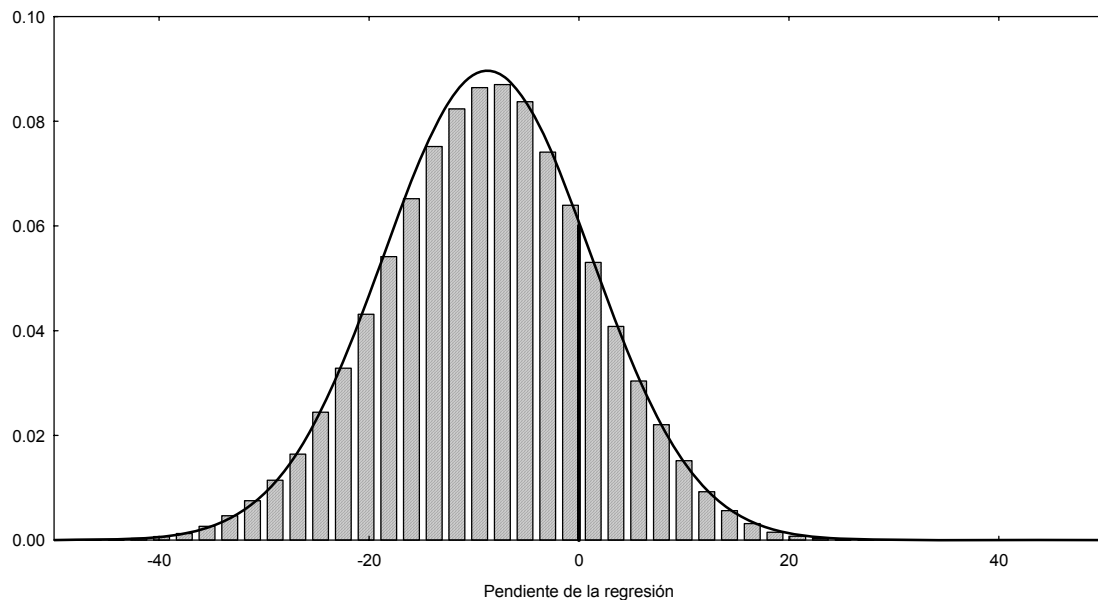
La pendiente es en promedio de -8.72 (mediana -8.6, C.V. 1.13) y la probabilidad de que la pendiente sea negativa es de aproximadamente 85% (Figura 5). Con este parámetro se pudo calcular que el nivel de decremento de la tasa de encuentro acústico es de -0.581. Con el mismo coeficiente de variación que la pendiente la desviación estándar es de 0.657.



**Figura 3.** Dispersión de los datos sobre tasa de encuentro acústico (puntos negros). Las líneas representan el ajuste del modelo de regresión exponencial. Las líneas gruesas son para el modelo de error binomial negativo. Las delgadas para el de Poisson. Las líneas punteadas corresponden a los modelos inflados por ceros.



**Figura 4.** Gráfica de convergencia para el millón de simulaciones generadas para la estimación de la pendiente del modelo de regresión ajustado a los datos sobre tasa de detección acústica. La línea continua es el promedio móvil conforme se va agregando simulaciones a la cadena y la línea quebrada es lo mismo para la desviación estándar. Se observa que a partir de aproximadamente 450,000 simulaciones ambas medidas se estabilizan.



**Figura 5.** Distribución del millón de simulaciones generadas para estimar la pendiente del modelo de regresión ajustado a los datos sobre tasa de detección acústica. Se observa como la distribución se aproxima muy

cercanamente a la distribución normal construida de la media y desviación estándar estimadas. La línea vertical divide a la distribución en valores positivos y negativos para la pendiente. El área bajo la curva a la izquierda de la línea es la probabilidad de que la pendiente sea negativa. A simple vista se aprecia que esta probabilidad es la mayor, aproximadamente de 85%.

### **Características acústicas del hábitat de la vaquita**

#### **Perfiles de temperatura, salinidad y velocidad del sonido**

En la Figura 6 se presentan perfiles verticales de salinidad, temperatura y velocidad del sonido. Se presenta información para tres sitios en tres épocas: abril de 1993, marzo de 1996 y julio de 2008. Se observa claramente como la más alta temperatura característica del verano (julio) en comparación con la primavera (abril) y finales de invierno (marzo) fue la responsable de las más altas velocidades del sonido.

En las tres estaciones y épocas la salinidad prácticamente no varió a través de la columna de agua, mientras que la temperatura tendió a ser más baja a mayores profundidades, causando un decremento también de la velocidad del sonido.

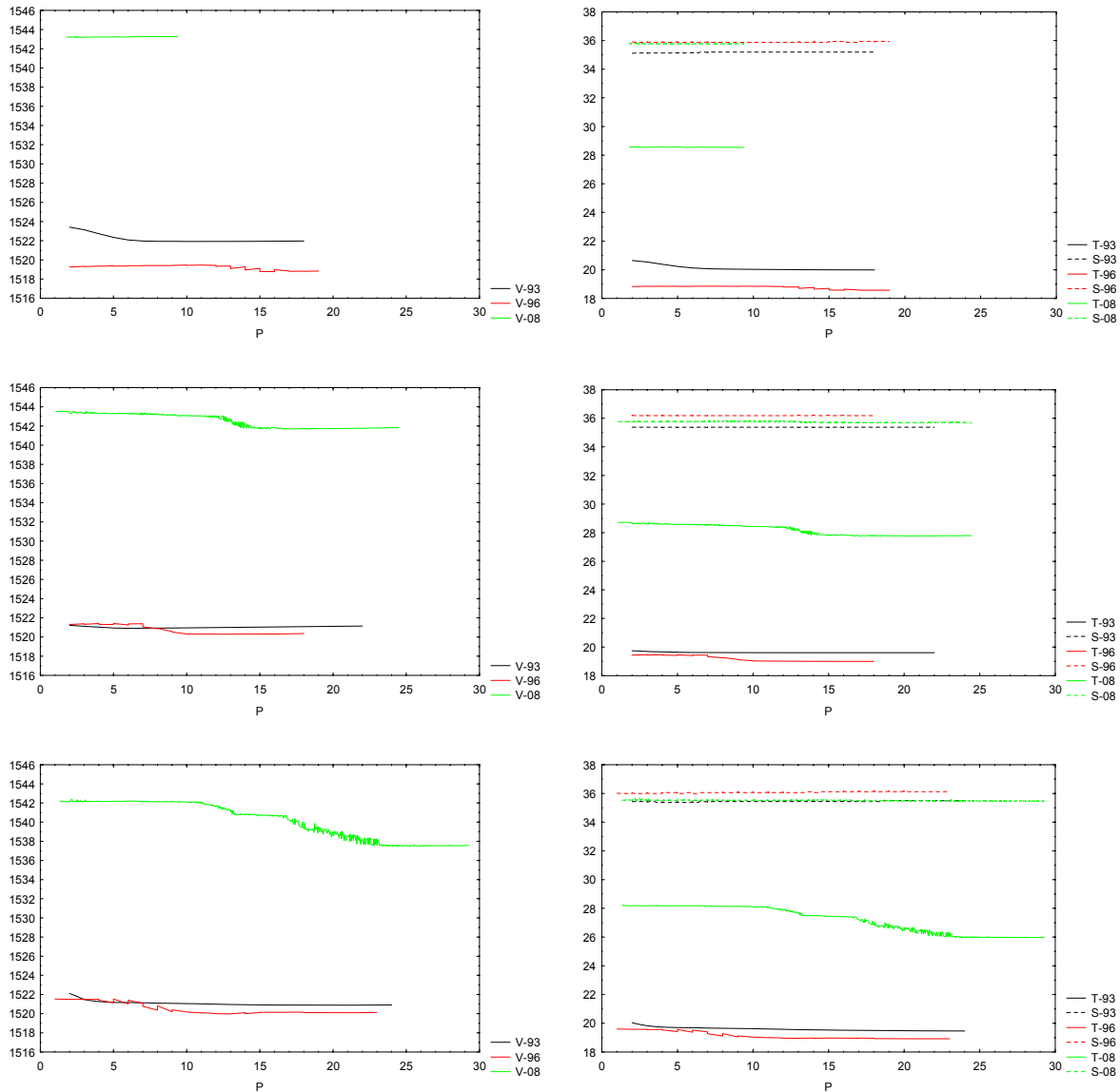
#### **Grabaciones de banda ancha**

Después de aglutinar todos los archivos digitales generados por la grabación a 500 KB/s de frecuencia de muestreo, se obtuvo el espectrograma mostrado en la Figura 7. Se distinguen cinco componentes de frecuencia importantes a aproximadamente 4,000; 67,000; 135,000; 202,000 y 229,000 Hz. De ellos, los tres primeros son los más preponderantes.

Cada uno de los componentes descritos refleja una banda estrecha, lo que indica la presencia de armónicos en el ruido ambiental de la zona de distribución de la vaquita. Uno de esos componentes se halla en la banda de emisión típica de la vaquita.

Aunque el espectrograma presentado representa el contenido de frecuencias de la grabación completa, el contenido armónico no es significativamente distinto cuando se analizan periodos de tiempo más cortos, lo que mostró que el patrón de ruido ambiental es relativamente constante a través del tiempo, siendo sólo afectado por algunos sonidos transeúntes tal como los producidos por embarcaciones, periodos de clima

severo o eventos biológicos periódicos o temporales, tal como la presencia de invertebrados o incluso de cetáceos.



**Figura 6.** Perfiles de velocidad del sonido (lado izquierdo, m/s), temperatura (lado derecho, línea continua, °C) y salinidad (lado derecho, línea quebrada, ppm) para tres diferentes puntos dentro de zaca en tres diferentes épocas (abril de 1993 en color negro, marzo de 1996 en color rojo y julio de 2008 en color verde). La profundidad se halla en el eje x y los valores de los parámetros en el eje y.

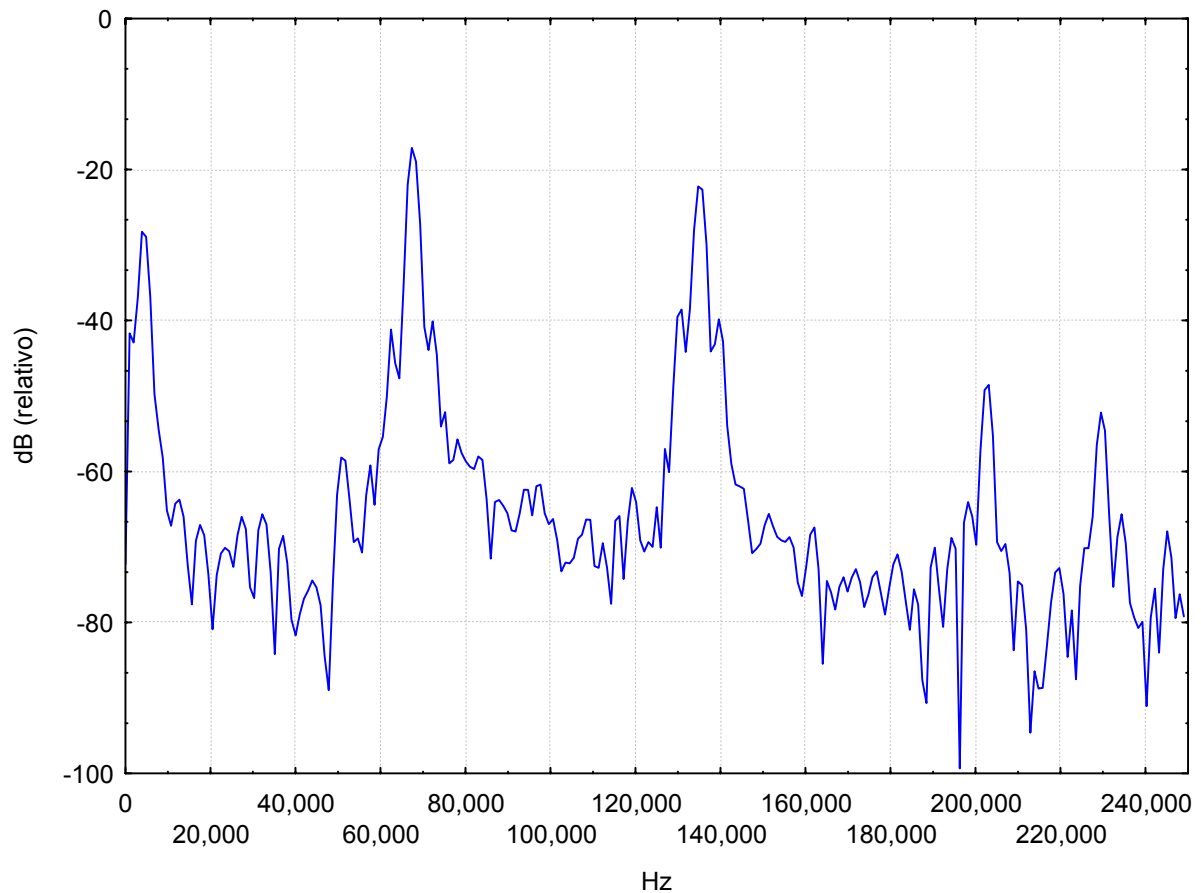


Figura 7. Espectrograma (contenido de frecuencias) del conjunto de grabaciones de banda amplia (500K muestras/seg) obtenidas durante los muestreos de 2008. Se observan cinco picos de frecuencias preponderantes, el más intenso de ellos centrado a aproximadamente 67,000 Hz. La intensidad se da en dB relativos al rango dinámico de las grabaciones, siendo el cero la mayor potencia, por ello la escala es negativa.

## DISCUSIÓN

### Distribución

La restringida distribución hallada para los encuentros acústicos debe ser el resultado de una restringida distribución poblacional. En la zona en la que se distribuyó la vaquita, de acuerdo a este estudio, hubo también estaciones de muestreo en las que no se detectaron vaquitas.

Esto indica la alta variabilidad de la tasa de encuentro, lo que debe estar ligado a la distribución y movimientos de la población. Las diferencias halladas entre estaciones tan cercanas en tiempo y espacio indican que la población podría distribuirse de forma agregada. Se sabe que la vaquita forma grupos muy pequeños, en promedio de dos individuos (varios de ellos pares de madre y cría; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999), de manera que si esta agrupación existe no sería muy conspicua. La forma en que esta agrupación podría formarse es a través del movimiento sincronizado de los grupos, de manera que se desplazaran juntos aproximadamente por las mismas zonas formando un tipo de distribución parchada. Evidencia adicional que apoya esta observación viene de la información generada en 1997 para estimar la abundancia (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999). Los avistamientos no se dieron homogéneamente a través del periodo de muestreo que duró cerca de treinta días. Más bien se dieron grupos de avistamientos en pocos días del muestreo, lo que refleja nuevamente la tendencia a la agrupación. Las razones y causas de este agrupamiento necesitan ser explicadas. Podrían deberse a comportamientos naturales de la especie, aunque en el mismo trabajo sobre estimación de abundancia se explica la reacción de alejamiento de la vaquita a las embarcaciones en movimiento. La presencia de la flota pesquera, tanto de arrastre como artesanal, podría tener una influencia en este patrón de distribución y movimientos.

Se debe tomar en cuenta que los encuentros acústicos con vaquitas se distribuyen en áreas de fondos con sedimentos finos. Esta característica, junto a otras características oceanográficas, puede determinar la composición faunística de la zona, que podría ser la más adecuada para la supervivencia de la vaquita. La misma idea fue propuesta por Pérez-Cortés-Moreno (1996), después de realizar un análisis de la dieta de la vaquita de la revisión de contenidos estomacales de individuos capturados en redes.

### **Implicaciones del patrón de distribución**

D'Agrosa *et al.* (2000) reportó que la captura incidental de vaquitas por la flota ribereña de El Golfo de Santa Clara (Figure 1), durante 1993, ocurrió en lugares cercanos a la costa de Sonora y en la porción central del Alto Golfo (lugares que se corresponden con los estratos orientales definidos en este trabajo; *cf.* Figura 1 en D'Agrosa *et al.*, 2000). Otra pieza de información se obtiene de la conjunción de avistamientos confirmados de vaquita (Figura 15). Se observa que estos avistamientos históricos indican la presencia de vaquitas en la porción oriental del Alto Golfo, hacia las costas de Sonora. La densidad de vaquitas en esta zona debe ser baja, tal como se ha estimado en otros trabajos (Barlow *et al.*, 1997; Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999), sin embargo se podría inferir un cambio en el patrón de distribución, restringiendo a la población hacia la porción occidental, tal como se evidencia a partir de la información acústica generada. Una posible explicación para este cambio puede residir en una reducción drástica de la población, de manera que la población remanente se distribuye en el hábitat más óptimo para su supervivencia, el cual se haya en los alrededores de la *zona acústica de mayor concentración*. La especie aún podría usar áreas fuera de esta zona, pero por breves lapsos, por pocos individuos o sólo por ciertas temporadas, lo que sería una razón para esperar bajas o nulas tasas de detección acústica.

Es importante notar que el ámbito hogareño de la vaquita, tal como se evidencia por la información acústica, es extremadamente restringido en comparación con la de otros cetáceos en el Golfo de California y en el mundo (Rojas-Bracho y Jaramillo-Legorreta, 2002). Esta limitada distribución subraya la fragilidad de la especie. Si la tendencia en la tasa de captura incidental en redes continua la población podría alcanzar niveles extremadamente críticos en muy poco tiempo. Ante este escenario la distribución de la vaquita podría calificarse de catastrófica, pues se sobrepone con una de las áreas de más intensa pesca en la región. Por lo tanto, es materia de urgencia tomar acciones para evitar más mortandad de vaquitas en redes agalleras.

### **Tendencias poblacionales recientes evidenciadas por la tasa de detección acústica**

La tasa de encuentro acústico debe ser proporcional a la densidad poblacional, ya que mientras mayor número de animales haya en la población mayor será la probabilidad de

obtener detecciones acústicas. Para una especie como la vaquita, que forma pequeños grupos (Jaramillo-Legorreta *et al.*, 1999), la tasa de detección acústica debe ser muy sensible a cambios en densidad poblacional. Por lo tanto, la tendencia decreciente en la tasa de encuentro acústico estimada en este trabajo, es evidencia de una tendencia a la reducción poblacional tal como se espera ante la continuada mortandad de vaquitas en redes (Rojas-Bracho *et al.*, 2006). Se estima que la tasa de encuentro acústico ha decrecido, en diez años, aproximadamente 65%. La reducción en la densidad poblacional podría ser mayor, dado que lo que se detecta acústicamente son grupos de vaquitas, no individuos.

### **El ambiente acústico de la zona de distribución de la vaquita**

En la zona de mayor concentración acústica de la vaquita (zaca) se evidencia que la columna de agua esta bien mezclada, pues la salinidad y temperatura se mantienen muy constantes a lo largo de ella. La velocidad del sonido varía entonces en función de la presión, es decir, de la profundidad. Sin embargo el ambiente de la vaquita es tan somero que estas variaciones no son importantes.

Entre temporadas se percibió que el parámetro que varió considerablemente, como era de esperarse, fue la temperatura. Esto incidió en un cambio, en la misma proporción, de la velocidad del sonido. A pesar de ello entre temporadas la columna siguió siendo bien mezclada, por lo que las diferencias entre diversas profundidades de la velocidad del sonido no son importantes. Pero entre temporadas los valores absolutos de velocidad del sonido si reflejan diferencias palpables.

Esto pudiera tener un impacto en la estimación de ángulos de incidencia en equipos de detección acústica equipados con dos o más hidrófobos, por lo que los diseños deberán tomar en cuenta esto.

El contenido de frecuencias de las grabaciones de banda amplia refleja un pico con preponderante a aproximadamente 135,000 Hz y otro cerca de 67,000 Hz. El primer pico corresponde a la banda de frecuencias en la que emite chasquidos la vaquita. El otro corresponde a una frecuencia que frecuentemente se usa en el diseño de detectores acústicos de marsopas para identificar señales con contenido preponderante en altas frecuencias. En general los picos reflejados en el espectrograma parecen de banda estrecha, por lo que habrá de hacerse un análisis minucioso de la información generada, así como otras grabaciones, que permitan concluir que las frecuencias



halladas no pertenecen a interferencias provocadas por la embarcación, aunque se aplicó el mejor método posible para evitar la introducción de ruido, tal como estática o señales de ecosonda.

Los diseños de detectores acústicos deberán tomar en cuenta lo aquí expuesto, con el fin de incluir en sus diseños los algoritmos y filtros necesarios para evitar interferencias, así como de mayores estudios que identifiquen la posibilidad de que las frecuencias aquí descritas correspondan a señales temporales de origen biológico, lo que podría tener un impacto importante en el diseño de detectores autónomos.

## **CONCLUSIÓN**

La vaquita usa una pequeña área de distribución caracterizada por aguas turbias y someras, así como por soportar una intensa actividad pesquera. En esta zona es donde la vaquita usa más intensivamente la ecolocación, lo que permite suponer que es muy importante para su supervivencia. Si esta área es importante por sostener la trama trófica de la cual subsiste la vaquita, o por alguna otra razón, es importante materia de investigación en el futuro inmediato, con el fin de tomar las medidas adecuadas para su conservación y manejo.

Hay una lata probabilidad de que la población haya experimentado una reducción drástica en los últimos años, lo cual mantiene a la población bajo un estatus muy crítico. Es materia de urgencia poner en operación las mejores medidas de recuperación para salvar a esta especie única en el mundo.

Se brindaron algunos elementos acústicos que podrán ser de valía para el diseño de equipos acústicos autónomos de detección o para la confección de algoritmos que permitan un mejor aislamiento e identificación de señales. Se espera que con este tipo de equipos se pueda implementar un esquema de monitorización de la población de vaquita a mediano y largo plazo.

## LITERATURA CITADA

- Au, W.W.L. 1993. *The Sonar of Dolphins*. Springer-Verlag, New York. 292 pp.
- Au, W.W.L., Kastelein, R.A., Rippe, T. y Schooneman, N.M. 1999. Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). *Journal of the Acoustical Society of America* 106:3699-3705.
- Barlow, J., Gerrodette, T., y Silber, G. 1997. First Estimates of Vaquita Abundance. *Marine Mammal Science* 13:44-58.
- Brownell Jr., R.L. 1983. *Phocoena sinus*. *Mammalian Species* 198:1-3.
- Carriquiry, J.D. y A. Sánchez. 1999. Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly a century of discharge loss. *Marine Geology* 158:125-145.
- 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.
- D'Agrosa, C., C.E. Lennert-Cody y O. Vidal. 2000. Vaquita Bycatch in Mexico's Artisanal Gillnet Fisheries: Driving a Small Population to Extinction. *Conservation Biology* 14:1110-1119.
- D'Agrosa, C., O. Vidal y W.C. Graham. 1995. Mortality of the Vaquita (*Phocoena sinus*) in Gillnet Fisheries During 1993-94. In Bjørge, A. y G.P. Donovan (Eds.) *Biology of the Phocoenids*. International Whaling Commission, Cambridge, U.K. pp. 283-291.
- 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., L.A. Fleischer, H. Pérez-Cortés and B. Villa-Ramírez. 1995. Distribution of the vaquita, *Phocoena sinus*, based on sightings from systematic surveys. Pp. 273-281 In: Bjørge, A. y G.P. Donovan (Eds.) *Biology of the Phocoenids*. Reports of the International Whaling Commission (Special Issue 16). Cambridge, U.K. 552 pp.

- Gillespie, D. y O. Chappell. 2002. An automatic system for detecting and classifying the vocalisations of harbour porpoises. *Bioacoustics* 13:37-61.
- Gordon, J.C.D. y P. Tyack. 2002. Acoustic techniques for studying cetaceans. Pp. 293–324 *In: Evans, P.G.H. y J.A. Raga (Eds.) Marine Mammals: Biology and Conservation.* Kluwer Academic, London and New York.
- Jaramillo-Legorreta, A.M., L. Rojas-Bracho, R.L. Brownell Jr, A.J. Read, R.R. Reeves, K. Ralls y B.L. Taylor. 2007. Saving the vaquita: immediate action, not more data. *Conservation Biology* 21(6):1653-1655.
- 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., L. Rojas Bracho, J. Gordon y D. Gillespie. 2002. Progress report of vaquita acoustic surveys. Document SC/54/SM17 presented to the 54th Meeting of the Scientific Committee of the International Whaling Commission (unpublished). 10 pp.
- Jaramillo-Legorreta, A.M., L. Rojas-Bracho, J. Gordon y D. Gillespie. 2003. Progress report of vaquita acoustic surveys. Document SC/55/SM4 presented to the 55th Meeting of the Scientific Committee of the International Whaling Commission (unpublished). 5 pp.
- Jaramillo-Legorreta, A.M., L. Rojas-Bracho y J. Urban-Ramirez. 2005. A Review of Acoustic Surveys and Conservation Actions for the Vaquita. Document SC/57/SM10 presented to the 57th Meeting of the Scientific Committee of the International Whaling Commission (unpublished). 9 pp.
- Kamminga, C., A.C. Stuart y G.K. Silber. 1996. Investigations on cetacean sonar XI: Intrinsic comparison of the wave shapes of some members of the Phocoenidae family. *Aquatic Mammals* 22:45-55.
- Lavín , M.F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. Pp. 141-171 *In: Lavín, M.F. (Ed.) Contribuciones a la Oceanografía Física en México.* Unión Geofísica Mexicana. Monografía No. 3. Ensenada, B.C., México. 272 pp.

- Mackenzie, K.V. 1981. Nine-term equation for the sound speed in the oceans. *J. Acoust. Soc. Am.* 70(3):807-812.
- McDonald, M.A. y C.G. Fox. 1999. Passive acoustic methods applied to fin whale population density estimation. *The Journal of the Acoustical Society of America* 105(5):2643-2651.
- Mellinger, D.K., K.M. Stafford, S.E. Moore, R.P. Dziak y H. Matsumoto. 2007. Fixed Passive Acoustic Observation Methods for Cetaceans. *Oceanography* 20(4):36-45 (Special Issue on Ocean Exploration).
- Pérez Cortés Moreno, H. 1996. Contribución al conocimiento de la biología de la vaquita, *Phocoena sinus*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 68 pp.
- Richardson, W.J., C.R. Greene Jr., C.I. Malme y D.H. Thomson. 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA. 576 pp.
- 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. y A.M. Jaramillo-Legorreta. 2002. Vaquita *Phocoena sinus*. pp. 1277-1280 In: Perrin, W.F., B. Würsig y J.G.M. Thewissen (Eds.) *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, San Diego, California, USA. 1414 pp.
- Rojas-Bracho, L., R.R. Reeves y A.M. Jaramillo-Legorreta. 2006. Conservation of the vaquita *Phocoena sinus*. *Mammal Review* 36:179-216.
- Silber, G.K. 1990. Occurrence and Distribution of the Vaquita *Phocoena sinus* in the Northern Gulf of California. *Fishery Bulletin, U. S.* 88:339-346.
- Silber, G.K. 1991. Acoustic Signals of the Vaquita (*Phocoena sinus*). *Aquatic Mammals* 17:130-133.
- Vidal, O. 1995. Population Biology and Incidental Mortality of the Vaquita, *Phocoena sinus*. pp. 247-272 In: Bjørge, A. y G.P. Donovan (Eds.) *Biology of the Phocoenids*. International Whaling Commission, Cambridge, U.K. 552 pp.

White, G.C. y R.E. Bennetts. 1996. Analysis of Frequency Count Data Using the Negative Binomial Distribution. *Ecology* 77(8):2549-2557.

## **II. Monitoreo satelital de los cóndores de California (*Gymnogyps californianus*) reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California**

### **Introducción**

El Cóndor de California (*Gymnogyps californianus*) es una especie en peligro de extinción, miembro de la familia Cathartidae o buitres del nuevo mundo. La especie habitaba la porción norte de Baja California, antes de su extirpación en México en 1939. Con propósitos de recuperación de la especie en el territorio nacional se desarrolla el *Proyecto de reintroducción del cóndor de California (Gymnogyps californianus) en la Sierra de San Pedro Mártir (SSPM), Baja California* coordinado por Instituto Nacional de Ecología en colaboración con el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada y la Sociedad Zoológica de San Diego.

Actualmente 16 cóndores de California (*Gymnogyps californianus*) vuelan libres en los cielos de Baja California. El proyecto se basa en el cuidado y monitoreo intensivo de las aves en el campo mediante su ubicación a través de radiotelemetría y transmisión vía satélite con receptores GPS. La cantidad y calidad de los datos obtenidos mediante dichas técnicas hacen posible el análisis del proceso de establecimiento de la población de los cóndores de California reintroducidos a través de la representación espacial y temporal de la información recabada en campo. La generación e interpretación de mapas es de enorme utilidad para la continuidad y toma de decisiones futuras del proyecto. El presente estudio arrojará datos que muestran el proceso de adaptación del grupo de CCR al medio silvestre de la SSPM. Se generarán mapas que serán útiles para orientar el esfuerzo de monitoreo y del manejo para lograr el establecimiento a perpetuidad de una población de cóndor de California.

### **Objetivos**

Representar temporal y espacialmente el uso del hábitat de los cóndores de California reintroducidos en la sierra de San Pedro Mártir, con base en la amplitud de vuelo y preferencias de hábitat.

Identificar los componentes del hábitat que mejor caractericen los sitios seleccionados por los cóndores de California en la Sierra de San Pedro Mártir de acuerdo con criterios

de latitud-longitud, topografía, accesibilidad y disponibilidad de alimento, así como hábitat para la reproducción.

## **Método**

Se integrará una base de datos de la distribución espacial y temporal de los cóndores liberados durante el periodo de enero a septiembre de 2008 a partir de las lecturas de los transmisores GPS.

Se elaborarán mapas digitales de elevación y satelitales con los datos de localización por transmisores GPS.

Se identificarán los sitios con diferente frecuencia de uso espacial y temporal del hábitat por los CCR.

Se realizarán visitas físicas a los sitios con mayor frecuencia de localización de los CCR y se tomarán fotografías de los componentes del hábitat.

## **Transmisión satelital**

El monitoreo satelital se realiza con el propósito de conocer el comportamiento individual del cóndor de California y en interacción con otros ejemplares del grupo, así como entender mejor el uso que hacen las aves de su ambiente.

Los cóndores de California son capaces de volar 300 km en un solo día en búsqueda de su alimento: la carroña. Vuelan sobre riscos y picos, zonas inaccesibles para los biólogos, sobre un terreno tan accidentado que es imposible realizar el seguimiento de los ejemplares en campo. Mediante transmisores satelitales se mantienen la localización de los cóndores el 100% del tiempo. La señal viaja desde el transmisor hasta el satélite y desde éste hasta las bases en tierra para ser distribuidas a sus usuarios en tiempo real, o bien diariamente por medio de Internet.

El transmisor satelital PTT 100, es abastecido por energía solar, lo cual lo hace un transmisor ligero, de 35 g de peso (el 0.30% del peso del ejemplar).

Los transmisores colocados a cada ejemplar envían señales a los satélites de la empresa Argos, que recoge la información. Argos cuenta con satélites de alta capacidad de recepción de señales, a partir de transmisores de muy baja potencia, como los utilizados sobre los cóndores.

Cada satélite avanza barriendo un plano terrestre de 5 mil km de lado. En su trayecto debe recibir señales del PTT 100, de tal forma que las distintas señales recibidas, por efecto Doppler, sirvan para determinar su ubicación en un sistema de coordenadas. Así, se determinan los parámetros de latitud y longitud.

Los satélites de Argos envían la información recibida a centrales terrestres, en forma redundante, para garantizar la exactitud de estos datos.

Los datos obtenidos por Argos llegan al Zoológico de San Diego para su análisis y utilización para guiar el manejo de las aves en campo.

No todas las coordenadas que se reciben a partir de los datos satelitales tienen el mismo grado de exactitud para definir la posición de los cóndores en el campo, ya que ello depende de la cantidad de señales enviadas por el PTT al satélite en su pasada, de la orientación del PTT respecto al satélite y de la exposición del cóndor a la recepción del satélite.

Existen siete tipos básicos de calidad de datos que se pueden recibir. Los datos de calidad 3 son los más exactos, siendo su error menor a 150 m. Los datos de calidad 2 tienen un error entre 150 y 350 m. Los datos de calidad 1 tienen un error entre 350 m y 1 km. Los datos de calidad cero tienen un error mayor a 1 km. Los datos de calidad A, B y Z no son útiles para el proyecto.

En el Zoológico de San Diego, en base a un mapa satelital, se vuelcan los datos calidad uno y dos para determinar la posición de los cóndores en campo.

La efectividad de cada transmisor es diferente en cuanto a la cantidad de señales transmitidas en relación con la calidad de las mismas. Por lo que es importante valorar la información recibida para la interpretación de los datos.

El sistema satelital ARGOS, utilizado en el presente proyecto, tiene más de 5 mil transmisores funcionando alrededor del mundo, aplicados a muy diversos estudios. El funcionamiento del sistema involucra la interacción de tres subsistemas: terminales transmisoras de plataforma (PTTs), segmento espacial y segmento terrestre.

**Terminales transmisoras de plataforma (PTTs).** Estos son los transmisores colocados a las aves. El PTT más pequeño, usado para rastrear aves, pesa menos de 25 gramos. El consumo de energía de todos los PTT es bajo debido, en parte, a la alta sensibilidad del equipo receptor. Esto posibilita una operación prolongada, de un año aproximadamente, según el poder de la batería utilizada. El modelo diseñado para el



monitoreo de los cóndores de California fue construido por la firma Microwave Telemetry Inc (USA). El modelo es PTT 100, suficientemente pequeño (5.5 cm x 2.8 x 1.8) y ligero (35 g) para no afectar el vuelo normal de los cóndores, en particular lo jóvenes.

Los PTTs transmiten sus mensajes a intervalos preestablecidos, directamente al satélite.

**Segmento espacial.** Los instrumentos de Argos están a bordo de los Satélites Medioambientales de Orbitación Polar (POES) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los satélites reciben los mensajes de Argos desde los PTTs y los transmiten a tierra en tiempo real.

**Segmento terrestre.** Son las estaciones de recepción, las tres principales, (Wallops Island, Virginia, USA; Fairbanks, Alaska, USA; y Lannion, Francia) reciben todos los mensajes grabados por el satélite durante una revolución orbital, proveyendo una cobertura global completa. Las estaciones receptoras regionales reciben la información transmitida desde los satélites en tiempo real, cada vez que un satélite está dentro del círculo de visibilidad de la estación.

La exactitud de la localización se determina usando varios parámetros de cálculo: la separación de los mensajes durante la pasada, la duración, la separación angular de la tierra y la velocidad de la plataforma. Como resultado se obtienen las coordenadas espaciales de latitud y longitud que posicionan a un determinado PTT. Los datos de Argos se distribuyen por networks como Internet.



Figura 1. A la derecha transmisor satelital, a la izquierda radiotransmisor



Figura 2. Transmisor satelital colocado al cóndor No. Stood Book 218  
Reintroducido en la Sierra de San Pedro Mártir en el año 2002



Figura 3. Colocación de transmisor satelital a un cóndor de California reintroducido en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California.



Figura 4. Terminales transmisoras de plataforma (GPS), y segmentos espacial y terrestre del sistema de transmisión satelital

## Resultados

Mapas de las Áreas de vuelos de los cóndores de los cóndores de California reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, por individuo por mes, de abril a septiembre de 2008.

Figura 5. Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM, con número de identificación 217, 218, 220, 261, 269, 284, 320, 321 y 322, durante Abril de 2008

**Abril de 2008**

### **Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California**

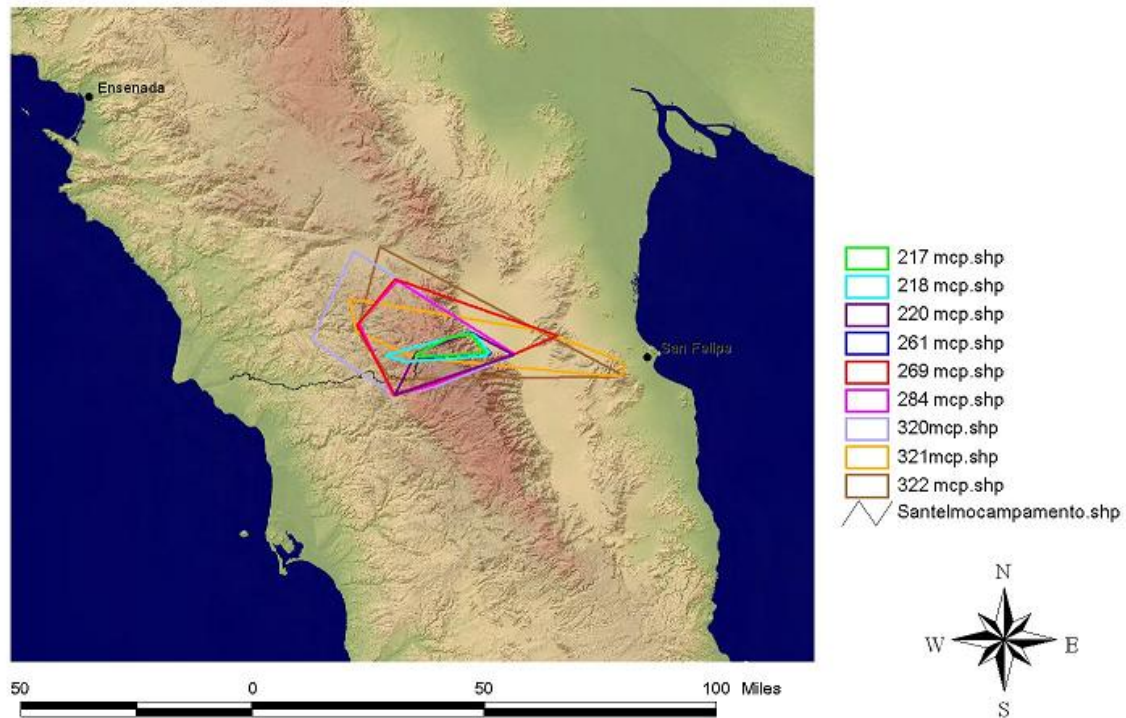


Figura 6. Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM, con número de identificación 217, 218, 220, 269, 284, 320, 321 y 322, durante mayo de 2008.

**Mayo de 2008**

**Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California**

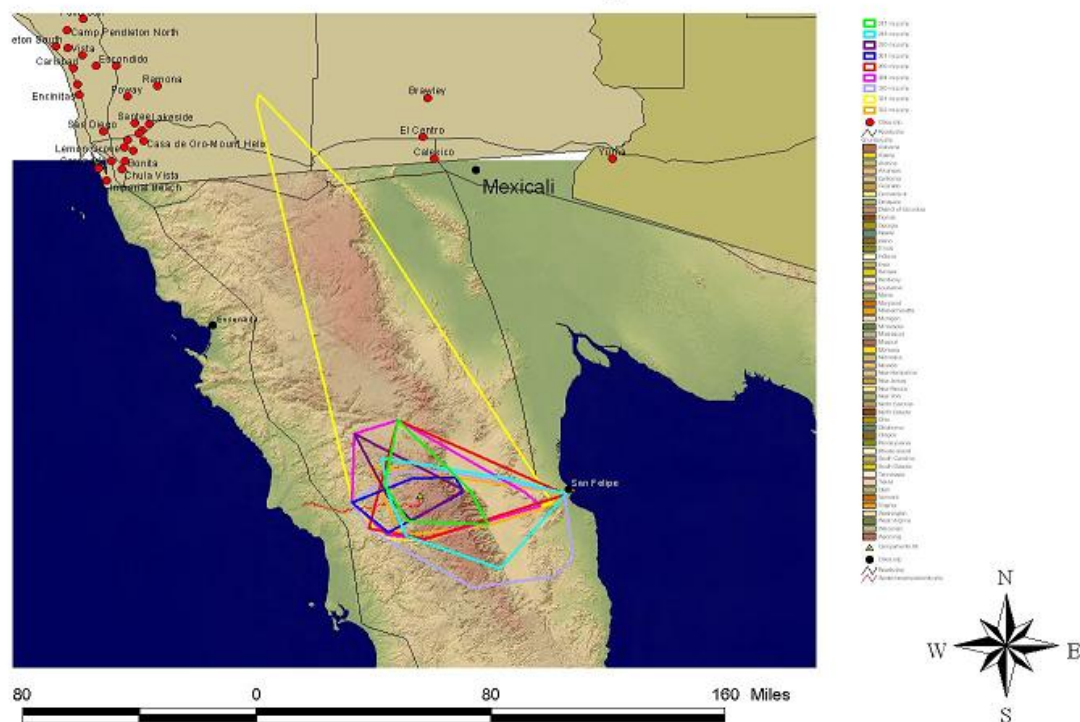




Figura 7. Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM, con número de identificación 217, 218, 220, 269, 284, 320, 321 y 322, 359, 361, 362, 373 y 390 durante junio de 2008.

**Junio de 2008**

**Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la  
Sierra de San Pedro Mártir, Baja California**

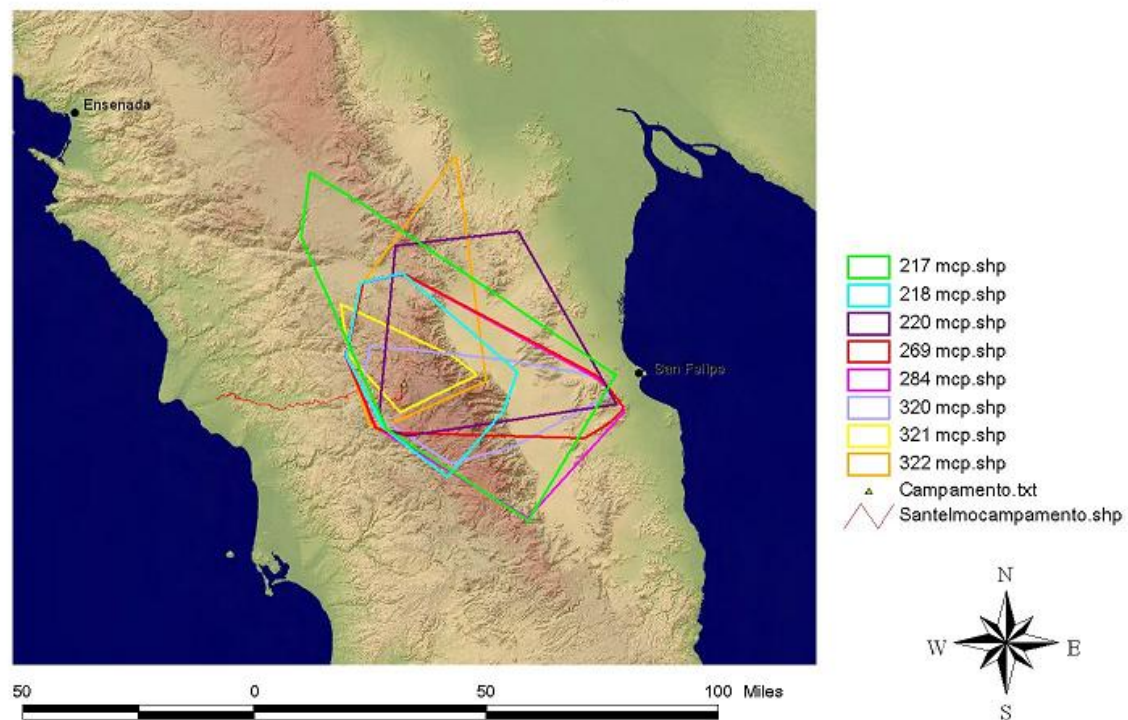


Figura 8. Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM, con número de identificación 217, 218, 220, 284, 320, 321, 322, 359, 361, 362, 373 y 390 durante julio de 2008.

**Julio de 2008**

**Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la  
Sierra de San Pedro Mártir, Baja California**

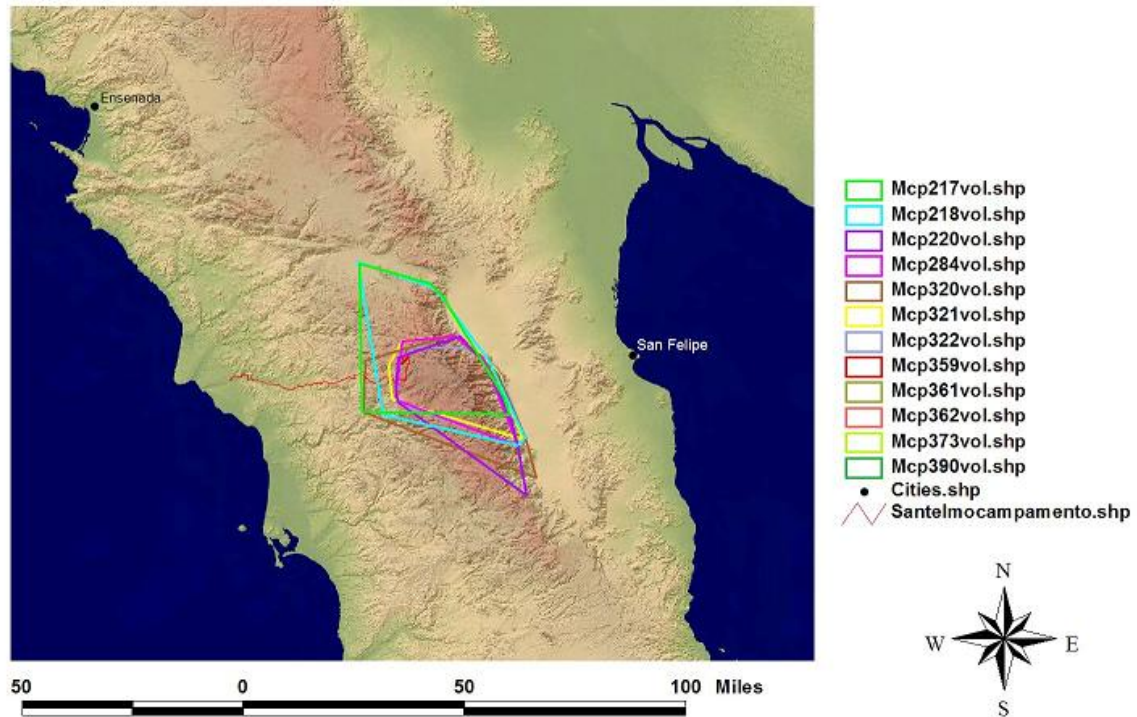


Figura 9. Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM, con número de identificación 217, 218, 220, 269, 284, 320, 321, 322, 359, 361, 362, 373 y 390 durante agosto de 2008.

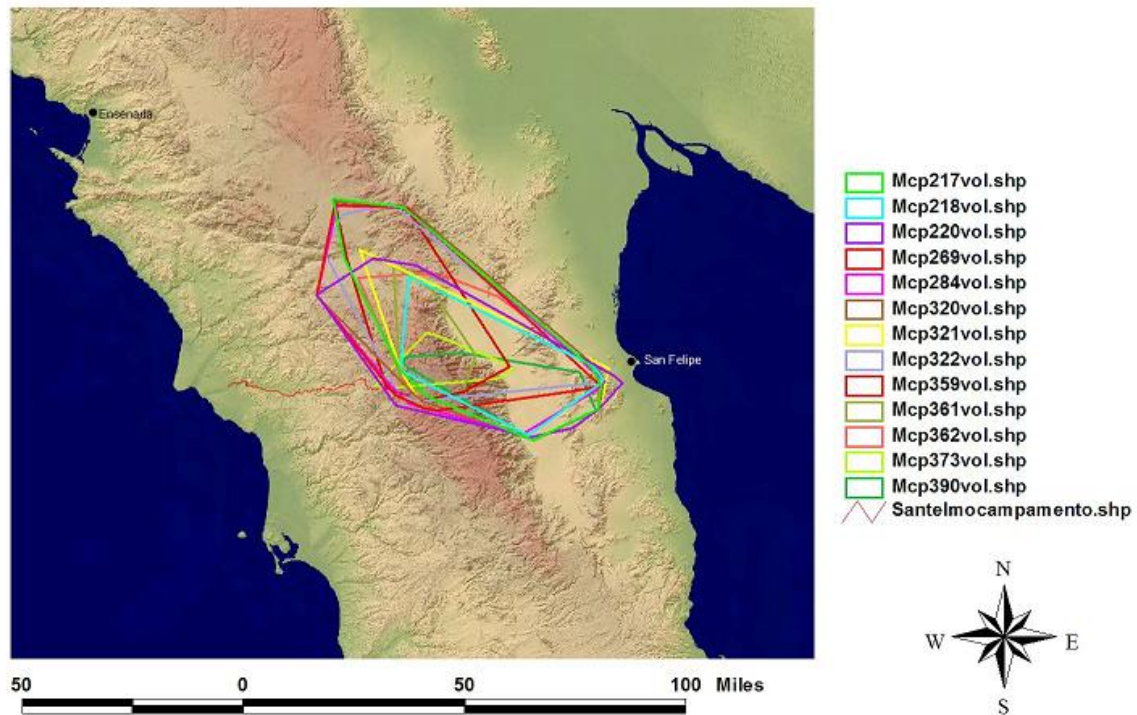




Figura 10. Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM, con número de identificación 217, 218, 220, 269, 284, 320, 321, 322, 359, 361, 362, 373 y 390 durante septiembre de 2008.

**Septiembre de 2008**

**Rango de vuelo de los cóndores de California reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California**



**Nota:** la base de datos en Excel usada para generar las imágenes mensuales de abril a septiembre de 2008, del uso especial y temporal del hábitat por los cóndores de California reintroducidos en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, se encuentra en resguardo en la Dirección de Conservación de los Ecosistemas del Instituto Nacional de Ecología. Periférico Sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco, C. P. 04530, México, D. F. Tel: 54 24 64 48 y Fax: 54 24 53 98.

## **Interpretación de resultados de monitoreo satelital**

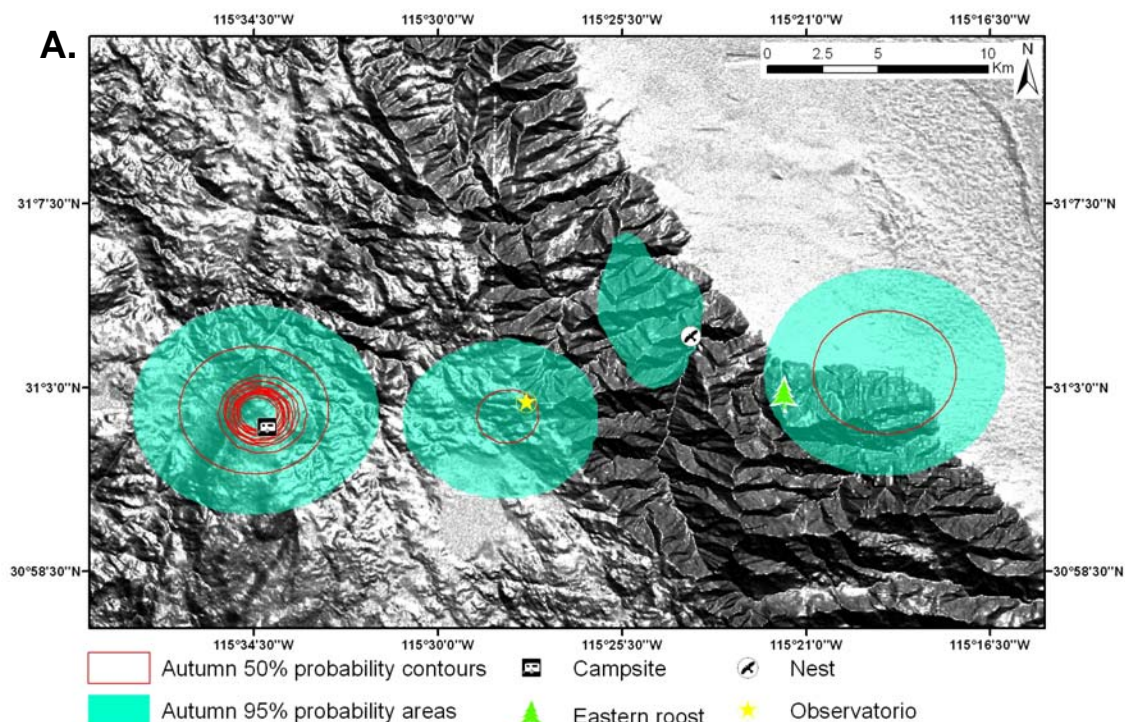
El proyecto está basado en el monitoreo de los movimientos de los cóndores para conocer su uso del hábitat y su proceso de establecimiento. Para tal efecto, desde el inicio del proyecto, se ha utilizado la radio telemetría y de manera creciente se ha incorporado la tecnología de recepción satelital para incrementar la exactitud y frecuencia de los datos de los movimientos de los cóndores de California reintroducidos en la SSPM.

Los transmisores utilizados al inicio del proyecto (2003 – 2004), no transmitían la misma frecuencia y calidad de datos que los utilizados posteriormente, debido en parte a que ahora presentan un mejor diseño y también se ha mejorado el manejo de los transmisores al ser colocado en los animales que se encuentran en el aviario. Fue necesario experimentar para aprender que es mejor remover los transmisores de las aves que se recapturan y permanecen en el aviario por un periodo prolongado para que no dañen sus transmisores. Asimismo, conforme se avanza en el proyecto, se ha aprendido que realizar las liberaciones usando un periodo más corto de aclimatación en el aviario es mejor y que previamente a las liberaciones, se deben colocar los transmisores durante la noche e inmediatamente liberar a las aves, de esta forma se evita el posible daño a los transmisores por contacto con rocas durante su estancia en el aviario pequeño de liberación. Las observaciones indican que los cóndores ven bien con poca luz y son capaces de encontrar fácilmente sitios para perchar en los árboles aún en la oscuridad.

Para conocer la probabilidad estadística de la distribución espacial y temporal de los movimientos de los cóndores, se usaron los datos de las coordenadas de localización por transmisión satelital de 14 cóndores monitoreados durante varios periodos entre 2005 y 2008. Los datos se organizaron por estación, considerando otoño del 22 de septiembre al 20 de diciembre; invierno del 21 de diciembre al 19 de marzo; primavera del 20 de marzo al 19 de junio y verano del 20 de junio al 21 de septiembre. Se utilizó la extensión Hawth's Tools de ArcGIS v9 para calcular el rango hogareño para los datos en cada estación, usando una validación mediante mínimos cuadrados cruzados como parámetro suavizado. El porcentaje del contorno del volumen representa el límite del área que contiene el 50 y el 95% de la probabilidad de la densidad de la distribución

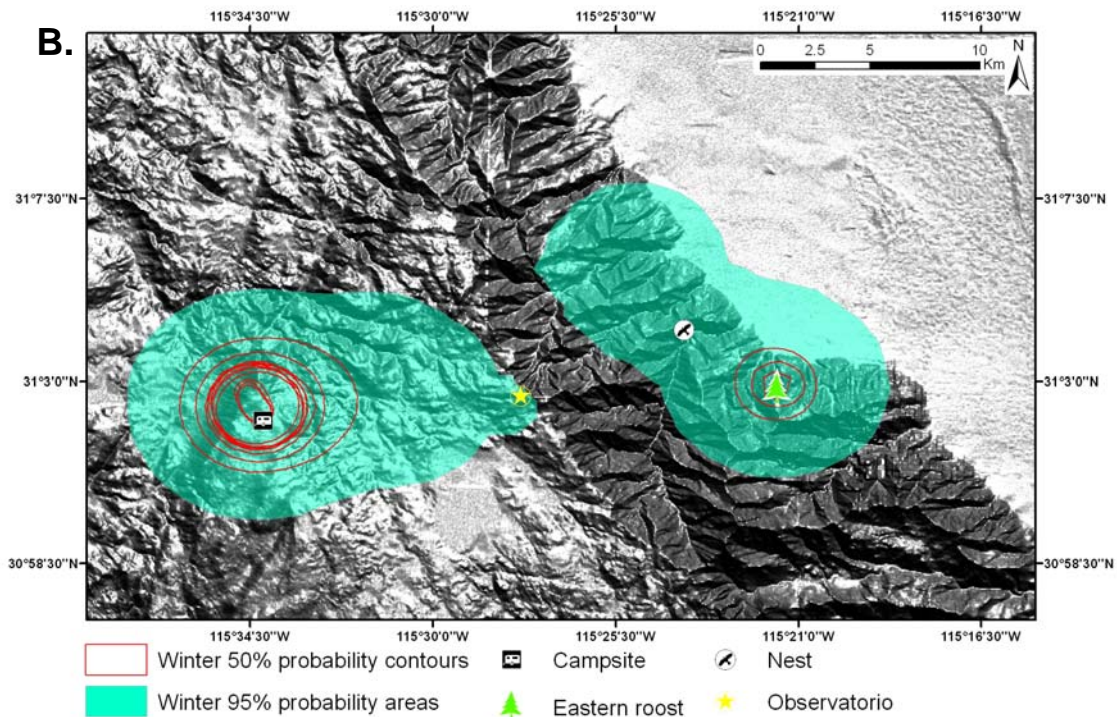
para el rango hogareño de cada cóndor. El rango hogareño para cada ave individual fue después sobrepuesto encima de cada uno de los otros y unidos para generar el rango hogareño combinado de la población de cóndores ( $n = 14$ ) en la SSPM, por estación. En los mapas generados (figuras A, B, C y D) se observa en las aves una tendencia a moverse relativamente rápido desde el área de alimentación (cercana al campamento) hacia el área preferida de descanso en los cañones del este y parece que no se arriesgan mucho a explorar nuevas áreas (sólo 5% de su tiempo) fuera del área núcleo principal durante el invierno. En invierno solo 3 aves estuvieron la mayor parte de su tiempo en el lado este de la sierra. Durante la primavera las aves tienen las mejores condiciones de vuelo y expanden el uso de todas las áreas dentro de su rango hogareño. En el verano se mantienen la mayor parte del tiempo cerca del área de alimentación donde en alguna forma pueden estar atraídos por los nuevos cóndores liberados, ya que el verano es la época del año en que se realizan las nuevas liberaciones y los menos experimentados cóndores permanecen generalmente restringidos al área alrededor de los sitios de alimentación. El otoño parece ser una época de transición para dar lugar a los patrones de movimiento del invierno.

**Figura 31.** Rango hogareño calculado mediante localizaciones con GPS de cóndores reintroducidos en la SSPM entre 2005 y 2008. Los puntos individuales de localización fueron sobrepuestos para crear rangos por estación. **A:** otoño.

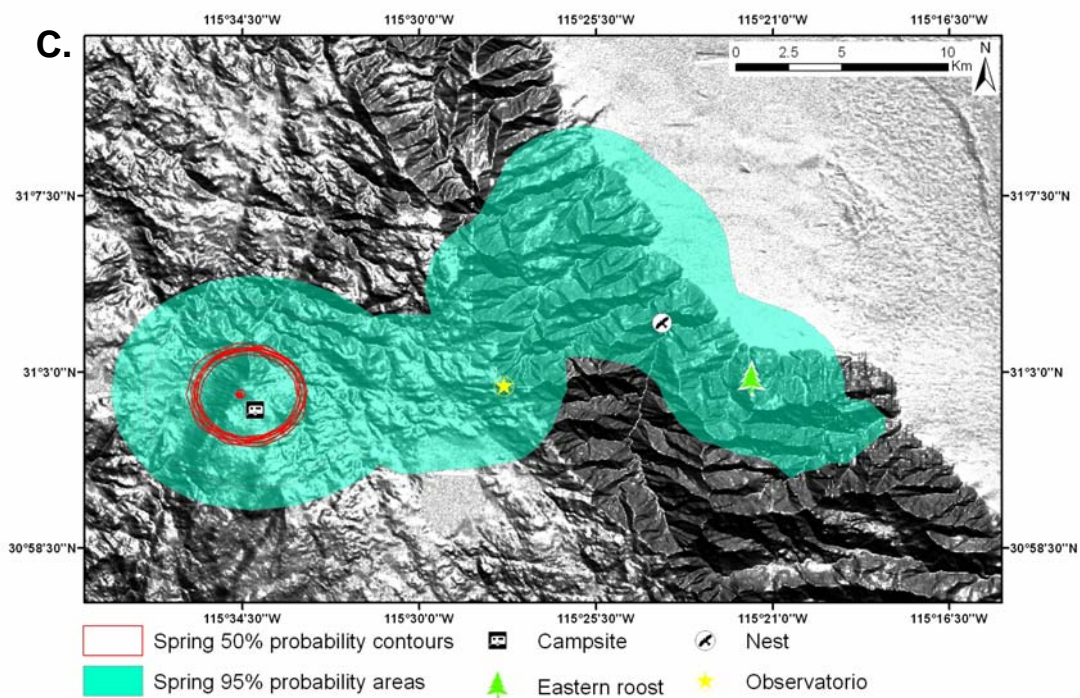




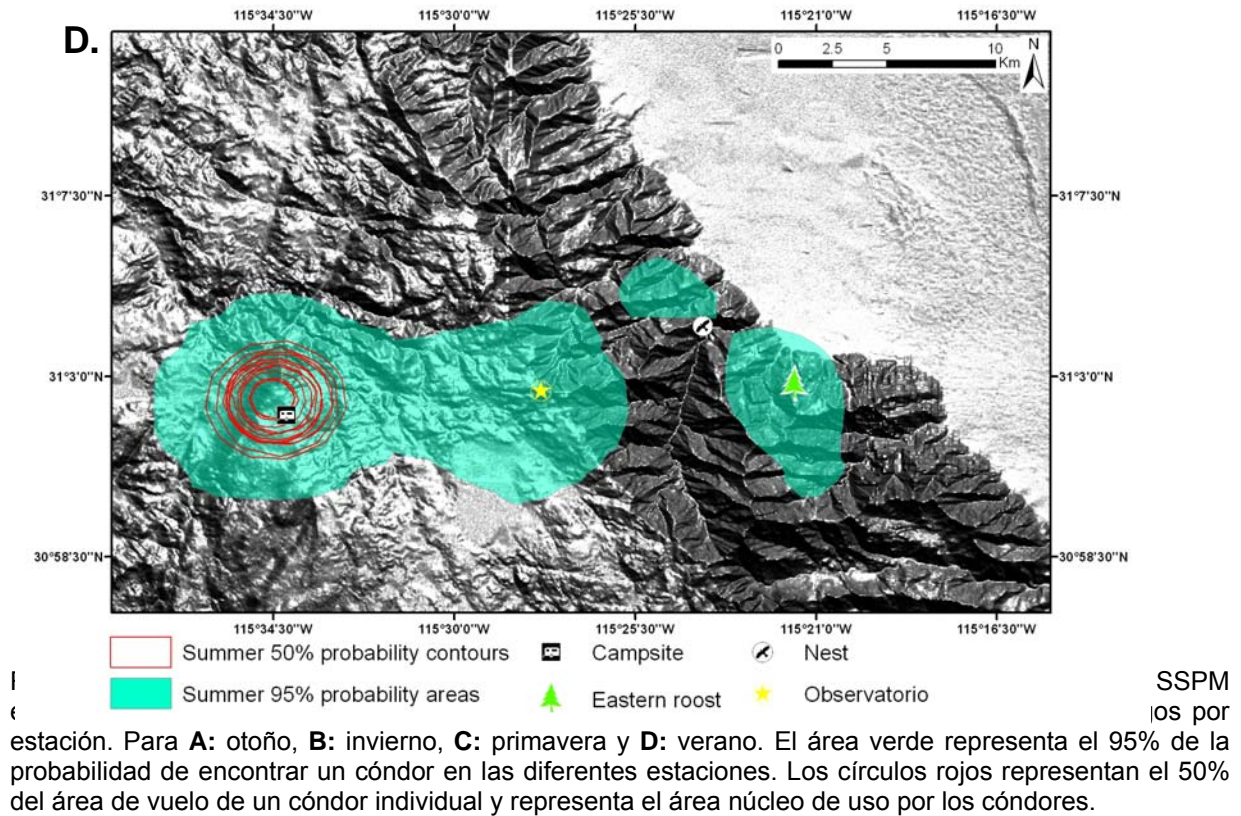
**Figura 32.** Rango hogareño calculado mediante localizaciones con GPS de cóndores reintroducidos en la SSPM entre 2005 y 2008. Los puntos individuales de localización fueron sobrepuestos para crear rangos por estación. Para **B**: invierno.



**F** la SSPM entre 2005 y 2008. Los puntos individuales de localización fueron sobrepuestos para crear rangos por estación. Para **C**: Primavera



**Figura 34.** Rango hogareño calculado mediante localizaciones con GPS de cóndores reintroducidos en la SSPM entre 2005 y 2008. Los puntos individuales de localización fueron sobrepuestos para crear rangos por estación. Para **D: verano**



### Literatura de referencia

- BUCKLEY, N. J. 1996. Food finding and the influence of information, local enhancement, and communal roosting on foraging success of North American vultures. *Auk* 113:473-488.
- CADE, T. J., S. A. H. OSBORN, W. G. HUNT, AND C. WOODS. 2004. Commentary on released California Condors *Gymnogyps californianus* in Arizona. Pages 11-25 *in* Raptors Worldwide (R. D. Chancellor and B.-U. Meyburg, Eds.). Proceedings of the 6<sup>th</sup> World Conference on Birds of Prey and Owls. WWGBP/MME-Birdlife, Hungary.
- CLARK, M., M. P. WALLACE, AND C. DAVID . 2006. Rearing California Condors for release using a modified puppet-rearing technique. Pages 213-226 *in* California Condors in the 21<sup>st</sup> Century (A. Mee, L. S. Hall, and J. Grantham, Eds.). Special Publication of the American Ornithologists' Union and Nuttall Ornithological Club. 2007.
- DONÁZAR, J. A., A. TRAVAINI, O. CEBALLOS, A. RODRÍGUEZ, M. DELIBES, AND F. HIRALDO. 1999. Effects of sex-associated competitive asymmetries on foraging group structure and despotic distribution in Andean condors. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 45:55-65.
- HUNT, W. G., C. N. PARISH, S. C. FARRY, T. G. LORD, AND R. SIEG. 2006. Movements of introduced California Condors in Arizona in relation to lead exposure. Pages xx-xx *in* California Condors in the 21<sup>st</sup> Century (A. Mee, L. S. Hall, and J. Grantham, Eds.). Special Publication of the American Ornithologists' Union and Nuttall Ornithological Club.
- JÁCOME, N. L. 2005. Programa binacional de conservación del Cóndor Andino Chile y Argentina. Registro Sudamericano del Cóndor Andino Jardín Zoológico de la Ciudad de Buenos Aires, República de la India 3000 (1425) Buenos Aires, Argentina.
- KENWARD, E. 2000. A manual for wildlife radio tagging. Academic Press, London.
- KOFORD, C.B. 1953. The California Condor. National Audubon Society Research Report no. 4:1-154.
- LIEBERMAN, A., J. V. RODRIGUEZ, J. M. PAEZ, AND J. WILEY. 1993. The reintroduction of the Andean Condor into Colombia, South America: 1989-1991. *Oryx*. 27:83-90.

- LORENZ, K. Z. 1981. The formations of ethology: the principal ideas and discoveries in animal behavior. Simon and Schuster, New York.
- MERETSKY, V. J., AND N. F. R. SNYDER. 1992. Range use and movements of California condors. *Condor* 94:313-335.
- MERETSKY, V.J., N.R.F. SNYDER, S.R. BEISSINGER, D. A. CLENDENEN, AND J. WILEY. 2000. Demography of the California condor: implications for reestablishment. *Conservation Biology* 14:957-967.
- WALLACE, M. P. 1991. Methods and strategies for releasing California condors to the wild. Pages 121-128 *in* American Association Of Zoological Parks and Aquariums Annual Conference Proceedings, AAZPA, Wheeling, WV.
- WALLACE, M. P. 1994. The control of behavioral development in the context of reintroduction programs in birds. *Zoo Biology* 13:491-499.
- WALLACE, M. P., AND S. A. TEMPLE. 1983. An evaluation of techniques for releasing hand-reared vultures to the wild. Pages 400-423 *in* Vulture Biology and Management. (S. R. Wilbur and J. A. Jackson, Eds.). University of California Press, Los Angeles.
- WALLACE, M.P., AND S.A. TEMPLE. 1987. Competitive interactions within and between species in a guild of avian scavengers. *Auk* 104:290-295.
- WALLACE, M.P., AND S.A. TEMPLE. 1988. A comparison between raptor and vultures hacking techniques. Pages 75-81 *in* Proceedings of the International symposium on raptor reintroduction (D. K. Garcelon and G. W. Roemer, Eds.). Institute for Wildlife Studies, Arcata, California.

### **III. Análisis de oportunidades de restauración del estuario del Río Colorado**

#### **Introducción**

Este reporte describe avances en el proyecto durante los meses de abril y mayo para cada uno de los objetivos específicos del mismo. Las actividades se han realizado en colaboración con Pronatura Noroeste, la Universidad de Arizona, y la Universidad Autónoma de Baja California. El objetivo general del proyecto es determinar una línea base de las condiciones del estuario del Río Colorado en la temporada de primavera-verano, incluyendo su interacción con el Río Hardy-Colorado, y los criterios que guíen el desarrollo de una estrategia de restauración. A continuación se describen los avances de las actividades realizadas en cada objetivo específico.

#### ***I. RESULTADOS POR OBJETIVOS***

Este reporte describe las actividades y resultados del proyecto para cada uno de los objetivos específicos del mismo. Las actividades se realizaron en colaboración con Pronatura Noroeste, la Universidad de Arizona, y la Universidad Autónoma de Baja California. El objetivo general del proyecto fue determinar una línea base de las condiciones del estuario del Río Colorado en la temporada de primavera-verano, incluyendo su interacción con el Río Hardy-Colorado, y los criterios que guíen el desarrollo de una estrategia de restauración.

***Objetivo 1: Determinar las características de calidad de agua y si existe algún riesgo inmediato o a largo plazo para la biota del alto Golfo de California***

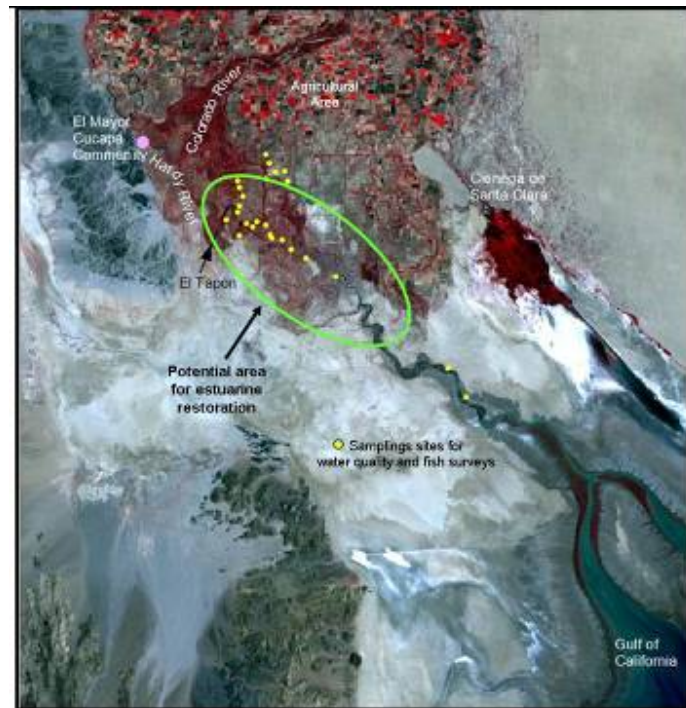
En marzo del 2008 se inicio el monitoreo<sup>1</sup> de parámetros de salinidad, pH, temperatura, y oxígeno disuelto utilizando un instrumento Quanta Hydrolab® en 15 puntos a lo largo del río Hardy y en el estuario (figura 1). La tabla I muestra un ejemplo de los resultados obtenidos. La base de datos que se ha creado incluye mediciones de parámetros fisicoquímicos hasta el mes de septiembre.

---

<sup>1</sup> El muestro se realizó por Alejandra Calvo, estudiante de maestría de la UABC.



En el mes de Julio se tomaron muestras de agua y sedimentos y se mandaron al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC para el análisis de nutrientes, coliformes totales y *Escherichia coli*, selenio, y pesticidas.



**Figura 1.** Imagen de satélite indicando los puntos de muestreo de calidad de agua y peces, así como la zona con potencial de restauración (Cortesía de Department of Geosciences, University of Arizona).

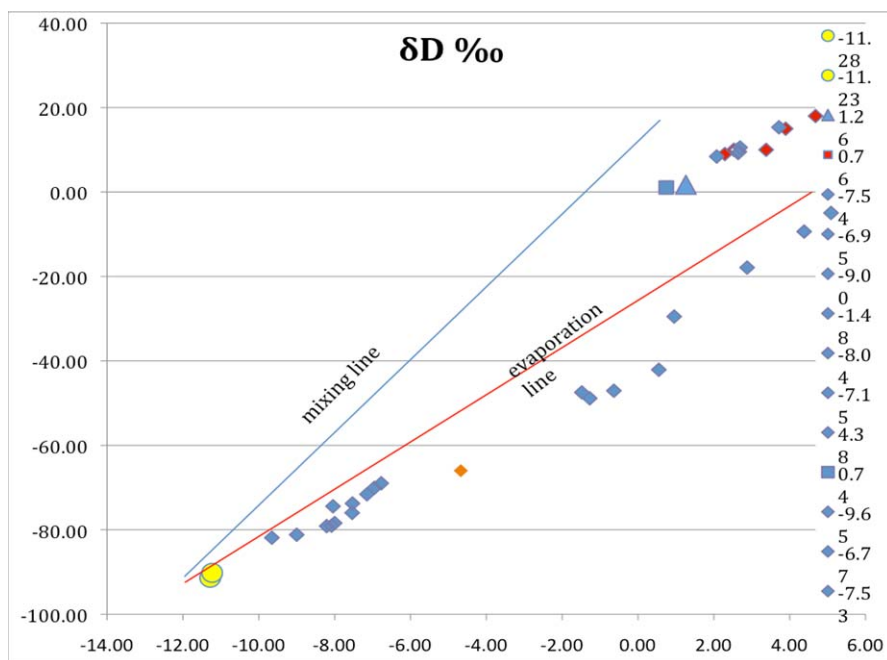
En Mayo y en Agosto se realizó una salida al estuario con diferentes propósitos, uno de ellos fue la toma de siete muestras de agua para determinar la concentración de los isótopos de  $\delta^{18}\text{O}$  ‰ and  $\delta\text{D}$  ‰ (Figura 2 y 3) que nos permitirá determinar si el origen del agua es marino o de agua dulce. Durante la salida también se midió la salinidad del agua, teniendo variaciones que van desde 5 partes por mil (ppm) hasta 70 ppm en la zona, seguramente debidas a la alta evaporación. Actualmente estas muestras están siendo procesadas en la Universidad de Arizona.

Tabla I. Parámetros fisicoquímicos en los puntos de muestreo para el mes de marzo 2008.

SITIO CLAVE	HORA	Temp oC	SpC (mS/cm)	DO (mg/L)	pH	Depth (m)	Salin (PSS)	DO% (fijado al 110%)	FECHA
RHUP1	15:15	17.53	4.89	5.33	8.07	2.2	2.61	47.6	18-Mar-08
RHUP2	15:38	18.69	4.91	5.41	8.31	2.1	2.61	53.2	18-Mar-08
RHUP3	16:00	17.56	5.1	7.9	8.75	2.2	2.12	85.5	18-Mar-08
RHUP4	16:20	18.44	5.24	7.05	6.22	2	2.8	42.3	18-Mar-08
RHUP5	16:35	19.02	5.34	5.7	4.75	2	2.75	56.8	18-Mar-08
RHUP6	16:48	18.61	5.44	8.28	8.59	2.3	2.9	70.1	18-Mar-08
RHUP7	17:00	18.62	5.52	11.56	8.88	2.1	2.95	91.5	18-Mar-08
RHUP8	17:45	18.01	5.6	10.71	8.95	2.2	3	95.1	18-Mar-08
RHUP9	12:21	16.28	5.67	9.56	8.23	2.3	3.04	78.9	18-Mar-08
RHUP10	12:48	18.68	5.73	10.14	9.02	2	3.08	98.3	19-Mar-08
RHUP11	13:03	20.41	5.76	10.98	9.05	2	3.1	108.9	19-Mar-08
RHUP12	12:12	18.72	5.79	8	8.52	2.2	3.11	68	19-Mar-08
RHUP13	11:57	19.9	6.74	7.11	8.75	2.4	3.66	75.8	19-Mar-08
RHUP14	11:45	18.42	6.77	5.02	8.02	2.2	3.68	25.1	19-Mar-08
RHUP15	11:30	20.6	6.91	8.45	8.79	2	3.8	84.2	19-Mar-08
RHDO1	10:42	18.17	5.07	7.2	7.87	2	2.7	50.3	23-Mar-08
RHDO2	14:30	22.62	5.12	9.42	8.48	1.9	2.72	75.8	23-Mar-08
RHDO3	14:13	20.68	5.11	7.85	8.21	2	2.73	64.5	23-Mar-08
RHDO4	11:50	18.77	9.08	6.76	7.42	2.1	5.03	51.9	23-Mar-08
RHDO5	11:40	16.91	6.98	5.66	8.31	2	3.7	56.4	20-Mar-08
RHDO6	13:40	20.65	6.41	9.55	8.33	2	3.46	70	23-Mar-08
RHDO7	13:10	20.54	6.47	9.38	8.3	1.9	3.5	69.7	23-Mar-08
RHDO8	12:33	20.5	6.56	10.61	8.47	2.1	3.55	69.4	23-Mar-08
RHDO9	12:12	19.63	7.16	7.54	8.41	1.9	3.91	56.4	23-Mar-08
RHDO10	0	0	0	0	0	0	0	0	23-Mar-08
D1	11:32	16.62	7.83	7.42	8.26	2.1	3.94	60.8	20-Mar-08
D2	11:29	16.7	7.04	8.77	8.32	2.2	3.82	66.9	20-Mar-08
D3	11:23	16.1	7.03	9.37	8.27	2.2	3.91	70.1	20-Mar-08
D4	11:18	16.77	8.05	8.12	8.1	2.2	4.89	54.2	20-Mar-08
D5	11:11	14.97	6.48	9.66	8	2.2	3.51	58.3	20-Mar-08
D6	11:01	14.58	5.77	8.08	7.97	2	3.19	50.88	20-Mar-08
D7	10:53	14.95	6.18	8.1	7.92	2.2	3.33	45	20-Mar-08
D8	10:43	16.25	7.69	9.17	8.2	2.3	4.19	55.1	20-Mar-08
D9	10:25	15.49	9.03	8.48	8	2.3	5.19	52.7	20-Mar-08
D10	14:00	21.32	6.83	7.18	8.23	2	3.72	66.8	24-Mar-08
D11	13:20	20.44	6.61	5.56	8.08	2.1	3.59	55.6	24-Mar-08
D12	13:04	19.88	6.64	5.28	8.01	2.1	3.61	45.2	24-Mar-08
D13	12:55	20.31	6.73	6.24	8.06	2.1	3.66	52.1	24-Mar-08
D14	12:36	20.33	6.8	6.45	8.08	2	3.7	57.1	24-Mar-08
D15	12:11	20.31	6.84	7.92	8.07	1.9	3.73	59	24-Mar-08
C1	7:53	17.85	63.2	7.2	8.15	2.2	42.01	70.4	24-Mar-08
C2	9:25	18.82	62.1	6.97	8.14	2.2	41.41	74.8	24-Mar-08



**Figura 2.** Dr. Francisco Zamora tomando muestra de agua en el Río Colorado durante la subida de la marea en mayo 5, 2008.



**Figura 3.** Resultados del análisis de isótopos mostrando no evidencia de mezcla de agua de mar con agua dulce.

**Objetivo 2:** *Determinar la diversidad y abundancia de la comunidad de peces para la temporada de primavera-verano.*

Se realizaron un total de seis muestreos mensuales<sup>2</sup> de peces en 41 localidades en la zona de estudio (Figura 1) utilizando trampas y chinchorros con diferente luz de malla. La tabla II muestra el número de peces capturados de 15 especies. La tabla III y IV muestran las especies capturadas en chinchorros y trampas, respectivamente. De cada individuo colectado se identifica la especie, se mide el peso y su longitud. También se colectaron los contenidos estomacales de la lisa (*Mugil cephalus*), con un total de 120 pruebas volumétricas. La lisa fue seleccionada como una especie indicadora de las condiciones del estuario.

En mayo 4-5 se realizó un muestreo especial de peces en dos sitios estratégicos durante la marea alta (ver objetivo 5), con el objetivo de observar las especies que son transportadas por la marea. El resultado fue positivo ya que se capturaron decenas de especímenes de lisa (figura 4) que subieron con la marea hacia la zona con potencial de restauración, y que regresaron al mar al bajar la marea. Esto es un indicativo de que al menos en mareas de 5.72 metros o mayores existe conectividad entre el mar y la zona con potencial de restauración.

En el muestreo de agosto se observaron especies marinas aguas arriba de la barra de arena, indicando que aunque limitada, existe cierta conectividad entre el río y el mar. La conexión es en parte obstruida por un camino que se construyó atravesando el río, y el cual las alcantarillas se han colapsado (Figura 5), y solo en mareas altas es traspasado y el agua de mar puede fluir río arriba. Es en este camino donde se propone instalar alcantarillas nuevas para mejorar la conectividad entre el río y las mareas.

---

<sup>2</sup> El muestro se realizó por Alejandra Calvo, estudiante de maestría de la UABC.

**Tabla III.** Especies de peces y número de individuos por especie capturas hasta el momento

ESPECIE	TOTAL
<i>Mugil cephalus</i>	555
<i>Cyprinus carpio</i>	83
<i>Dorosoma petenense</i>	17
<i>Cyprinella lutrensis</i>	10
<i>Poecilia latipinna</i>	10
<i>Cynoscion golfina</i>	9
<i>Micropterus salmoides</i>	8
<i>Gillichthys mirabilis</i>	5
<i>Gambusia affinis</i>	3
<i>Tilapia</i>	3
<i>Pomoxis annularis</i>	2
<i>Lepomis macrochirus</i>	1
<i>Ictalurus punctatus</i>	1
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	1
<i>Anchoa de Walkerii</i>	1
	709

**Tabla III y IV.** Numero de individuos colectados por especie en trampas y en chinchorros.

CHINCHORRO	
ESPECIE	NUM. DE INDIVIDUOS
<i>Mugil cephalus</i>	477
<i>Cyprinus carpio</i>	52
<i>Cynoscion golfina</i>	9
<i>Micropterus salmoides</i>	6
<i>Pomoxis annularis</i>	2
<i>Lepomis macrochirus</i>	1
<i>Ictalurus punctatus</i>	1
<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	1
<i>Anchoa de Walkerii</i>	1
<b>Total</b>	<b>550</b>

41 sitios\*3 hrs.\*2 visitas= 246 hrs

TRAMPA	
ESPECIE	NUM.DE INDIVIDUOS
<i>Cyprinus carpio</i>	16
<i>Cyprinella lutrensis</i>	10
<i>Poecilia latipinna</i>	10
<i>Gillichthys mirabilis</i>	5
<i>Gambusia affinis</i>	3
<i>Micropterus salmoides</i>	1
<b>Total</b>	<b>45</b>
39 sitios * 24= 936 hrs.	



**Figura 4.** Alejandra Calvo, estudiante de maestría de la UABC, midiendo una de las lisas capturadas durante la salida de mayo 5, 2008.



**Figura 5.** Camino que cruza y obstruye el río Colorado a la altura del poblado del Indiviso. El camino fue construido para pasar del poblado hacia la carretera hacia San Felipe – un ahorro de al menos una hora de camino. EL camino tiene 2 alcantarillas las cuales se colapsaron y limitan el paso de regreso al mar de peces que lograron subir río arriba con las mareas. En la foto se observan decenas de lisas muertas en el camino al intentar cruzar. En la foto se observa un tubo de PVC en donde se colocó un sensor de nivel de agua.





**Figura 6.** Foto del mismo camino durante una marea mayor de 5.7 metros. Se puede observar la extensión de la inundación. Como referencia se tiene el tubo de PVC que se observa en la foto anterior.

**Objetivo 3:** *Determinar la línea base de la comunidad de aves en la zona del Río Hardy-estuario, incluyendo índices de abundancia y diversidad, y caracterizar la composición de la avifauna en la zona*

Se definieron dos metodologías a usarse:

- Conteo por puntos de radio variable (Ralph et al. 1995), en 60 puntos distribuidos a lo largo del Río Hardy (20 en la Zona Alta del Hardy, 20 en la Zona Baja, y 20 en la Zona Estuarina), con una distancia de 1 Km. entre cada punto.
- Muestreos de llamado-respuesta, siguiendo los Protocolos Estandarizados para el Monitoreo de Aves de Marisma de Norteamérica (Conway 2002). Los conteos se realizarán en 35 puntos, en las zonas de marisma del área de estudio.

El trabajo de campo consiste en 2 sesiones de trabajo de campo para el conteo por puntos, una sesión para monitoreo de aves de marisma, y una sesión inicial para la selección y preparación de los transectos. Al momento, se han completado las siguientes actividades:

- Diseño de muestreo y selección de sitios de estudio (Figura 7 y 8)
- Monitoreo de aves de marisma en 35 puntos, completados en el mes de Abril (Tabla V).

## **Diseño de muestreo**

### *Puntos de conteo*

El diseño de muestreo se realizó con la meta de obtener estimaciones precisas de los índices de la comunidad de aves (abundancia, riqueza y composición) en las tres zonas del Río Hardy: Zona Alta (arriba de El Tapón), Zona Baja (porción entre El Tapón y la barra de arena) y la Zona Estuarina (porción entre la barra de arena y la desembocadura del río en el Alto Golfo).

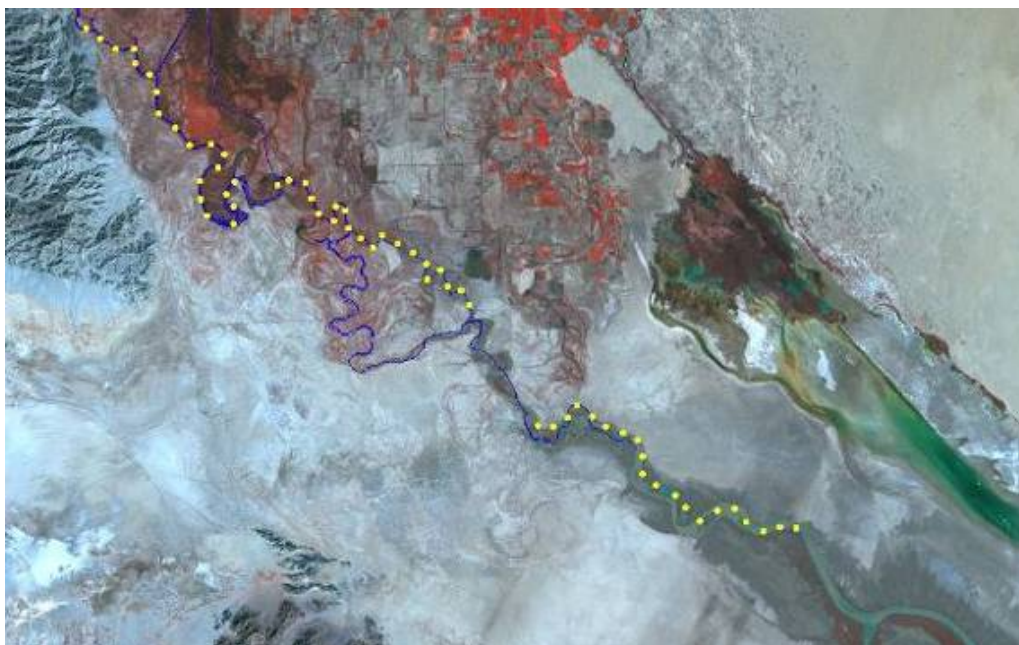
Para cada zona se seleccionaron 20 puntos de muestreo, localizados a 1 Km. de distancia entre ellos, medida respecto a la configuración del río.

### *Aves de marisma*

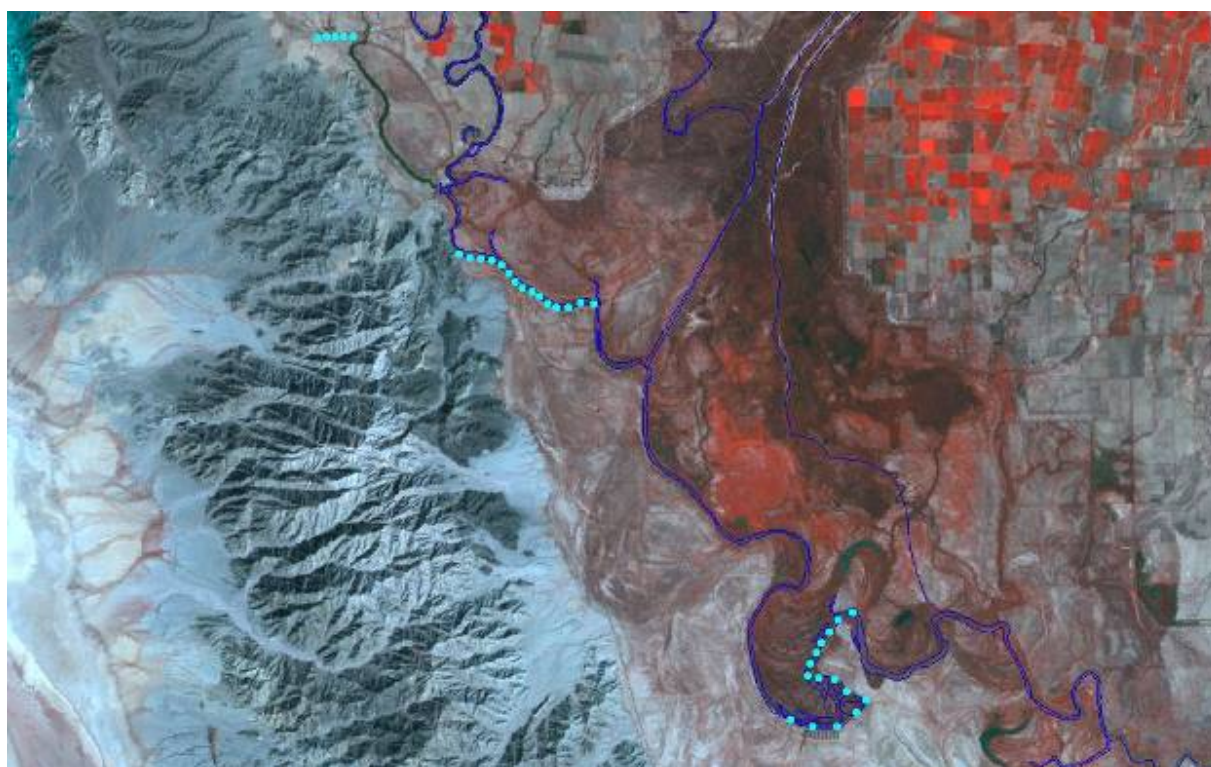
El diseño de muestreo se realizó con la meta de obtener estimaciones de abundancia y tendencia poblacional de las aves de marisma en la zona, en particular: *Laterallus jamaicensis*, *Ixobrychus exilis*, *Porzana carolina*, *Rallus limicola*, *Rallus longirostris*, y *Botaurus lentiginosus*.

Los puntos de muestreo se encuentran agrupados en tres rutas: Mariana (zona agrícola del Hardy), Muñoz (Zona Alta) y Tapón (en las zonas aledañas a El Tapón), y se localizaron de acuerdo a la presencia de vegetación de marisma en la zona.





**Figura 7.** Sitios de muestreo para los puntos de conteo en el Río Hardy



**Figura 8.** Sitios de muestreo para el monitoreo de aves de marisma en el Río Hardy

### **Resultados - Aves de Marisma**

Durante el conteo que se realizó el mes de abril, se detectaron en total 62 aves de marisma, principalmente Garcita de Tular (*Ixobrychus exilis*), Palmoteador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*) y Sora (*Porzana carolina*; Tabla V.

**Tabla V** – Resultados de los conteos de aves de marisma en el Río Hardy, abril 2008.

<b>Especie</b>	<b>Mariana</b>	<b>Tapón</b>	<b>Mayor</b>	<b>Total</b>
<i>Rallus longirostris</i>	8	4	6	18
<i>Rallus limicola</i>	0	4	0	4
<i>Ixobrychus exilis</i>	4	11	8	23
<i>Porzana carolina</i>	0	6	11	17
<i>Laterallus jamaicensis</i>	0	0	0	0
<i>Botaurus lentiginosus</i>	0	0	0	0
Total	12	25	25	62

**Objetivo 4:** Desarrollar una clasificación del hábitat acuático y terrestre para la zona del Río Hardy-Colorado y el estuario, lo que permita el monitoreo y evaluación de las futuras acciones de restauración

Para esta actividad se está iniciando el procesado de imágenes, las cuales han sido proporcionadas por la Universidad de Arizona, Pamela Nagler, y por el Sonoran Institute. Además, se esta planeando una salida de campo para el mes de octubre para obtener datos de campo que permitan validar la clasificación.

**Objetivo 5:** *Cuantificar la influencia de las mareas y del agua dulce en la extensión del hábitat estuarino*

Con el análisis visual de imágenes de satélite y observaciones en campo se identificó la presencia de acumulación de sedimento a lo largo de una porción del Río Colorado, lo cual se temía fuera una barrera para la entrada de agua de mar con las mareas. En la salida de campo de los días 5 y 6 de mayo, durante la marea más alta del mes, se realizó una observación visual de la extensión inundada por la marea y un levantamiento topográfico de una porción de 3 kilómetros a lo largo del río (Figura 7). El levantamiento topográfico se realizó antes de la marea alta, y en la figura 7 se observa que la magnitud de la marea anterior no fue suficiente para pasar este punto del río. Sin embargo, la marea alta del día 6 de mayo inundó esta porción del río y fluyó al menos 4-5 kilómetros río arriba.



**Figura 9.** Levantamiento topográfico de una porción de 3km a lo largo del Río Colorado en la parte estuarina, durante marea baja. La porción húmeda del canal del río muestra la influencia de la marea alta anterior. La parte del río en la parte superior de la imagen muestra que durante la marea del día anterior no alcanzó a subir.

Durante la salida también se observó la presencia de un camino que cruza el río, y que es usado por los pobladores locales para ir a desde la parte Este del Delta a la parte Oeste, sobre todo hacia San Felipe (Figura 8). Lamentablemente este camino esta

obstruyendo parcialmente la entrada de la marea y además es una barrera para el paso de peces. Aun cuando hay en el sitio tres o cuatro alcantarillas, éstas están quebradas y parcialmente obstruidas con roca y sedimento, lo que limita aun más el paso de agua y de peces de un lado a otro.

Por último, en esta salida se instalaron dos sensores automáticos de nivel del agua y dos regletas con el objetivo de conocer las variaciones en la elevación del nivel del mar en el tiempo. Con esto se espera poder determinar el comportamiento, al menos de forma general, de las mareas en la zona. Un sensor de nivel y una regleta se instalaron en la parte más hacia el Sur donde existe una influencia clara de la marea (figura 9 y 10). El otro sensor se instaló sólo por dos días en el río a la altura del cruce del camino (ver figura 8). En ambos casos el sensor se colocó dentro de un tubo perforado de PVC de dos pulgadas. En el mes de junio se bajarán los primeros datos del sensor permanente. Se espera que en el futuro, en colaboración con la UABC y la UA, se pueda instalar uno o dos sensores de nivel de agua y dos o tres de salinidad.







**Figura 10.** La foto superior muestra al Dr. Jorge Ramírez instalando un sensor automático de nivel del agua. La foto inferior muestra el traspaso de datos a la laptop





**Figura 11.** La foto superior muestra la regleta instalada en la parte de influencia de marea, y la foto inferior muestra la regleta instalada aproximadamente 7 kilómetros Río arriba, donde la influencia de la marea no es evidente.

Con base en los resultados anteriores las organizaciones colaborando en esta iniciativa desarrollaron una estrategia general de restauración para el estuario, la cual esta en proceso de ser revisada.