

Análisis espacial de los hábitats críticos del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en el Golfo Dulce, Costa Rica: Consideraciones acerca de un proyecto de construcción de marina

Spatial analysis on the critical habitats of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Golfo Dulce, Costa Rica: Considerations for a marina construction project

David Herra-Miranda¹, Juan Diego Pacheco-Polanco¹, Lenin Oviedo^{1,2*} y Miguel Iñiguez³

RESUMEN

El Golfo Dulce resguarda una población residente de delfines nariz de botella (*T. truncatus*), así como poblaciones migratorias de ballenas jorobadas (*M. novaeangliae*, poblaciones Pacífico Norte y Sur). Este estudio ofrece un análisis espacial de la distribución de uso de delfines nariz de botella (2005-2014: n= 407) y ballenas jorobadas (2010-2014: n= 167), valorando los impactos potenciales del desarrollo costero, por un proyecto de marina, al solaparse con hábitats críticos de las especies en estudio. Registros con información espacial y de conducta fueron evaluados mediante: 1) *el índice promedio del vecino más cercano* y 2) *estimados de densidad kernel*, con dos contornos de *distribución de uso*, 50% para las *áreas núcleo críticas* y 95% para el *ámbito hogar potencial*. Agregaciones no azarosas de delfines nariz de botella (KDE-adaptativo: Densidad 21.36 registros/km²; H=0.25; H-REF= 0.49), se asociaron a todas las desembocaduras de ríos mayores en la cuenca interna y del área del umbral del Golfo Dulce, lo que representa un hábitat crítico de alimentación. Agregaciones no azarosas de ballenas jorobadas, incluyendo pares madre-cría (KDE-adaptativo: Densidad 1.33 registros/km²; H=0.25; H-REF= 0.49), usarían la costa oeste del área del umbral como hábitat crítico de reproducción-cría, adicionalmente, ballenas cantando se agregaron en un área discreta del centro del umbral. Los resultados sugieren que la construcción de una marina en el Golfo tiene el potencial de afectar negativamente los hábitats críticos de ambas especies, al convertirse en una fuente importante de impactos antropogénicos por el incremento del tráfico marítimo y la contaminación sónica asociada.

Palabras claves: Delfín nariz de botella, ballena jorobada, alimentación, distribución de uso, hábitat crítico.

ABSTRACT

Golfo Dulce harbors an important resident population of inshore bottlenose dolphins (*T. truncatus*) and migrating humpback whales (*M. novaeangliae*, Northern and Southern Pacific populations). The present study offers a detailed spatial analysis of the utilization distribution of bottlenose dolphins

¹ Centro de Investigación de Cetáceos de Costa Rica (CEIC).

² Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz BCS, México.

³ Fundación Cethus - Whale and Dolphin Conservation, Buenos Aires, Argentina. davidceic@gmail.com, dpachecop@gmail.com, leninovi1@gmail.com*, miguel.iniguez@cethus.org

Recibido: 29 de marzo de 2015

Corregido: 13 de octubre de 2015

Aceptado: 20 de octubre de 2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/revmar.8-1.1>

(2005-2014: $n=407$) and humpback whales (2010-2014: $n=167$), assessing the potential impacts due to coastal development by a marina project overlapping their critical habitats. Records yielding spatial and behavior information were analyzed through: 1) *the average nearest neighbor index* and 2) *kernel density estimates*, using two contours to illustrate the utilization distribution, a 50% contour for *core critical areas* and 95% contour for the *potential home range*. Bottlenose dolphins' nonrandom aggregations (KDE-adaptive: Density 21.36 records/km²; $H=0.25$; $H-REF=0.49$) are associated with all the major river drainages at the inner basin and sill area of Golfo Dulce, which represents key critical foraging habitats. Humpback whales' nonrandom aggregations, including mother and calf pairs (KDE-adaptive: Density 1.33 records/km²; $H=0.25$; $H-REF=0.49$) use the west coast of the sill area as calving and nursing critical habitat, whereas whales engaged in singing aggregate at the center of the Sill. Results suggest that the development of a luxury marina project has the potential of negatively affecting the critical habitats of both local species by becoming an important source of anthropogenic impacts due to increased maritime traffic and the associated noise pollution.

Keywords: Bottlenose dolphins, humpback whales, foraging, utilization distribution, critical habitat.

INTRODUCCIÓN

Los hábitats críticos se definen y clasifican en contextos biológicos importantes como alimentación, reproducción y crianza, protección de depredadores, descanso, migración, entre otros (Hooker & Gerber, 2004; Hoyt, 2011). El definir si un hábitat determinado debe ser considerado como crítico, tiene implicaciones ecológicas que se trasladan al plano legal en procesos de manejo y conservación (por ejemplo, FWS, 1988), por lo tanto, es importante clarificar conceptos claves como hábitat y los procesos que se asocian a este. Para este estudio se adopta la conceptualización del hábitat como la suma de recursos que necesita un organismo para su supervivencia, hábitat es una definición que es específica por organismo, ya que se relaciona con una especie, población o individuo (Hall *et al.* 1997), de esta manera, la selección de esos recursos implican un proceso de decisiones que conllevan conductas innatas, así como aprendidas (Johnson, 1980), que en consecuencia resultan en

el uso desproporcionado de un recurso sobre otro (Hall *et al.* 1997).

El Golfo Dulce provee de un hábitat importante para especies de cetáceos costeros (Oviedo *et al.* 2009; 2015); entre las características estructurales de este mar interno, se tiene un número importante de ríos que drenan en la cuenca interna, transportando grandes cantidades de materia orgánica disuelta y particulada, así como contaminantes asociados a las actividades antropogénicas (agricultura, ganadería y urbanización) que se realizan en la zona. Tal situación ha traído como corolario una degradación de la columna de agua por la introducción de metales pesados y compuestos orgánicos de origen sintético al Golfo (Spongberg & Davis, 1998; Umaña, 1998). Los impactos ambientales producidos por estas actividades se diversifican y acumulan sinérgicamente a largo plazo induciendo un deterioro del hábitat crítico de cetáceos costeros (Thompson *et al.* 2000; Hooker & Gerber, 2004).

Este estudio tiene como objetivo identificar las áreas de uso crítico para las ballenas jorobadas y los delfines nariz de botella en el Golfo Dulce, valorando el impacto potencial de proyectos actuales de desarrollo costero, por traslape espacial con estos hábitats esenciales, en específico, el plan para establecer una marina de lujo en las adyacencias de la bahía de Puerto Jiménez. El análisis se presenta con un enfoque donde la distribución de uso se asocia a respuestas ecológicas, en la forma de conducta alimentaria para *Tursiops truncatus* y conductas relativas al cortejo y reproducción para *Megaptera novaeangliae*, contextualizándolas en términos de conservación y manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El Golfo Dulce (Fig. 1) es un mar interno, usualmente denominado fiordo tropical, de 50 km de largo y 10-15 km de ancho, situado en la región del Pacífico Sur de Costa Rica, entre los 8° 33' N y 83° 14' O. El clima es tropical húmedo con una estación lluviosa de mayo a principios de noviembre, lo que genera una precipitación promedio mensual de 100-700 mm (Quesada-Alpízar & Morales-Ramírez, 2004). El aporte principal de agua dulce lo proveen los ríos Coto Colorado, Tigre, Esquinas y Rincón, con influencia directa en el patrón de circulación de un estuario notablemente estratificado (Svendsen *et al.* 2006). Las particularidades que hacen que el Golfo Dulce se asemeje a verdaderos fiordos se muestran en la estructura de sus masas de agua. Se evidencian claramente dos capas:

a) una capa superficial cálida ($\approx 32^{\circ}\text{C}$ en promedio) y diluida con una salinidad promedio de ≈ 31 UPS, a una profundidad entre 50 a 60 m, sobre el umbral ubicado en la parte externa del Golfo. b) La otra capa está constituida de aguas profundas y homogéneas, donde la temperatura puede alcanzar un mínimo de 15.4°C y salinidades que alcanzan los 34.8 UPS. Las fuerzas de mareas, el viento, el ingreso de agua al sistema influyen directamente la mezcla y circulación de estas aguas, en conjunto con el afloramiento de agua subsuperficial y la topografía de la cuenca (Quirós, 2003; Quesada-Alpízar & Morales-Ramírez, 2004). La estructura de corrientes del Golfo es de tres capas en la parte externa y una circulación de tipo estuarino en la parte interna (Svendsen *et al.* 2006). Como se mencionó anteriormente, el área de estudio se dividirá en la cuenca interna, el área del umbral (Quirós, 2003) y la zona de transición oceánica.

Recolecta de datos: Los muestreos fueron dirigidos al registro y monitoreo de cetáceos, estos se llevaron a cabo en una embarcación de 7 m de eslora, con un motor cuatro tiempos de 115HP, en las tres subáreas descritas anteriormente. Con la intención de abarcar la mayor área posible, los muestreos siguieron un patrón zigzag (variable) desde el punto de origen (Bahía de Rincón o Puerto Jiménez). Los muestreos presentados en este análisis abarcan dos temporadas: la seca (noviembre-mayo) y la de lluvia (junio-octubre), desde marzo del 2005 hasta diciembre del 2014; los muestreos se iniciaban

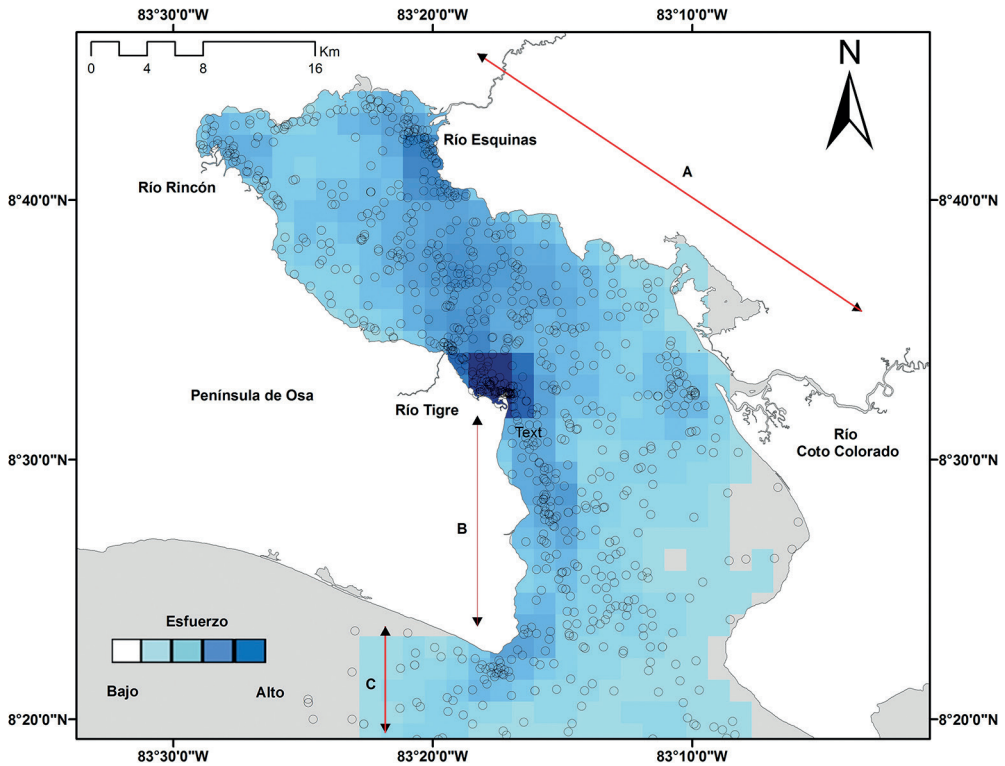


Fig. 1. Distribución del esfuerzo de campo en el Golfo Dulce: Se ilustra la cobertura espacial de campo en una escala gradiente cualitativa, donde el nivel máximo de esfuerzo invertido implicó 85 horas y 267 kilómetros recorridos en cada celda de 2.56 km². Los puntos representan los avistamientos de cetáceos. a) Cuenca Interna, b) Área del Umbral y c) Zona de Transición Oceánica

Fig. 1. Field effort distribution in Golfo Dulce: Spatial coverage is illustrated by means of a qualitative gradient scale, where the maximum effort invested implied 85 hours and 267 km covered in each cell of 2.56 km². Sightings of cetaceans are represented by unfilled circle. a) Inner Basin, b) Sill Area and c) Transitional Oceanic Area

en periodos matutinos (07:00-08:00) y culminaban a mitad de la tarde (14:00-16:00), donde la unidad de muestreo, los avistamientos, integra la definición de grupo usada por Karczmarski *et al.* (2005) y las observaciones de conducta de acuerdo con lo descrito en Lusseau & Higham (2004), así como en Oviedo (2008). Las condiciones

de detectabilidad requieren de un registro periódico para el muestreo efectivo de conducta y acústico, por lo tanto, cada 30 min se realizó una lectura de posicionamiento por GPS (Garmin etrex H, 5 metros de error aproximado), junto con algunas variables ambientales, como la condición del mar (escala Beaufort),

la temperatura superficial (medida a través de un termómetro de campo), el ciclo de mareas (tabla de marea del módulo de información oceanográfica MIO-CIMAR) y la presencia o no de cetáceos (Fig. 1). Lo descrito anteriormente permitió a su vez el seguimiento del esfuerzo de campo y la creación de una matriz de presencia-ausencia de cetáceos tal como se detalla en Gowans & Whitehead (1995).

Durante cada encuentro, el bote se acercó a una distancia aproximada de 100 m del objeto del avistamiento. Se tomaron datos pertinentes del avistamiento como: la hora del encuentro, el tipo de especie, el tamaño y la composición de grupo, así como la conducta (inicial del encuentro y a los 10 min de este), estos fueron registrados junto con la posición espacial del bote, por lecturas de GPS (asumida como la posición relativa del objeto del avistamiento, ya que hay una separación ≈ 100 m). Una vez completada la toma inicial de datos estándar del avistamiento, dependiendo del objeto del avistamiento y el monitoreo de conducta para determinar alteraciones significativas, se iniciaba un protocolo de seguimiento grupal que implicaba: a) muestreo etológico con los métodos referidos en Lusseau & Higham (2004), así como en Oviedo (2008) para la determinación de hábitats críticos y b) muestreo acústico. El registro de datos acústicos se limitó a avistamientos de ballenas jorobadas, y para los fines de esta contribución, que intenta documentar la relevancia del área en el comportamiento acústico de la especie, se con-

sidera la vocalización como la unidad a procesar de este muestreo en particular, con las respectivas salvedades que garantizan la no autocorrelación temporal y espacial de cada vocalización georreferenciada. Estos registros son datos asociados a un relevamiento acústico de esta especie en nuestra área de estudio, que aún se encuentran en progreso, incluyendo la cuantificación efectiva de machos potenciales por captura y recaptura. Dicho muestreo acústico se ejecutó mediante el monitoreo previo de las condiciones de ruido ambiental. Las grabaciones de las vocalizaciones se hicieron por medio de una combinación de grabadora (Sony TCD D-5 *digital tape recorder*, *sampling rate 48 kHz*) y un hidrófono (NSF-PW, SCH40), calibrados para frecuencias dentro de un rango de ± 5 dB (12.0 Hz a 35.0 kHz). Una vez corroborada la relación señal acústica/ruido ambiental, se desplegó el hidrófono para confirmar la presencia de ballenas cantando-la ocurrencia de vocalizaciones (todas las temporadas 2010-2013, $n=55$), por un periodo de 5 min, donde adicionalmente se recolectaron registros de datos espaciales (lecturas de GPS), así como datos ambientales (temperatura superficial, mareas). Una vez confirmadas las vocalizaciones y en particular la consecución de cantos se procedía a grabar el ciclo de la canción y a tomar fotos de los individuos cantando de acuerdo con lo planteado en Oviedo *et al.* (2008).

Análisis de datos: Los datos espaciales derivados de los métodos descritos anteriormente fueron

procesados para evaluar la distribución de uso del delfín nariz de botella y la ballena jorobada en el área de estudio en contraste con la conducta de estas especies. Para los avistamientos de *M. novaeangliae* se segregaron los grupos entre aquellos donde se incluían crías (incluyendo pares madre-cría y tríadas) y los grupos sin crías (adultos y subadultos), adicionalmente a los registros acústicos que correspondían con ballenas cantando. La distribución de uso fue descrita por medio del *índice promedio del vecino más cercano* (*Average Near Neighbour Ratio-ANNR*), la cual promedia la distancia real del centroide de cada elemento espacial en evaluación y la contrasta con el promedio de la distancia de cada elemento, con una distribución aleatoria hipotética, lo anterior resulta una medida de la dispersión espacial (agregada, azarosa, uniforme) entre elementos y sus implicaciones ecológicas (Forting *et al.* 2002; Begon *et al.* 2006), la significancia estadística de dicha medida se obtiene por medio del cálculo de un “Z score”, el cual se asocia a la distribución normal y permite establecer medidas de significancia y confianza. El análisis anterior se combinó con *Estimados de Densidad Kernel* (KDE), usando el método *least square cross validation*, por medio del software ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008). Dos contornos de Estimado de Densidad Kernel se definieron para ilustrar: a) el *ámbito hogar potencial* por medio del contorno que contiene el 95% del volumen de los registros por especie, y b) el *área núcleo* que representa el

hábitat crítico por medio del contorno que concentra el 50% del volumen de todos los registros asociados a las observaciones de conducta por especie. La finalidad de estos contornos es primeramente ilustrar la distribución integral de la especie en toda la extensión del área de estudio y resaltar las localidades donde hay una agregación importante donde actividades claves asociadas (registros de conducta) con la supervivencia estarían concentradas (Hooge & Eichenlaub, 2000; Lusseau & Higham, 2004).

Caso de Estudio: Marina de Lujo en la Bahía de Puerto Jiménez: El proyecto de desarrollo de una marina contemplado para el área de Puerto Jiménez consiste en la construcción y operación de puestos para el atraque de embarcaciones. La cantidad efectiva de puestos de atraque para venta o renta es de cerca de 257 unidades, que en su conjunto son equivalentes a 5 000 metros de eslora. Adicionalmente, el proyecto incluye un área de 9 000 m², de los cuales 2 674 m² serán destinados a área comercial, y el resto, 6 326 m², serán destinados a la construcción de un hotel con 74 habitaciones para los usuarios de la Marina (Araya-Montero *et al.* 2006). El estudio de impacto ambiental de la Marina de Lujo en Puerto Jiménez fue aprobado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental mediante Resolución N^o 2424-2008-SETENA del día 8 de agosto del 2008, otorgándosele la viabilidad ambiental al proyecto, para posteriormente modificarse mediante Resolución N^o 2084-2011-SETENA del día 30 de agosto del 2011,

modificando, de esta manera, las obras constructivas contempladas dentro del estudio de impacto ambiental aprobado, reduciendo la capacidad de embarcaciones en el diseño, de acuerdo con el nivel descrito anteriormente.

RESULTADOS

En una década de muestreos en el Golfo se ha obtenido una cobertura espacial homogénea en la cuenca interna de cerca de 40 000 km² ≈ 50% del esfuerzo total (Fig. 1), mientras que la cobertura espacial para la zona del umbral y la zona de transición oceánica presenta un incremento constante, lo que ha implicado una inversión de 3 490 horas de campo, equivalentes a 79 300 km recorridos aproximadamente en esfuerzo activo de búsqueda y seguimiento de individuos. Se recolectaron 422 registros derivados de las observaciones de delfines nariz de botella y 167 registros de ballenas jorobadas en zonas costeras. La Figura 2 aborda los detalles de las conductas más importantes en los presupuestos de actividad.

Distribución espacial de delfines nariz de botella: El patrón espacial de las agrupaciones de *T. truncatus* es del tipo agregado, de acuerdo con lo que indica el índice promedio del vecino más cercano. Dicho patrón de agrupamiento espacial es estadísticamente significativo, tal como se refleja por el estadístico “Z score” y la medida de probabilidad detallados en el Cuadro 1. La distribución y uso de hábitat de *T. truncatus* en el Golfo Dulce se ilustra

en la Figura 3 mediante registros que están asociados a evidencias conductuales de alimentación (N=244 ≈ 60% del total de avistamientos). La distribución de uso se expresa mediante el contorno que incluye el 95% de los registros del delfín nariz de botella (KDE-adaptativo: Densidad 5.50 registros/km²; H=0.042; H-REF= 0.40), correspondiente al rango hogar; en conjunto con el contorno que refleja las áreas de concentración núcleo que contienen el 50% de los registros de la especie (KDE-adaptativo: Densidad 76.76 registros/km²; H=0.042; H-REF= 0.40). El rango hogar potencial de delfines nariz de botella se encuentra a lo largo de la línea costera del Golfo Dulce, en las costas de la cuenca interna, particularmente en la zona aledaña a Puerto Jiménez. Estas áreas críticas para alimentación se integran con la zona del umbral. Las áreas de concentración núcleo se centralizan en zonas de influencia de las desembocaduras de los ríos y sus adyacencias, en específico, a lo largo de los ríos Rincón, Esquinas, Coto Colorado, con mención particular al subsistema conformado por los ríos Tigre y Platanares. De acuerdo con lo anteriormente descrito, podemos identificar como zonas con mayor importancia de uso, las desembocaduras de los ríos como hábitats críticos de alimentación de delfines nariz de botella.

Distribución espacial de la ballena jorobada: La ballena jorobada en el Golfo Dulce se distribuye en grupos agregados de

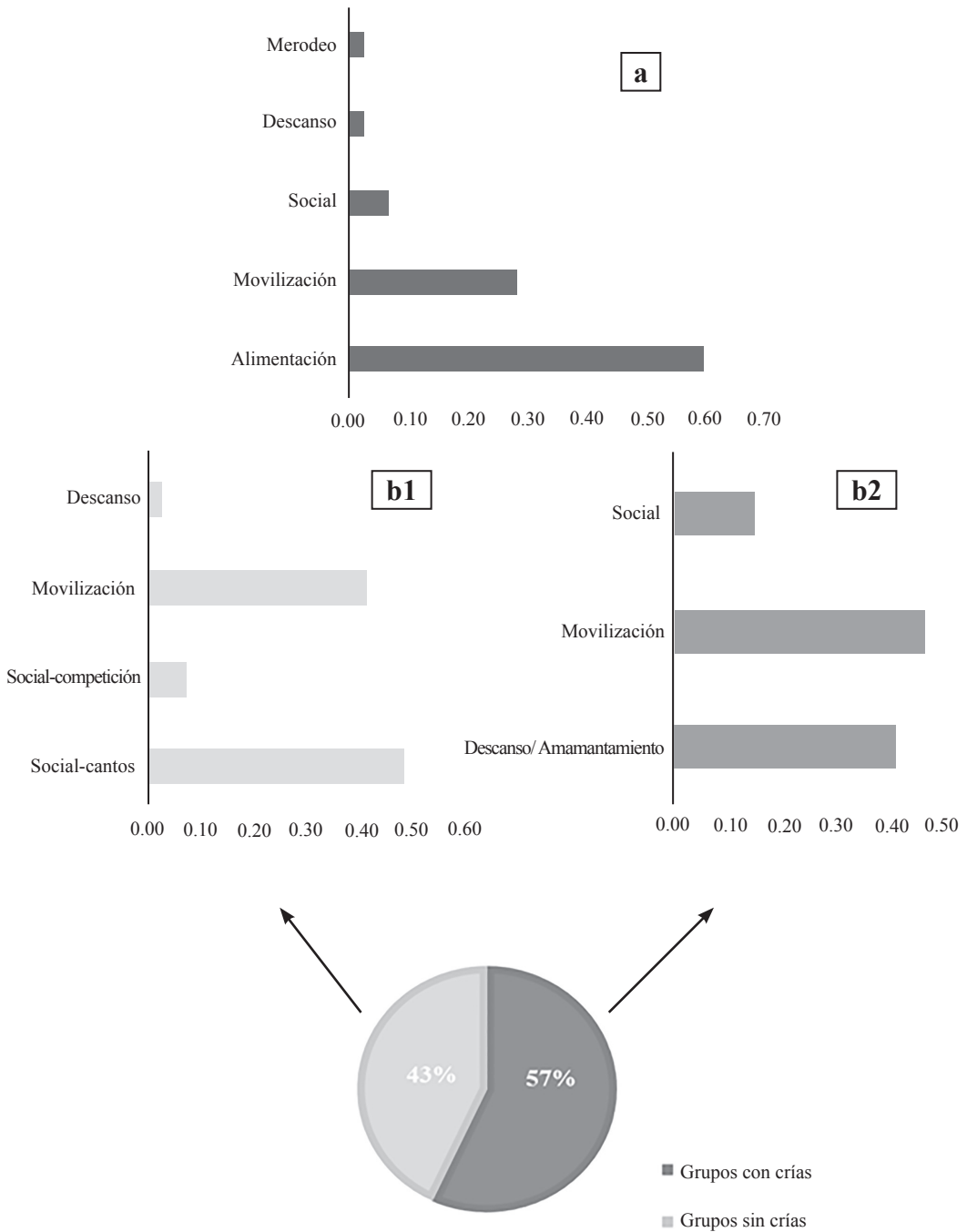


Fig. 2. a) Presupuesto de actividad del delfín nariz de botella en el Golfo Dulce (2005-2014). b) Presupuesto de actividad de la ballena jorobada en el Golfo Dulce: b1) Grupos sin crías, b2) Grupos con crías

Fig. 2. a) Activity budget of bottlenose dolphin in Golfo Dulce (2005-2014). b) Activity budget of humpback whales in Golfo Dulce: b1) Non-calves groups, b2) Calves groups

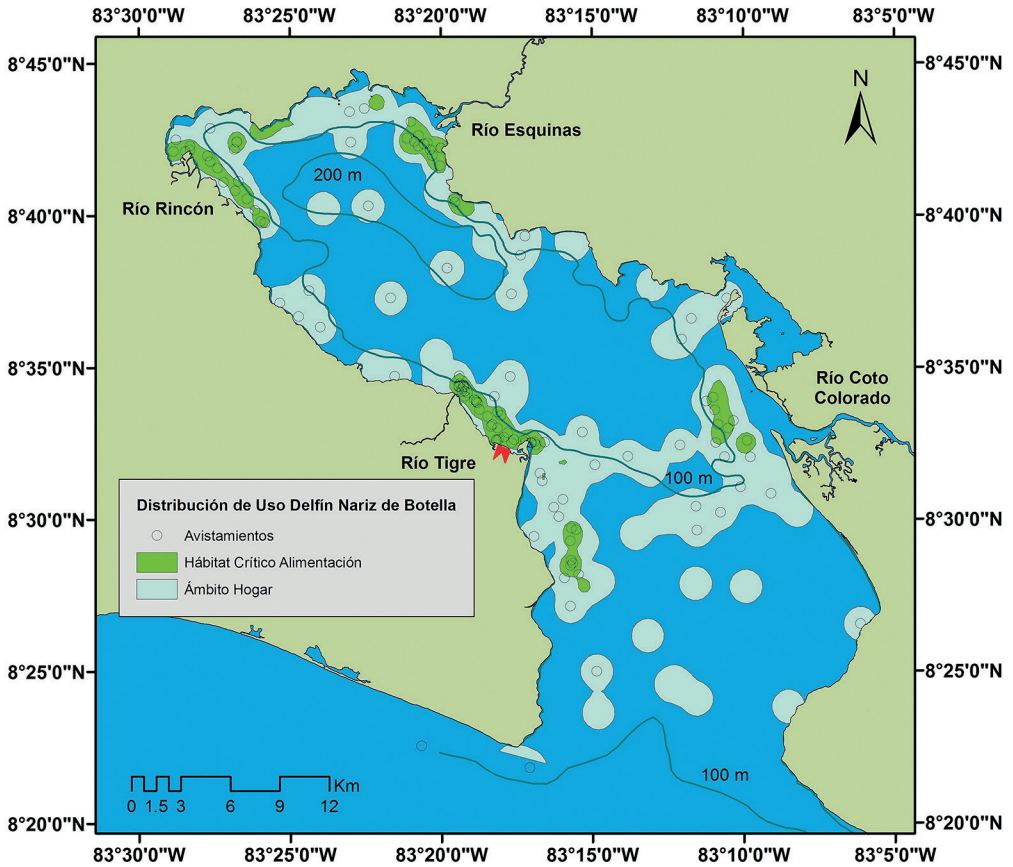


Fig. 3. Distribución de uso del delfín nariz de botella en el Golfo Dulce; el ámbito hogar es denotado por el contorno verde claro, el hábitat crítico de alimentación, en verde oscuro. El área urbana de Puerto Jiménez se muestra en el polígono rojo
 Fig. 3. Utilization distribution of bottlenose dolphin in Golfo Dulce; the home range is illustrated by the lighter green contour, the critical foraging habitat in darker green. The urban area of Puerto Jiménez is represented by the red polygon

carácter significativo ($P < 0.001$, Cuadro 1), según lo refleja el *índice promedio del vecino más cercano*. Las agregaciones de ballenas jorobadas, entre las que se incluyen los grupos de madres y crías, al igual que grupos de machos en cortejo, se ilustran en la Figura 4, la cual contiene los contornos correspondientes a rango hogar (KDE-adaptativo: Densidad 1.33 registros/km²; H=0.25; H-REF= 0.49) y el

contorno que define el área núcleo de agregación (KDE-adaptativo: Densidad 21.36 registros/km²; H=0.25; H-REF= 0.49). Los registros de avistamiento referidos anteriormente se complementan con los resultados de un muestreo acústico, donde el 64% de las vocalizaciones identificadas como canto de machos potencialmente en cortejo (n=35), se ubican dentro del área núcleo (Fig. 4). La zona del umbral

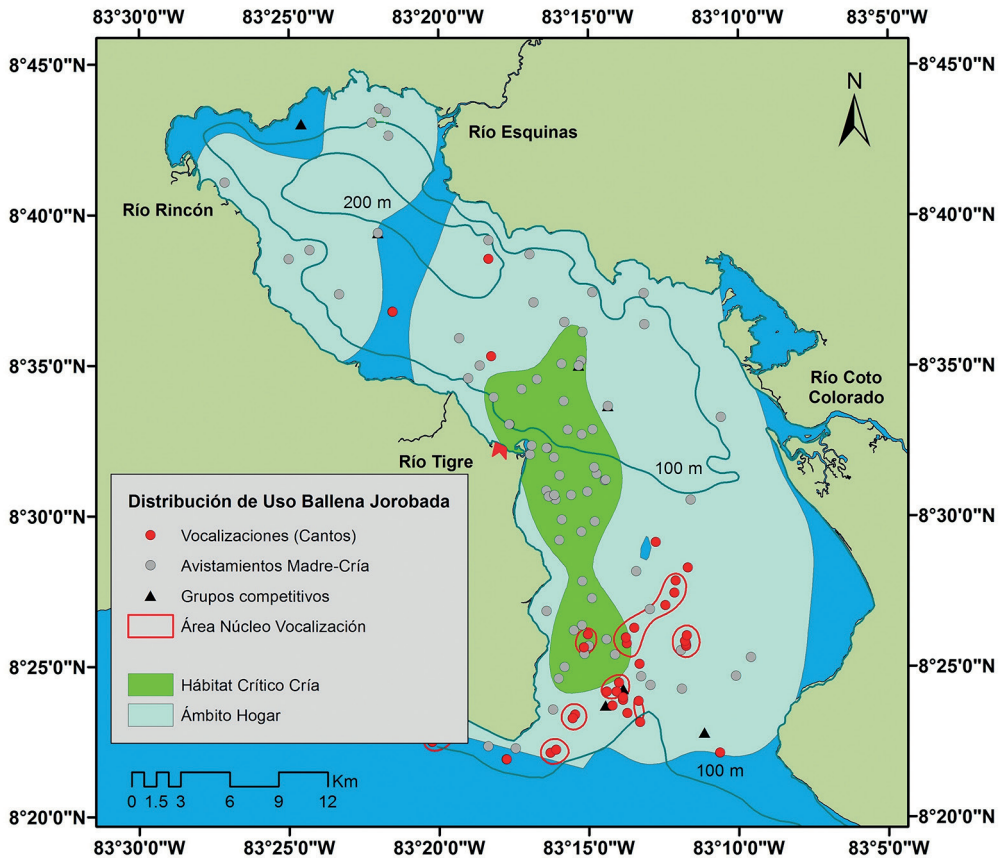


Fig. 4. Distribución de uso de la ballena jorobada en el Golfo Dulce; el ámbito hogar de madres con crías incluyendo tríadas es denotado por el contorno verde claro, el hábitat crítico de reproducción y cría, en verde oscuro. Agregaciones de registros de vocalización (cantos) se denotan por el contorno rojo. El área urbana de Puerto Jiménez se muestra en el polígono rojo

Fig. 4. Utilization distribution of humpback whales, mother and calves including triads in Golfo Dulce; the home range is illustrated by the lighter green contour, the critical nursing and calving habitat in darker green. Aggregations of vocalizing records (songs) are surrounded by the red contour. The urban area of Puerto Jiménez is represented by the red polygon

Cuadro 1. Resultados del análisis espacial por medio del Índice Promedio del Vecino más Cercano

Table 1. Results of spatial analysis through the Average Nearest Neighbor Index

Análisis Espacial de Cetáceos Costeros en el Golfo Dulce				
	NNR	Z-score	Valor-P	Patrón
Delfín Nariz de Botella	0.55	-13.11	< 0.01	Agregado
Ballena Jorobada	0.74	-4.15	< 0.01	Agregado
Grupos con Crías	0.78	-3.8	< 0.01	Agregado
Machos Cantando	0.63	-4.11	< 0.01	Agregado

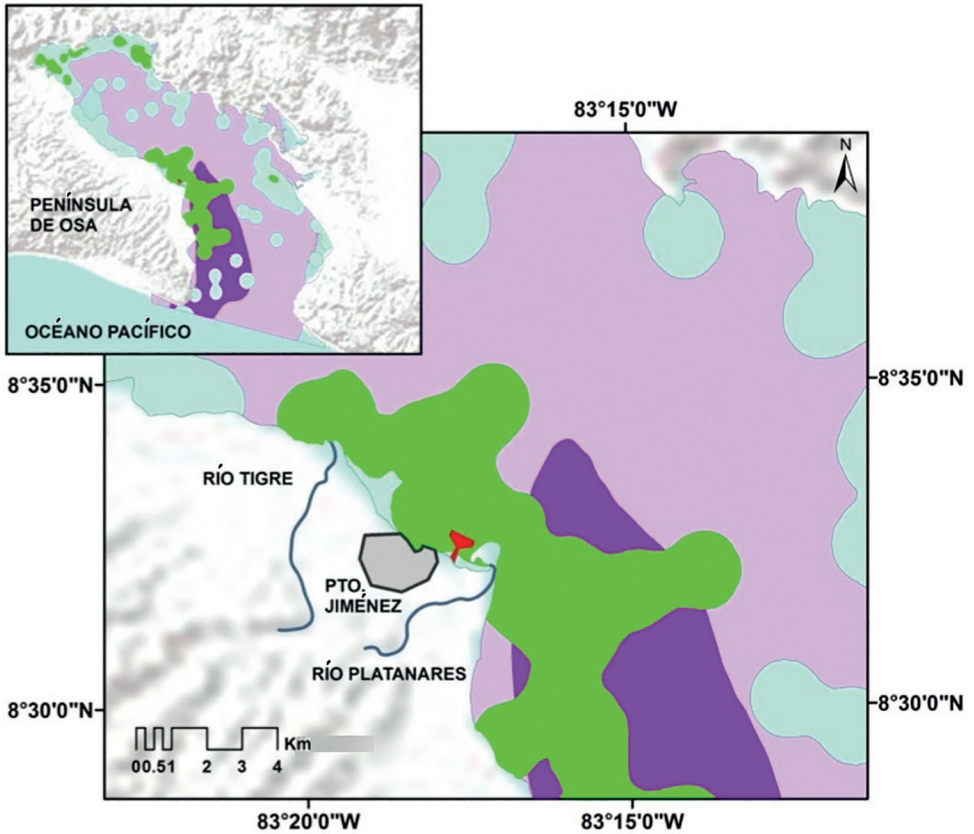


Fig. 5. Traslape entre los hábitats críticos de alimentación (verde oscuro) y el ámbito hogar potencial (verde claro) del delfín nariz de botella y el hábitat crítico de reproducción y cría de la ballena jorobada (violeta oscuro), así como su ámbito hogar potencial (violeta claro). El proyecto de desarrollo de marinas (polígono rojo) en la bahía de Puerto Jiménez igualmente se traslapa con los hábitats críticos de cetáceos locales

Fig. 5. Overlap between the critical foraging habitat of bottlenose dolphins (dark green), the potential home range (lighter green) and the critical nursing and calving habitat of humpback whales (dark purple) along with the potential home range (lighter purple). The development project for the marina in Puerto Jiménez Bay (red polygon) equally overlaps with local cetaceans' critical habitat

del Golfo Dulce se consolida como hábitat crítico de reproducción y cría de la ballena jorobada. Esta especie usa como rango estacional potencialmente toda la extensión marino-costera del Golfo Dulce durante su migración anual, no obstante, el 50% de los registros están localizados en una zona

exclusiva, aledaña a la desembocadura del río Platanares en Puntarenitas, hasta conectar con la porción occidental del umbral y la transición del Golfo con el Océano Pacífico. Esta área contiene una porción notable de registros de madres con crías, así como de ballenas en edad de madurez reproductiva, ejecutando

y llevando a cabo aspectos complejos de comportamiento reproductivo, en particular grupos competitivos y registros vocales de machos cantantes. Los resultados anteriores, a través de los contornos de la distribución de uso y el tipo de agrupamiento agregado, establecen elementos espaciales claves que sustentan el uso intensivo de esta área como zona de refugio importante para hembras con crías. Adicionalmente, hay una incidencia alta de vocalizaciones (machos cantando) que se agregan en la zona del umbral.

La Figura 5 ilustra la porción media de la línea costera del Golfo Dulce en las adyacencias del río Platanares, donde se observa una coincidencia entre el área de mayor uso del delfín nariz de botella para la alimentación y el área de mayor presencia de madres-crías de ballenas jorobadas. La Figura 5 señala, adicionalmente, la localización específica del proyecto de desarrollo de la marina en la bahía de Puerto Jiménez, destacando su traslape espacial con las áreas críticas para las especies mencionadas anteriormente.

DISCUSIÓN

Hábitat crítico de alimentación del delfín nariz de botella: De acuerdo con los resultados del análisis espacial de cetáceos de hábitos costeros en el Golfo Dulce, el delfín nariz de botella tiene un patrón espacial agregado, asociado a áreas de alimentación discretas (Parrish & Edelstein-Keshet, 1999). La identificación del hábitat crítico de alimentación en las áreas núcleo

de los ríos Tigre-Platanares se basa en registros de conducta de alimentación documentados tanto en el presente estudio como en investigaciones anteriores (Pacheco-Polanco & Oviedo, 2007; Oviedo, 2007; Oviedo *et al.* 2012). La alimentación es una actividad biológica fundamental que afecta el éxito reproductivo de una especie. Esta conducta refleja una respuesta ecológicamente dinámica del organismo ante los recursos disponibles y la estructura del hábitat (Gowans *et al.* 2007), por lo que no solo se evidenciaría un uso del hábitat, sino también un proceso de selección que resulta del consumo intensivo (en su sentido más genérico) de recursos particulares que ofrece esta localidad discreta, en contraposición a lo disponible en toda la extensión del Golfo (Wheeler *et al.* 2012). El traslape de áreas críticas de alimentación con la marina puede tener efectos significativos en esta población, ya que en esta misma área se han evidenciado afecciones dérmicas, en específico, la enfermedad denominada LLD (*Lacaziosis Like Disease: Enfermedad Similar a Lacaziosis*), de acuerdo con lo planteado en Bessesen *et al.* (2014). Esta es una infección por hongos, que está relacionada con la degradación de condiciones ambientales, se estima que un cuadro previo de compromiso inmunotóxico por exposición a contaminantes, podría promover la morbilidad de esta enfermedad dérmica (Reif *et al.* 2009), la cual afecta a especies de delfines costeros (Van Bresseem *et al.*

2009) por estar estas más expuestas a las presiones por actividades humanas en sus hábitats críticos (Bowen, 1997; Thompson *et al.* 2000; Whitehead *et al.* 2000; Gowans *et al.* 2007; Jefferson *et al.* 2009).

Hábitat crítico de reproducción y cría de la ballena jorobada: La porción del área del umbral adyacente a la bahía de Puerto Jiménez ofrece condiciones especiales de resguardo y conservación de energía para grupos de madres-crías (Craig *et al.* 2014). Márquez-Artavia *et al.* (2012) sugieren que estas agregaciones evitan activamente las zonas de mezcla, donde el régimen de corrientes promovería la formación de turbulencia, con el fin de facilitar la preservación de energía durante la lactancia (Clapham, 2008). El canto en las ballenas jorobadas es el elemento conductual que resalta como aspecto crucial del cortejo y reproducción (Tyack, 1981; 2000; Clapham, 2000; Oviedo *et al.* 2008; Smith *et al.* 2008). Este comportamiento reproductivo define el uso de hábitat en esta área en particular. El uso diferencial de hábitat entre pares de hembras con crías y machos cantando en cortejo se disipa por lo reducido de la escala geográfica donde ocurren estos eventos y por la relación implícita entre la disponibilidad de hembras y la mayor proporción de machos en áreas de agregación invernal (Craig *et al.* 2002; Clapham, 2008), lo que a su vez genera la presencia de grupos competitivos de machos persiguiendo hembras (Craig *et al.* 2002; Spitz *et al.*

2002), incluso aquellas con crías de la temporada (Clapham, 2000).

Caso de Estudio: Marina de Lujo en la Bahía de Puerto Jiménez: La información espacial detallada en párrafos anteriores tiene como elemento clave a resaltar que se deriva de la observación y registro de conductas, estas asociadas a un valor del “fitness” ecológico de cada especie en estudio, tal como se considera en Spencer (2012): en el caso del delfín nariz de botella, dicho valor es la ganancia energética por alimentación, mientras que para la ballena jorobada, son las probabilidades de cópula y reproducción. Un proyecto de la magnitud de una marina, que conlleva a una alteración ambiental abrupta, limitaría la accesibilidad a los recursos implícitos en el uso de área, afectando la obtención de energía de la población residente de delfines nariz de botella. La alteración constante de conductas como alimentación, descanso y socialización repercute en funciones biológicas vitales (Constantine *et al.* 2004; Lusseau, 2006; Lusseau *et al.* 2009), resultando en impactos negativos del crecimiento poblacional (Lusseau, 2004; Bejder *et al.* 2006). Se debe tomar en consideración que esta área ya evidencia individuos afectados con LLD (Bessesen *et al.* 2014), por lo tanto, se esperaría que un hábitat con mayor perturbación de la actual podría incrementar la progresión de la enfermedad en número de delfines afectados y evolución crónica de la micosis en estos.

El aumento del tráfico de embarcaciones por el establecimiento de una marina devendría en impactos adversos directos en el hábitat crítico

de reproducción y cría de la ballena jorobada. El efecto negativo del tráfico marítimo en áreas de crianza de ballenas ha sido estudiado en detalle (Jensen & Silber, 2003; Hinch & De Santo, 2011; Guzmán *et al.* 2013; Laist *et al.* 2014), y se han reportado casos de colisiones de embarcaciones con ballenas en lugares con altas concentraciones de animales agregados (Guzmán *et al.* 2013; Laist *et al.* 2014). En los EE. UU. está documentado que el 80% de los choques de botes con ballenas jorobadas involucran a juveniles y crías de menos de tres años (Laist *et al.* 2001).

El aumento del tráfico de embarcaciones afectaría, igualmente, el proceso de cortejo-reproducción, ya que podría causar un efecto de enmascaramiento en las canciones por la contaminación sónica (Nowacek *et al.* 2007; Sousa-Lima & Clark, 2008), siendo este un elemento potencial en la conducta de los machos que incidiría en la reproducción (Darling, 2008). En la zona de reproducción y cría de ballenas jorobadas en el Parque Nacional Abrolhos, en Brasil, se determinó que el incremento del tráfico de botes repercute negativamente mediante el aumento de ruidos que enmascaran el proceso de canto de machos de ballenas jorobadas (Sousa-Lima & Clark, 2008); en estos casos la canción se hacía mucho más corta, con menos estructuras vocales o se interrumpía completamente, induciendo a los machos a abandonar el área de cortejo; esto en contraste con las observaciones en áreas donde las condiciones imperantes no presentaban alteraciones por botes.

Las estrategias de manejo y conservación para mitigar los efectos antropogénicos descritos deben sustentarse en un entendimiento integral de los requerimientos de hábitat de especies susceptibles (Gerrodette & Eguchi, 2011). El no considerar la presencia de hábitats críticos pone en riesgo la sustentabilidad de las poblaciones locales, al afectar directamente funciones biológicas claves para la supervivencia (Lusseau *et al.* 2009). Las consecuencias de los impactos generados no son solo a nivel local, como es el caso de la población costera de delfines nariz de botella en el Golfo Dulce, también se podrían afectar especies de carácter migratorio. El establecimiento de la *Marina en la Bahía de Puerto Jiménez* afectaría a dos subpoblaciones migratorias de ballenas jorobadas: aquellas que se alimentan en hábitats críticos localizados en zonas templadas del Pacífico Noreste (*M. n. kuzira*, Jackson *et al.* 2014) y las que se alimentan en hábitats críticos en el Pacífico Sureste (*M. n. australis*, Jackson *et al.* 2014), pero que se reproducen y crían a sus ballenatos en los hábitats críticos a lo largo de la porción costera de la Península de Osa, incluido el Golfo Dulce.

Los objetivos de manejo y conservación en el Golfo Dulce deberían hacer énfasis en invocar el principio precautorio y establecer decisiones de carácter conservativo que favorezcan la protección del recurso, tal como recomienda el comité científico de la Comisión Ballenera Internacional, en su reunión número 66va (IWC, 2015). Por último,

la recomendación que se genera de este estudio es relocalizar el proyecto en costas afuera del Golfo Dulce, ya que este singular elemento geográfico representa integralmente un hábitat clave en la supervivencia de poblaciones residentes y migratorias de cetáceos costeros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero de las siguientes instituciones: Earthwatch Institute, International Student Volunteers, Society for Marine Mammalogy, American Society of Mammalogy, Cetacean Society International. Igualmente, agradecemos a Marcos "Taboga" Loaiciga, Jorge Medina y Azucena Herra-Miranda por su gran contribución. Este manuscrito se benefició de los comentarios de tres revisores anónimos, les agradecemos su valiosa colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

- Araya-Montero, M., Foulds Elliot, P., Girón-Calvo, D., Avilés-Montoya, J. L., Valverde-Quirós, E. & López-Brenes, M. (2006). *Estudio de Impacto Ambiental, Proyecto Marina Bahía Cocodrilo*. San José, Costa Rica. SETENA Expediente Administrativo No D1-595-2006-SETENA.
- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems* (4ta. ed.). Oxford, United Kingdom: Blackwell Publishing.
- Bejder, L., Samuels, A., Whitehead, H., Gales, N., Mann, J., Connor, R., ... Krützen, M. (2006). Decline in Relative Abundance of Bottlenose Dolphins Exposed to Long-Term Disturbance. *Conserv. Biol.*, 20, 1791-1798.
- Bessesen, B., Oviedo, L., Acevedo-Gutiérrez, A., Burdett-Hart, L., Herra-Miranda, D., Pacheco-Polanco, J. D., ... Bermúdez-Villapol, L. (2014). Laceration-like disease in Costa Rica from photographic records of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in Golfo Dulce. *Dis. Aquat. Org.*, 107, 173-180.
- Bowen, W. D. (1997). Role of marine mammals in aquatic ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 158, 267-274.
- Clapham, P. J. (2000). The humpback whale: Seasonal feeding and breeding in a baleen whale. In J. Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack & H. Whitehead (Eds.), *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales* (pp. 173-196). London, United Kingdom: University of Chicago Press.
- Clapham, P. J. (2008). Humpback whale *Megaptera novaeangliae*. In W. F. Perrin, B. Wursig & J. G. M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (Second Edition) (pp. 582-585). San Diego, EE. UU.: Academic Press.
- Constantine, R., Brunton, D. H. & Dennis, T. (2004). Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behavior. *Biol. Cons.*, 117, 299-307.
- Craig, A. S., Herman, L. M. & Pack, A. A. (2002). Male mate choice and male-male competition coexist in the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*). *Can. J. Zool.*, 80, 745-755. <http://dx.doi.org/10.1139/z02-050>
- Craig, A. S., Herman, L. M., Pack, A. A. & Waterman, J. O. (2014). Habitat segregation by female humpback whales in Hawaiian waters: Avoidance of males?

- Behavior*, 151, 613-631. <http://dx.doi.org/10.1163/1568539X-00003151>
- Darling, J. (2008). Song. In W. F. Perrin, B. Wursig & J. G. M Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals* (2da. ed.) (pp. 1053-1056). San Diego, EE. UU.: Academic Press.
- ESRI. (2008). *ArcGIS Desktop*: Release 9.3. Redlands, EE. UU.: Environmental Systems Research Institute.
- Forting, M. J., Dale, M. R. T. & ver Hoef, J. (2002). Spatial analysis in ecology. In A. H. El-Shaarawi & W. W. Piergorsch (Eds.), *Encyclopedia of Environmetrics* (pp. 2051-2058). New Jersey, EE. UU.: Wiley.
- FWS. U.S. Fish and Wildlife Service. (1988). *Endangered species act of 1973, as amended through the 100th Congress*. Washington, D.C., EE.UU: Federal Government of The Unites States of America.
- Gerrodette, T. & Eguchi, T. (2011). Precautionary design of a marine protected area based on a habitat model. *Endanger. Species Res.*, 15, 159-166.
- Gowans, S. & Whitehead, H. (1995). Distribution and habitat partitioning by small odontocetes in the Gully a submarine canyon in the Scotian Shelf. *Can. J. Zool.*, 73, 1599-1608. <http://dx.doi.org/10.1139/z95-190>
- Gowans, S., Wursig, B. & Karczmarski, L. (2007). The social structure and strategies of delphinids: Predictions based on an ecological framework. *Adv. Mar. Biol.*, 53, 195-294. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2881\(07\)53003-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2881(07)53003-8)
- Guzmán, H. M., Gómez, C., Guevara, C. A. & Lars, K. (2013). Potential vessel collisions with Southern Hemisphere humpback whales wintering off Pacific Panama. *Mar. Mam. Sci.*, 29(4), 629-642.
- Hall, L. S., Krausman, P. R. & Morrison, M. L. (1997). The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildl. Soc. Bull.*, 25(1), 173-182.
- Hinch, P. R. & De Santo, E. M. (2011). Factors to consider in evaluating the management and conservation effectiveness of a whale sanctuary to protect and conserve the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). *Mar. Policy*, 35, 163-180.
- Hooge, P. N. & Eichenlaub, B. (2000). *Animal Movement Analyst Extension to ArcView*. Version 2.0. U.S. Geological Survey, Anchorage, Alaska, EE. UU.: Biological Science Office.
- Hooker, S. K. & Gerber, L. R. (2004). Marine reserves as a tool for ecosystem-based management: The potential importance of megafauna. *Bioscience*, 54, 27-39. [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0027:MR AATF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0027:MR AATF]2.0.CO;2)
- Hoyt, E. (2011). *Marine Protected Areas for whales, dolphins and porpoises: a world handbook for cetacean habitat conservation* (2da. ed.). Oxford, United Kingdom: Earthscan.
- IWC. International Whaling Commission. (2015). Report of the Scientific Committee. *J. Cetacean Res. Manage.*, 16, 1-87.
- Jackson, J.A., Steel, D.J., Beerli, P., Congdon, B. C., Olavarria, C., Leslie, M. S., ... Baker, C. S. (2014). Global diversity and oceanic divergence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 281, 20133222. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.322>.
- Jefferson, T., Hung, S. & Wursig, B. (2009). Protecting small cetaceans from coastal development: Impact assessment and mitigation experience in Hong Kong. *Mar. Policy*, 33, 305-311. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2008.07.011>

- Jensen, A. S. & Silber, G. K. (2003). *Large Whale Ship Strike Database*. Maryland, EE. UU.: NMFS-OPR-NOOA.
- Johnson, D. H. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*, 61, 65-71. <http://dx.doi.org/10.2307/1937156>
- Karczmarski, L., Wursig, B., Gailey, G. A., Larson, K. W. & Vanderlip, C. (2005). Spinner dolphins in a remote Hawaiian atoll: social grouping and population structure. *Behav. Ecol.*, 16, 675-685. <http://dx.doi.org/10.1093/beheco/ari028>
- Laist, D., Knowlton, A., Mead, J., Collet, A. & Podesta, M. (2001). Collision between ships and whales. *Mar. Mam. Sci.*, 17(1), 35-75. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.2001.tb00980.x>
- Laist, D., Knowlton, A. & Pendleton, D. (2014). Effectiveness of mandatory vessel speed limits for protecting North Atlantic right whales. *Endanger. Species Re.*, 23, 133-147. <http://dx.doi.org/10.3354/esr00586>
- Lusseau, D. & Higham, J. E. S. (2004). Managing the impacts of dolphin-based tourism through the definition of critical habitats: the case of Doubtful Sound, New Zealand. *Tourism Manage.*, 25(6), 657-667. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2003.08.012>
- Lusseau, D. (2004). The hidden cost of tourism: Detecting long-term effects of tourism using behavioral information. *Ecology and Society* 9(1). Recuperado en septiembre 24, 2013, disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art2/>
- Lusseau, D. (2006). The short-term behavioral reactions of bottlenose dolphins to interactions with boats in Doubtful Sound, New Zealand. *Mar. Mam. Sci.*, 22, 802-818. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00052.x>
- Lusseau, D., Bain, D. E., Williams, R. & Smith, J. C. (2009). Vessel traffic disrupts the foraging behavior of southern resident killer whales *Orcinus orca*. *Endanger. Species Re.*, 6, 211-221. <http://dx.doi.org/10.3354/esr00154>
- Márquez-Artavia, A., Oviedo, L., Herra-Miranda, D., Pacheco-Polanco, J. D., Quirós-Pereira, W., ... Figgenger, C. (2012, May). *The utilization distribution of humpback whales in Golfo Dulce, Costa Rica*. IWC 64th Scientific Committee, Panamá City, Panamá.
- Nowacek, D. P., Thorne, L. E., Johnston, D. W. & Tyack, P. L. (2007). Responses of cetaceans to noise. *Mammal Rev.*, 37(2), 81-115. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00104.x>
- Oviedo, L. (2007). Dolphin sympatric ecology in a tropical fjord: habitat partitioning by bathymetry and topography as a strategy to coexist. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 87, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315407056366>
- Oviedo, L. (2008). *Análisis del uso de hábitat del delfín manchado pantropical *Stenella attenuata* (Cetacea: Delphinidae) en el Golfo Dulce, Costa Rica*. Tesis de maestría no publicada. Universidad Nacional, Puntarenas, Costa Rica.
- Oviedo, L., Guzmán, H. M., Flórez-González, L., Capella Alzueta, J. & Mair, J. M. (2008). The song of the southeast pacific humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) off Las Perlas Archipelago, Panama: preliminary characterization. *Aquatic Mammals*, 34, 458-463. <http://dx.doi.org/10.1578/AM.34.4.2008.458>

- Oviedo, L., Pacheco, J. D. & Herra-Miranda, D. (2009). Evaluación de los riesgos de afectación por el establecimiento de granjas atuneras en relación con la distribución espacial de cetáceos en el Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Cien. Mar. Cost.*, 1, 159-174.
- Oviedo, L., Herra-Miranda, D., Pacheco-Polanco, J. D., Márquez-Artavia, A., Quirós-Pereira, W. ... Figgner, C. (2012, May). *The critical foraging habitats of bottlenose and coastal pantropical spotted dolphins in Golfo Dulce, Costa Rica*. IWC 64th Scientific Committee, Panamá City, Panamá.
- Oviedo, L., Herra-Miranda, D., Pacheco-Polanco, J. D., Figgner, C., Márquez-Artavia, A., ... Iñíguez, M. (2015). Diversidad de cetáceos en el paisaje marino costero de Golfo Dulce, Península de Osa, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 63(2), 395-406.
- Pacheco-Polanco, J. D. & Oviedo, L. (2007, November). *Determinación Preliminar de Hábitat Crítico de Alimentación del Delfín Nariz de Botella (Tursiops truncatus) en el Golfo Dulce, Costa Rica*. VII Venezuelan Congress of Ecology, Ciudad Guayana, Venezuela.
- Parrish, J. K. & Edelstein-Keshet, L. (1999). Complexity, pattern, and evolutionary trade-offs in animal aggregation. *Science*, 284, 99-101. <http://dx.doi.org/10.1126/science.284.5411.99>
- Quesada-Alpízar, M. A. & Morales-Ramírez, A. (2004). Comportamiento de las masas de agua en el Golfo Dulce, Costa Rica durante El Niño (1997 - 1998). *Rev. Biol. Trop.*, 52(2), 95-103.
- Quirós, G. (2003). Circulación del Golfo Dulce: un fiordo tropical. *Top. Meteor. Oceanog.*, 10(2), 75-83.
- Reif, J. S., Peden-Adams, M. M., Romano, T. A., Rice, C. D., Fair, P. A. & Bossart, G. D. (2009). Immune dysfunction in Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) with lobomycosis. *Med. Mycol.*, 47, 125-135. <http://dx.doi.org/10.1080/13693780802178493>
- Smith, J. N., Goldizen, A. N., Dunlop, R. A. & Noad, M. J. (2008). Songs of male humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, are involved in intersexual interactions. *Anim. Behav.*, 76(2), 467-477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2008.02.013>
- Sousa-Lima, R. & Clark, C. W. (2008). Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil. *Can. Accoust.*, 36(1), 174-181.
- Spencer, W. D. (2012). Home ranges and the value of spatial information. *J. Mammal.*, 93, 929-947. <http://dx.doi.org/10.1644/12-MAMM-S-061.1>
- Spitz, S. W. S., Herman, L. M., Pack, A. A. & Deakos, M. H. (2002). The relation of body size of male humpback whales to their social roles on the Hawaiian winter grounds. *Can. J. Zool.*, 80, 1938-1947. <http://dx.doi.org/10.1139/z02-177>
- Spongberg, A. L. & Davis, P. (1998). Organochlorinated pesticide contaminants in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 46, 111-124.
- Svendsen, H., Rosland, R., Myking, S., Vargas, J. A., Lizano, O. G. & Alfaro, E. C. (2006). A physical oceanographic study of Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 54(1), 147-170.
- Thompson, P. M., Wilson, B., Grellier, K. & Hammond, P. S. (2000). Combining power analysis and population viability analysis to compare traditional and precautionary approaches to conservation of coastal cetaceans. *Conserv. Biol.*, 14, 1253-1263.

- <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00099-410.x>
- Tyack, P. (1981). Interactions between singing Hawaiian humpback whales and conspecifics nearby. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 8, 105-116. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00300822>
- Tyack, P. (2000). Functional aspects of cetacean communication. In J. Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack & H. Whitehead (Eds.), *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales* (pp. 270-307). London, United Kingdom: University of Chicago Press.
- Umaña, G. (1998). Characterization of some Golfo Dulce drainage basin rivers (Costa Rica). *Rev. Biol. Trop.*, 46(6), 125-135.
- Van Bresseem, M. F., de Oliveira Santos, M. C. & de Faria Oshima, J. E. (2009). Skin diseases in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Paranagua estuary, Brazil: a possible indicator of a compromised marine environment. *Mar. Environ. Res.*, 67, 63-68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2008.11.002>
- Wheeler, B., Gilbert, M. & Rowe, S. (2012). Definition of critical summer and fall habitat for bowhead whales in the eastern Canadian Arctic. *Endanger. Species Re.*, 17, 1-16. <http://dx.doi.org/10.3354/esr00403>
- Whitehead, H., Reeves, R. R. & Tyack, P. L. (2000). Science and the conservation, protection, and management of wild cetaceans. In J. Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack & H. Whitehead (Eds.), *Cetacean societies: field studies of dolphins and whales* (pp. 308-332). London, United Kingdom: The University of Chicago Press.