UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA DE CONOCIMIENTO EN CIENCIAS DEL MAR Y DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

TESIS

USO DEL CORREDOR LA PAZ-LORETO, B.C.S., POR LOS MISTICETOS DURANTE LA TEMPORADA FRÍA 2008 – 2015

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

PRESENTA:
LILIA ALONSO LOZANO

DIRECTOR:
DR. ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO UNZUETA

LA PAZ, B. C. S., DICIEMBRE DE 2016.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
Área de Conocimiento de Ciencias del Mar y de la Tierra
Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

CIMACO

Fecha: 21-Noviembre-2

DR. ENRIQUE A. GÓMEZ GALLARDO UNZUETA
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS
PRESENTE.

Los abajo firmantes, Miembros del Comité Académico Asesor del trabajo de tesis completamente terminado, titulado:

Uso del corredor La Paz-Loreto, B.C.S. por los misticetos durante la temporada fría 2008-2015

que presentó:

B.M. Lilia Alonso Lozano

Otorgamos nuestro voto **aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su **defensa**, a fin de obtener el **Grado de Maestro** en Ciencias Marinas y Costeras, con Orientación en Ecología Marina

Comité Académico Asesor:

Enrique Alejandro Gómez Gallardo Un. — Nombre del Director — Firma

Eduardo González Rodríguez — Nombre del Asesor — Firma

Jorge Urbán R. — Nombre del Asesor — Firma

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
RECIBIDO
22 NOV 2016
11-25 hrs
DECIMAC
POSGRADO EN CIENCIAS MARINAS Y COSTERAS

c.c.p Expediente del alumno (CIMACO)

∞Agradecimientos∞

Especialmente a mi director de tesis, Doctor Alejandro Gómez Gallardo Unzueta, por otros dos años y medio llenos de siempre apoyo, paciencia, enseñanzas como el gran ser humano e investigador que es. A pesar de todos los sones durante este periodo ¡lo logramos! Muchas gracias.

A los miembros de mi comité: Doctor Eduardo González Rodríguez, tanto por agradecer también. Esas horas frente al dichoso Matlab que parecían nunca acabar, al fin está aquí el resultado y definitivamente no hubiera sido posible sin toda tu ayuda. Gracias. Doctor Jorge Urbán Ramírez, por ser parte de este proyecto, hacerlo posible, así como sus observaciones y orientación. Definitivamente pertenecer a PRIMMA me ha dejado los momentos más extraordinarios de mi vida, gracias.

Doctor Carlos Yáñez, por la oportunidad de efectuar la estancia con usted y todas sus recomendaciones que hicieron posible una mejor realización en la parte de la modelación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca para realizar mis estudios de posgrado.

A la Organización No Gubernamental, Ecology Project International, por su colaboración con el programa “Ecología de Ballenas” para las salidas al campo que permitieron la toma de datos.

A cada ser que forma parte de mi familia no biológica: Erandi, Tony, Diego, María (vale por dos), Tatiana, Shino, Angélica, Mitzy, Dulma, Lau (vale por dos), Cesar, Mely, Viole y Jes (por esos tantos días de “estresistas”, que de no haberlos tenido hubiera sido imposible). Gracias a todos por estar en el mismo camino y permitirme ser parte del de ustedes, por su amor, apoyo, risas, abrazos, alegrías y tristezas. Por recordarme que la vida son instantes y que sin ustedes nada sería lo mismo. Que increíble poder recorrer este camino juntos y hacerlo más feliz. ¡¡¡¡¡¡¡Gracias!!!!!!!!

A todas las personas que me ayudaron a la elaboración de esta tesis, desde un consejo, respuestas a mis miles de preguntas, hasta soportar mi estrés al mil (PRIMMA). Gracias.

Al mar….

∞Dedicatoria∞

Es la parte más difícil, hay tanto que decir en tan poco espacio.. Mamá, esto es por y para ti, otra tesis más. Definitivamente no pude haber elegido una mejor guía de viaje, jamás encontraré las palabras suficientes para agradecerte y decirte cuánto te amo. Gracias a la vida y gracias a Dios por ti.

A mi papá, mi otro apoyo incondicional. Cuando creía que no lo lograba siempre había un: "aguanta", que me regresaba y me hacía buscar las fuerzas para seguir adelante. Gracias de verdad. Te quiero muchísimo.

A mis segundos padres, mis ángeles. Siempre a mi lado en cada paso que doy, cuidándome desde donde sea que estén y segura de que hoy celebran junto conmigo este logro más. Los extraño y amo siempre.

A toda mi familia, tíos, primos, sobrinos.. Aunque estamos lejos siempre los llevo muy presente. Gracias por ser parte de esto también. Los adoro.

Hoy comparto este espacio con otra persona que llegó a pintar de colores mi vida, a ponerla de cabeza, a enseñarme lo simple y a ver más allá en los días nublados. Todos los días doy gracias porque nuestros caminos se juntaron y estoy más que convencida que los tiempos de Dios son perfectos. Te amo millones moi ♥

"Pero los ojos están ciegos, hay que buscar con el corazón.."

ÍNDICE

ÍNDICE……i
ÍNDICE DE FIGURAS……iii
ÍNDICE DE TABLAS……v
RESÚMEN……vi
ABSTRACT……vii
I. INTRODUCCIÓN……1
II. ANTECEDENTES……4
III. JUSTIFICACIÓN……9
IV. OBJETIVOS……11
IV.1 Objetivo general……11
IV.2 Objetivos específicos……11
V. ÁREA DE ESTUDIO……12
V.1 Bahía de La Paz……12
V.2 Canal de San José……13
V.3 Bahía de Loreto……13
VI. MATERIAL Y MÉTODOS……15
VI.1 Trabajo de Campo……15
VI.2 Trabajo de escritorio……16
VI.2.1 Datos ambientales……16
VI.2.2. Análisis espacial……18
VI.2.3 Análisis estadísticos……21
VI.2.4 Modelado de uso del hábitat mediante la Máxima Entropía……21
Construcción del modelo……22
VII. RESULTADOS……27
VII.1 Datos ambientales……27
VII.2 Análisis espacial……29
VII.3 Distribución y modelación de uso de hábitat……35
VII.3.1 Rendimiento de los modelos (AUC)……38
VII.3.2 Contribución de las variables y su ganancia al modelo……38
VIII.3.3 Mapas de uso de hábitat……39
VIII. DISCUSIÓN……45
VIII.1. Distribución y abundancia relativa de las ballenas……45

VIII.2. Modelación de uso de hábitat……...50
VIII.2.1. Tránsito…….51
VIII.2.3. Alimentación……..54
VIII.2.4. Crianza.……...56
VIII.2.5. Descanso……...58
IX. CONCLUSIONES…….59
X. LITERATURA CITADA……..61
ANEXO I. RENDIMIENTO DE LOS MODELOS AUC……...73
ANEXO II. CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLESJACKKNIFE…..……...80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio……..14
Figura 2. Datos de TSM (A) y Clo (B) ejemplificando las características del área de estudio……...17
Figura 3. Datos de Carbón Orgánico Particulado (A) y batimetría (B) ejemplificando el área de estudio…….17
Figura 4. Estratos en los que se dividió el área de estudio……..19
Figura 5. Esfuerzo realizado en (A) panga y (B) barco durante el periodo de estudio……20
Figura 6. Mapa binario que ejemplifica el caso del rorcual común…….....24
Figura 7. Curva ROC y valores de AUC para los puntos de entrenamiento y prueba del rorcual común. La línea roja representa el ajuste del modelo a los puntos de entrenamiento, la línea azul representa el ajuste del modelo a los puntos de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio…….26
Figura 8. Variación de TSM durante los años del periodo de estudio……...28
Figura 9. Variación de Clo durante los años del periodo de estudio……..28
Figura 10. Variación de COP durante los años del periodo de estudio…….29
Figura 11. Número de organismos de misticetos observados durante el periodo de estudio. B.p.: *Balaenoptera physalus*; B.e.: *Balaenoptera edeni*; B.m.: *Balaenoptera musculus*; B.a.: *Balaenoptera acutorostrata*; B.b.: *Balaenoptera borealis*; M.n.: *Megaptera novaeangliae*; E.r.: *Eschrichtius robustus*……...30
Figura 12. Comparación de la abundancia relativa de los misticetos entre los años de estudio……..……31
Figura 13. Comparación estadística de las abundancias relativas del (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical y (C) Ballena azul entre los años de estudio……...33
Figura 14. Comparación estadística de las abundancias relativas de la (A) Ballena jorobada, (B) Ballena de Sei y (C) Ballena gris entre los años de estudio…….34
Figura 15. Distribución de tres especies de misticetos encontrados durante el estudio. Bm: *Balaenoptera musculus*; Bp: *Balaenoptera physalus*; Er: *Eschrichtius robustus*…….35
Figura 16. Distribución de tres especies de misticetos encontrados durante el estudio. Ba: *Balaenoptera acutorostrata*; Bb: *Balaenoptera borealis*; Mn: *Megaptera novaeangliae*; Be: *Balaenoptera edeni*…….36

Figura 17. Predicción del uso tránsito estimada para (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical, (C) Ballena azul, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color)…….40
Figura 18. Predicción del uso de tránsito estimada para (A) Ballena jorobada, (B) Ballena gris, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color)……41
Figura 19. Predicción del uso alimentación estimada para (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical, (C) Ballena azul, (D) Ballena jorobada, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color)……42
igura 20. Predicción del uso crianza estimada para (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical, (C) Ballena azul, (D) Ballena jorobada, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color)……43
Figura 21. Predicción del uso descanso estimada para (A) Ballena azul, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color)……44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Ejemplo de los valores obtenidos de AUC y TOR usando los parámetros linear y cuadrático, Hinge y todos durante la calibración y validación para el modelo del rorcual tropical. 24
Tabla II. Muestra el parámetro seleccionado para la elaboración del modelo final de uso de hábitat para cada especie. 25
Tabla III. Esfuerzo realizado (km) por año y para cada embarcación 29
Tabla IV. Listado taxonómico de las especies de misticetos observados en el presente estudio. 30
Tabla V. Comportamientos que presentaron los misticetos. 37

RESÚMEN

La preferencia y el uso del hábitat es determinada por una compleja interacción de patrones conductuales, requerimientos biológicos y condiciones ambientales, su estudio es esencial para la gestión de la biodiversidad marina. Esta investigación plantea determinar el uso del área entre el corredor La Paz-Loreto por los misticetos durante los inviernos comprendidos entre 2008-2015. Se realizaron navegaciones en búsqueda de ballenas; se utilizaron imágenes satelitales diarias con una resolución de 1 km2 y nivel L2 de las variables Clo y COP. La TSM se obtuvo del GHRSST a la misma resolución y nivel L4 y la batimetría a 30 s/arc del GEBCO. Las imágenes fueron procesadas en Matlab. El área de estudio se dividió en 101 estratos de 85km2; de cada estrato y año se estimó el esfuerzo realizado, abundancia relativa, promedios, mínimos, máximos y gradientes de variables ambientales. Previo a la modelación, se realizaron análisis de Densidad de Kernel Gaussiana y Jackknife espacial en ArcMap 10.3. Los modelos de predicción se llevaron a cabo con la herramienta basada en la Máxima Entropía (Maxent 3.3.3) y mostraron un excelente poder predictivo. Se observaron 1014 misticetos en 720 avistamientos, identificándose siete especies: rorcual común y tropical, ballena azul, Minke, de Sei, jorobada y gris; la ballena azul presentó la mayor ab/rel. Las condiciones idóneas para el uso tránsito fueron principalmente al oeste del Archipiélago Espíritu Santo (AES), Canal de San José (CSJ) e Isla del Carmen; las variables con mayor contribución fueron TSM y POC. Los valores altos de probabilidad para el uso de alimentación corresponden al oeste AES, Punta Coyote, Isla Monserrat y Cuenca Alfonso; los cuatro parámetros fueron importantes en aportación a los modelos. Las condiciones idóneas para encontrar madres con cría son al oeste del AES, CSJ y zona entre Bahía Loreto e Isla San José; los cuatro parámetros aportaron a los modelos. Las zonas adecuadas para el descanso fueron entre Isla San José y Bahía Loreto, la batimetría tuvo la mayor contribución. La predicción de las zonas idóneas así como la contribución de las variables ambientales para los usos de cada una de las especies, estuvieron definidas por la propia ecología de las ballenas y sus necesidades biológicas.

ABSTRACT

Use and habitat preference is determinated by a complex interaction of behavioral patterns, biological requirements and environmental conditions, their study is essencial for the management of marine biodiversity. The main objective is to determinate the use of the area comprised the corridor La Paz-Loreto by mysticetes during winters in the period 2008-2015. Cruises were conducted for census record; daily satellite images were used with a resolution of 1km2 and L2 level of the variables Chla and POC. SST was obtained from GHRSST product at the same resolution and L4 level and bathymetry at 30s/arc from the GEBCO. Images were processed on Matlab. The area was divided into 101 stratum of 85km2; from each stratum and year was estimated effort, relative abundance, averages, minimum, maximum and gradients of environmental variables. Prior to the modeling, Spatial Jackknifing and Gaussian kernel density of sampling localities were performed in ArcMap 10.3. The prediction models were made using the Maximum Entropy (Maxent 3.3.3) and showed an excellent predictive power. A total of 1014 species were observed in 720 sightings, identifying seven species: fin, Bryde´s, blue, Minke, Sei, humpback and gray whale; blue whale had the highest ab/rel. The suitable conditions for transit use were mainly to the west of the Archipiélago Espíritu Santo (AES), San José Channel (CSJ) and Carmen Island; the variables with the greatest contribution were SST and POC. The high probability values for the feeding use corresponded to the west AES, Punta Coyote, Monserrat Island and Alfonso Basin; the four parameters were important in contributing to the models. The suitable areas to find mothers with calves were to the west of the AES, CSJ and zone between Bahía Loreto and San Jose Island; the four parameters contributed to the models. The suitables habitat for the rest use were between San José Island and Loreto Bay, bathymetry had the greatest contribution. The predictions of suitable areas as well as the contribution of environmental variables to the uses of each of the species were defined by the ecology of whales and their biological needs.

I. INTRODUCCIÓN

El Golfo de California (GC en adelante) es un mar subtropical que presenta una sobresaliente diversidad de cetáceos con gran variedad de presa, que se distribuyen en tanto en aguas costeras y oceánicas, de aguas templadas y tropicales y algunos de ellos con hábitos migratorios (Urbán 2003). En el GC se conocen de 31 especies de delfines y ballenas, lo que representa cerca del 39% de la diversidad mundial de cetáceos. Los misticetos están representados por ocho de las trece especies conocidas, pertenecientes a tres de las cuatro familias existentes (Niño-Torres *et al*., 2011). Esta diversidad es consecuencia de distintos factores como: las altas tasas de producción primaria, la gran diversidad de hábitats, los diferentes procesos oceanográficos que ocurren en el golfo y sus aguas relativamente cálidas y tranquilas en el invierno y primavera, que permiten que varias especies migratorias utilicen esta zona para sus actividades de apareamiento y crianza (Chávez-Andrade 2006).

El estudio del hábitat es esencial para la comprensión de las necesidades biológicas y ecológicas de los organismos, así como las estrategias que emplean para satisfacer sus necesidades (Cribb *et al*., 2015). Sin embargo, la definición de hábitat sigue siendo contenciosa y en el caso de los cetáceos es aún más complicada debido a su gran diversidad y amplia gama de patrones de distribución; de acuerdo a Hoyt (2011), una posible definición de hábitat para cetáceos es: “las zonas de distribución, ya sea de la especie o la población de esa especie, esencial para la supervivencia diaria así como el mantenimiento de la tasa de crecimiento de la población. Las áreas usadas para alimentación, reproducción, crianza y migración”.

La preferencia y el uso del hábitat es determinada por una compleja interacción de patrones conductuales, requerimientos biológicos y condiciones ambientales donde sus actividades vitales son satisfechas, las cuales básicamente son la reproducción y la alimentación (Ersts y Rosenbaum 2003). Gaskin (1983), postuló que la distribución y la abundancia de los misticetos se relaciona con dos factores primordiales: la distribución y abundancia de las especies que constituyen su alimento, y su presencia en zonas donde se optimizan los procesos de reproducción y crianza. El movimiento y uso de los organismos entre las áreas en las que sus requerimientos metabólicos y reproductivos son satisfechos, determinará que la estructura de las comunidades que integran, cambie a

distintas escalas de espacio y tiempo (Flores-Ramírez *et al.*, 1996). La mayoría de las ballenas barbadas realizan migraciones periódicas con patrones relativamente constantes a lo largo de los años, estos movimientos son de zonas tropicales donde se reproducen (migración reproductiva) durante el invierno, a latitudes mayores para alimentarse (migración trófica) en el verano. La migración trófica depende de cuándo y dónde se concentra su presa, lo cual está en gran medida determinado por las características del ecosistema marino y la dinámica del clima y procesos oceánicos (Forcada 2002; Munger *et al.*, 2009).

Dentro del Golfo de California coexisten especies que llevan a cabo sus actividades vitales (alimentación y reproducción) sin realizar migraciones, como es el caso del rorcual común, Balaenoptera physalus, y el rorcual tropical, Balaenoptera edeni; en ambas especies se considera la presencia de poblaciones residentes. Por otro lado, para la ballena azul, Balaenoptera musculus, el Golfo de California, representa una región importante de migración con fines de alimentación, reproducción y crianza; para la ballena jorobada, Megaptera novaeangliae, ésta misma área constituye uno de los sitios más significativos del Océano Pacífico en cuanto a sus actividades de reproducción y crianza (Urbán y Gómez-Gallardo 2008).

Entender la relación entre los factores ambientales y el uso que le dan las especies a las áreas donde se distribuyen, es fundamental para la gestión de la biodiversidad marina. En las últimas dos décadas se han iniciado estudios que explican la presencia y distribución de los cetáceos en relación a las variables ambientales y estacionales, incluyendo la batimetría, temperatura superficial marina, salinidad, ubicación de frentes, giros, concentración de clorofila y retrodispersión acústica (Munger *et al.*, 2009). Para el análisis de estas tendencias se emplean diversas herramientas, y entre ellas se encuentran los modelos de hábitat, los cuales están siendo usados en estudios de gestión de mamíferos marinos, incluyendo uso de hábitat, mejoras en la estimación de abundancia, desarrollo de áreas marinas protegidas, y la comprensión de las interacciones entre las pesquerías y los cetáceos (Redfern *et al.*, 2006).

Aunado a lo mencionado, los sensores remotos brindan la posibilidad de estudiar la variabilidad espacio-temporal de algunos parámetros ambientales en el océano, dada su amplia cobertura así como sus niveles de sensibilidad radiométrica y espectral, pudiendo

realizarse determinaciones de los cambios a escala global de diferentes procesos físicos y biológicos (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín 2007), que influyen en la presencia de los cetáceos en una zona determinada.

La adecuada administración de los recursos, requiere del conocimiento de la dinámica poblacional y de la relación que el ambiente pudiera tener en la misma. Por lo anterior, el presente estudio pretende integrar la información del ambiente y su variabilidad, con la presencia, distribución y comportamiento de los misticetos, para determinar la forma en que utilizan el corredor La Paz-Loreto durante los inviernos del 2008 al 2015.

II. ANTECEDENTES

Los cetáceos son depredadores móviles que se alimentan de agregaciones de zooplancton, pelágicos menores y muchas presas más como moluscos. Diversas investigaciones han demostrado que dichos organismos no se distribuyen de manera azarosa, sus patrones de ocurrencia y movimientos están definidos y relacionados con la variabilidad estacional de los parámetro ambientales, tendiendo a ser más abundantes en zonas altamente productivas con gran disponibilidad de presas (Smith *et al.*, 1986; Tershy *et al.*, 1990; Flores-Ramírez *et al.*, 1996; Salvadeo 2008; Munger *et al.*, 2009).

La selección de hábitat por los cetáceos puede ser considerada como una función compleja y dinámica basada en los requerimientos de las especies, la cual puede estar determinada por su alimentación, cortejo, evasión de los depredadores y competidores, y la capacidad de moverse entre los diferentes tipos de hábitats (Azzellino *et al.*, 2008). Sin embargo, algunas especies permanecen durante todo su ciclo de vida en un área relativamente restringida, gracias a que las características de la zona son propicias y le permiten cubrir sus requerimientos y desarrollar todas sus actividades, un ejemplo de esto es la población residente y aislada genéticamente del rorcual común en el GC (Bérubé *et al.*, 2002). Esta población es la única de misticetos en el mundo que presenta residencia permanente en un área de las dimensiones del GC, siendo un caso similar la población residente de rorcual común en el mar Mediterráneo (Díaz 2006).

La diferencia en los usos del hábitat es principalmente el resultado de los diversos requerimientos como los hábitos de alimentación, que a su vez son impulsados por otros factores como la presencia de competidores potenciales o cambios ambientales. Se sabe que la competencia por el alimento puede conducir a la segregación espacial y/o temporal de los organismos; la segregación temporal puede facilitar la coexistencia de especies competidoras evitando la confrontación directa o reduciendo el solapamiento de la explotación de los recursos (Begon *et al.*, 1999; Azzellino *et al.*, 2008). Respecto a esto, Del Ángel-Rodríguez (1997), concluyó que para Bahía de La Paz tanto el rorcual común como la ballena azul se alimentan de *Nyctiphanes simplex*, pero difieren en el uso espacial y en mayor medida del temporal, el primer cetáceo prefiere zonas más someras y cercanas a la costa, ocupando la bahía en periodos más amplios que la ballena azul, la cual fue observada en zonas más oceánicas sólo durante dos o tres meses. El mismo

patrón espacial para ambas especies fue encontrado por Zavala-Hernández (1996), pero en la costa oriental y occidental de la Península de Baja California.

Las variaciones climatológicas tienen una influencia en el comportamiento de las especies, su organización social como en el caso de las orcas (Orcinus orca) y los tursiones (Tursiops truncatus) del Atlántico (Lusseau *et al.*, 2004), distribución, alimentación y reproducción (Azzellino *et al.*, 2008). El rorcual tropical se encuentra presente durante todo el año dentro del GC y la forma en que utiliza dicha área está relacionada a la disponibilidad y distribución de su presa, la sardina de Monterey (Sardinops sagax) (Urbán y Flores 1996; Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). Salvadeo *et al.*, (2011), contrastaron la ocurrencia mensual de dicho rorcual en Bahía de La Paz entre 1988 y 2006 con la variabilidad climática a escalas temporales estacional e interanual, y el efecto de esta variabilidad climática sobre la disponibilidad de su presa. Los resultados mostraron que durante condiciones de La Niña, un mayor número de ballenas usan la zona sur, cuando la población de sardinas del GC se distribuye en esta área. En contraste, durante El Niño, la distribución de la sardina se contrae al norte del Golfo de California, donde la producción primaria se mantiene elevada gracias a los procesos de mezcla y corriente de marea, por lo que la abundancia del rorcual tropical aumenta en dicha zona por la búsqueda de su alimento.

En cuanto al tema de reproducción y crianza, la ballena azul y la ballena jorobada son dos importantes visitantes del Golfo de California durante el invierno y la primavera. Particularmente la Bahía Loreto, es utilizada por la ballena azul para reproducirse y cuidado de crías (Gendron 1990; Vidal *et al.*, 1993). Sin embargo, debido a los altos requerimientos metabólicos de esta especie, se sabe que no sólo viene a reproducirse a las aguas del golfo, si no que constantemente está en búsqueda de alimento y también utiliza esta zona para alimentarse. Gendron (1990), menciona que la ballena azul está asociada a las agregaciones superficiales de *Nyctiphanes simplex* dirigidas a eventos de surgencia y de alta productividad fitoplanctónica, sobre todo durante los meses de marzo-abril a lo largo de las costas de Baja California en la región de las islas del Carmen, Danzante, Monserrat y Bahía de La Paz. Respecto a la ballena jorobada, una parte de la población del Pacífico Norte visita la costa oeste de la Península, principalmente desde el sur de Isla Cedros hasta Cabo San Lucas; también se tienen registros de esta especie alrededor de la parte norte de la Isla San José en el Golfo de California (Johnson y

Wolman 1984). Jiménez (2006), determinó el uso de hábitat de madres con cría y machos cantores de ballena jorobada en la región de Los Cabos, mediante patrones espaciales y su posible relación con parámetros fisiográficos. Los resultados muestran que la principal variable indicadora sobre la distribución de las ballenas fue la profundidad, principalmente para madres con cría, y las que son acompañadas de uno o más individuos, y detectó dos áreas de agregación en la zona de estudio Cabo Pulmo-Los Frailes y Punta Gorda para actividades específicas de crianza y apareamiento.

La planificación espacial marina ha sido clave para identificar sitios de conservación y potenciales áreas protegidas para mamíferos marinos. Urbán y Gómez-Gallardo (2008), llevaron a cabo un estudio donde identificaron las épocas del año y las zonas utilizadas por las grandes ballenas en las regiones de Loreto-Isla San José y La Paz-Los Cabos, relacionando su presencia con la conformación batimétrica del fondo, temperatura y clorofila y así, diseñaron y elaboraron una propuesta de manejo y conservación para dicha zona.

La contribución de cada uno de los factores en la conformación espacial y temporal de la distribución de las especies es a menudo difícil de cuantificar y, durante mucho tiempo los muestreos se han realizado con diseños convencionales basándose en transectos lineales y utilizando técnicas de estadística descriptiva, por lo que la dificultad de determinar todos los factores potencialmente relevantes es la razón principal de la falta de conocimiento (Gómez de Segura *et al.*, 2007; Azellino *et al.*, 2008). Debido a esto, recientemente se han desarrollado modelos probabilísticos de ocurrencia a gran escala con información de presencia y/o ausencia de especies en un área determinada y el límite de tolerancia a ciertas variables ambientales donde satisfacen sus requerimientos. Algunas de las herramientas que han sido utilizadas para estimar la densidad, abundancia, distribución, idoneidad, modelación, uso y preferencia de hábitat de los cetáceos son el Modelo de Máxima Entropía (Maxent) (Moura *et al.*, 2011; CPPS/PNUMA 2012; Pendleton *et al.*, 2012; Thorne *et al.*, 2012; Bombosch *et al.*, 2014; Stevens 2014); los Modelos Aditivos Generalizados (GAM por sus siglas en inglés) (Forney 2000; Cañadas *et al.*, 2002; Pirotta *et al.*, 2011; Best *et al.*, 2012); y los Modelos Lineares Generalizados (GLM por sus siglas en inglés), entre otros (Bailey y Thompson 2009; Barlow *et al.*, 2009; Cato *et al.*, 2009).

Los modelos de preferencia de uso de hábitat e idoneidad de hábitat, proveen un método valioso para determinar la distribución de las especies con base en las características del ambiente, las áreas de conservación prioritarias y la identificación de zonas clave para investigaciones sobre las interacciones entre las especies y los factores de estrés antropogénicos (Bailey y Thompson 2009; Torres *et al.*, 2013; McClellan *et al.*, 2014). Algunas de las investigaciones utilizando Maxent como herramienta de trabajo y enfocados a misticetos son los realizados por Smith *et al.*, (2012), quienes desarrollaron un modelo de hábitat predictivo para la ballena jorobada que visita el parque marino de la gran barrera de coral durante el invierno (junio a septiembre) con fines de reproducción y crianza. El modelo identificó rangos respecto a la profundidad (30 a 58 m) y la temperatura superficial del mar (21 a 23 °C), y dos áreas centrales de mayor probabilidad de ocurrencia, una usada como ruta de migración y otra como un área de reproducción y crianza.

La comisión permanente del pacífico sur (CPPS, por sus siglas) en colaboración con el programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA, por sus siglas) (2012), con el fin de apoyar la gestión y conservación de mamíferos marinos, elaboraron un atlas que integra la información de distribución, rutas de migración, hábitats críticos, predicción de hábitats y amenazas para grandes cetáceos en el Pacífico Oriental, entre las que figuran la ballena azul, el rorcual común y la ballena jorobada. Con ayuda de Maxent realizaron los modelos de idoneidad de hábitat utilizaron el Maxent; para los meses de diciembre a mayo, los resultados arrojan que la productividad primaria es el principal contribuyente en el caso de la ballena azul encontrándose en la parte sur de México y el domo de Costa Rica; la variable más importante para el rorcual tropical fueron la TSM y el hábitat ideal para la especie es extenso a lo largo del año, pero para los meses señalados se muestra asociado a las zonas cercanas del continente al noroeste de México, Ecuador y Perú. Finalmente, para la ballena jorobada la variable de mayor contribución es la profundidad y la modelación muestra que el hábitat ideal para la ballena jorobada se encuentra en la zona de Baja California, noroeste de México y la costa de Centroamérica hasta Ecuador.

Para el Golfo de California, Gómez-Gallardo (2013), realizó una investigación en durante las temporadas cálida y fría de los años 2004 a 2006, donde identificó zonas importantes para la distribución de ballenas a través de las herramientas GAM y Maxent, con base en

sus variables ecológicas, poblacionales y su relación con algunos parámetros ambientales como la temperatura superficial del mar, batimetría, producción primaria neta y concentración de clorofila para identificar procesos oceanográficos de mesoescala. Los resultados arrojan que durante el invierno hay una distribución amplia a lo largo del golfo por parte de las grandes ballenas, pero en el verano esta distribución se limita a las regiones centro y norte del mismo. Las variables que tuvieron una mayor contribución a la estimación de la distribución con dichas herramientas fueron: la temperatura superficial marina, los procesos de mesoescala (principalmente surgencias y remolinos) y en menor medida la productividad primaria neta y la profundidad.

III. JUSTIFICACIÓN

El Golfo de California se caracteriza por ser una de las principales regiones pesqueras de México, en el 2012 los estados que tienen costa en esta zona obtuvieron el 75% del volumen de producción en peso desembarcado y el 59% del valor de la producción respecto al nacional (ANÓNIMO 2012). Esto genera una interacción entre las pesquerías y los cetáceos, los cuales en ocasiones llegan a competir por recursos similares, pudiendo ser parte de la captura incidental de las pesquerías y sufrir enmallamientos con las redes e incluso coaliciones con las embarcaciones.

Por otro lado, la riqueza biológica del Golfo de California está en un riesgo cada vez mayor mientras aumenta el efecto de las actividades humanas (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). Una de las formas en las que se explota este tipo de recursos es mediante el avistamiento de ballenas, actividad que en los últimos años ha tenido un incremento significativo. La Bahía Loreto es un área donde se lleva a cabo este tipo de actividad dejando ingresos importantes de divisas para la población y está dirigida principalmente a la ballena azul que, como ya se mencionó, llega a la zona con fines de alimentación, reproducción y crianza. La Bahía de la Paz es una zona que presenta una alta productividad primaria, lo que la convierte en un área trascendental para la pesca y también es utilizada como zona de alimentación para especies de misticetos como los rorcuales común y tropical

.

Los problemas a los que se enfrentan los mamíferos marinos no son puramente biológicos; las actividades antropogénicas cada vez son mayores y, en ocasiones, la forma en la que se desarrollan no son las adecuadas. Por lo tanto, los principios que se utilicen para guiar la conservación y para implementarla requerirán la aplicación e integración del conocimiento geofísico, biológico, ecológico, económico, sociológico, político e institucional (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006).

De acuerdo con lo anterior, es de gran importancia tener un buen conocimiento sobre la caracterización del hábitat de los cetáceos, los patrones que determinan los rangos de distribución, la estructura de las diferentes poblaciones o stocks de las ballenas y del uso que hacen del ambiente; lo que permitirá el análisis y comprensión de los mecanismos ambientales que les influyen, que contribuirá en la definición de áreas de manejo

adecuado de estas especies protegidas, así como en la planeación y ejecución de programas de gestión marina.

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo general

- Determinar el uso del área comprendida en el corredor La Paz-Loreto, B.C.S., México, por los misticetos durante el invierno en el periodo 2008-2015.

IV.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación temporal de los parámetros ambientales.
- Estimar la abundancia relativa de los misticetos.
- Establecer la distribución de las ballenas en la zona.
- Analizar el comportamiento de los misticetos y estimar la probabilidad de uso del corredor (comportamiento) en relación a las variables ambientales.

V. ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se realizará dentro del Golfo de California, desde la Bahía de La Paz, pasando por el Canal San José hasta la Bahía de Loreto (Figura 1).

V.1 Bahía de La Paz

La Bahía de La Paz (BLP de ahora en adelante) está situada en la región suroccidental del GC, localizada geográficamente entre los paralelos 24.16°N y 24.78°N y los meridianos 110.33°O y 110.73°O. Cubre aproximadamente 2,635 km2 y está limitada al norte por la Isla San José, al sur por la Ensenada de La Paz y la barrera de arena conocida como "El Mogote", al oriente por las islas Espíritu Santo y La Partida y al occidente por la Península de Baja California (Reyes-Salinas 1999) (Figura 1).

La distribución superficial de la temperatura es generalmente uniforme, especialmente existen ligeras variaciones en la parte somera (sur de la bahía) y Canal de San Lorenzo los cuales son debidas a la mezcla inducida por la turbulencia derivada de la interacción de las corrientes de marea de fondo (Reyes-Salinas *et al.*, 2003). El promedio anual de temperatura del agua es de 24.7°C con un intervalo de 20-29.5°C y mantiene un rango de salinidad entre 34.5%° y 37%° (Monteforte 2005; De Silva-Dávila 1997).

Respecto a la batimetría de la BLP, la parte sur es somera y se va haciendo más profunda hacia el norte, destacando la Cuenca Alfonso, una depresión con una profundidad máxima de 450 m. En su parte central, una falla con rumbo suroeste parte del extremo norte de la Isla La Partida, así como un cadena de montes submarinos constituida por tres promontorios con cimas entre 250 y 300 m de profundidad, entre Isla San José y el complejo insular La Partida-Espíritu Santo. (Cruz-Orozco *et al.*, 1990; Cruz-Orozco 1996).

Gracias a la dinámica de las condiciones de verano y a las condiciones de invierno mencionadas anteriormente, se presentan dos épocas en el ciclo estacional de la producción primaria en la Bahía de La Paz: una de alta producción de marzo-agosto y otra de baja producción de septiembre-febrero, cuya estructura depende, entre otros factores, de la variabilidad estacional de la penetración de luz y de la estratificación de la columna de agua (Cervantes-Duarte *et al.*, 2005).

V.2 Canal de San José

La isla San José se encuentra en los 24.98°N y 110.61°O, está ubicada en el GC, al norte de la BLP, separada del macizo peninsular por el estrecho Canal de San José (CSJ de ahora en adelante) por un canal de 6 a 10 km de ancho; mide 28 km de largo por 7.5 km de ancho y es de las islas más grandes de la costa oriental de Baja California Sur. (Holguin *et al.*, 2008) (Figura 1).

V.3 Bahía de Loreto

La Bahía de Loreto (BL de ahora en adelante) se ubica en el GC entre las coordenadas 25.86°N y 111.12°O y 26.13°N y 111.35°O. Se encuentra situada en la parte centro-sur del GC y es delimitada por las islas Coronado, Carmen, Monserrat y Danzante (Velázquez 2005). Respecto a las características específicas de esta bahía, la temperatura del agua en la superficie oscila entre los 26° y 33°C, con los registros de temperaturas altas en zonas de menor profundidad. La salinidad presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo de año, así que la variación entre máximo y mínimo superficial es menor a 1.0 %° (34.94 UPS en abril-mayo y 35.11 UPS en julio-agosto) (Anónimo 2000) (Figura 1).

Entre BL y el CSJ existe un área estructuralmente compleja y heterogénea, en la que la presencia de fosas y montes submarinos se conjuga con islas de origen volcánico y con una plataforma continental irregular en su amplitud, la cual no rebasa los 5 km (Lanza-Espino 1991).

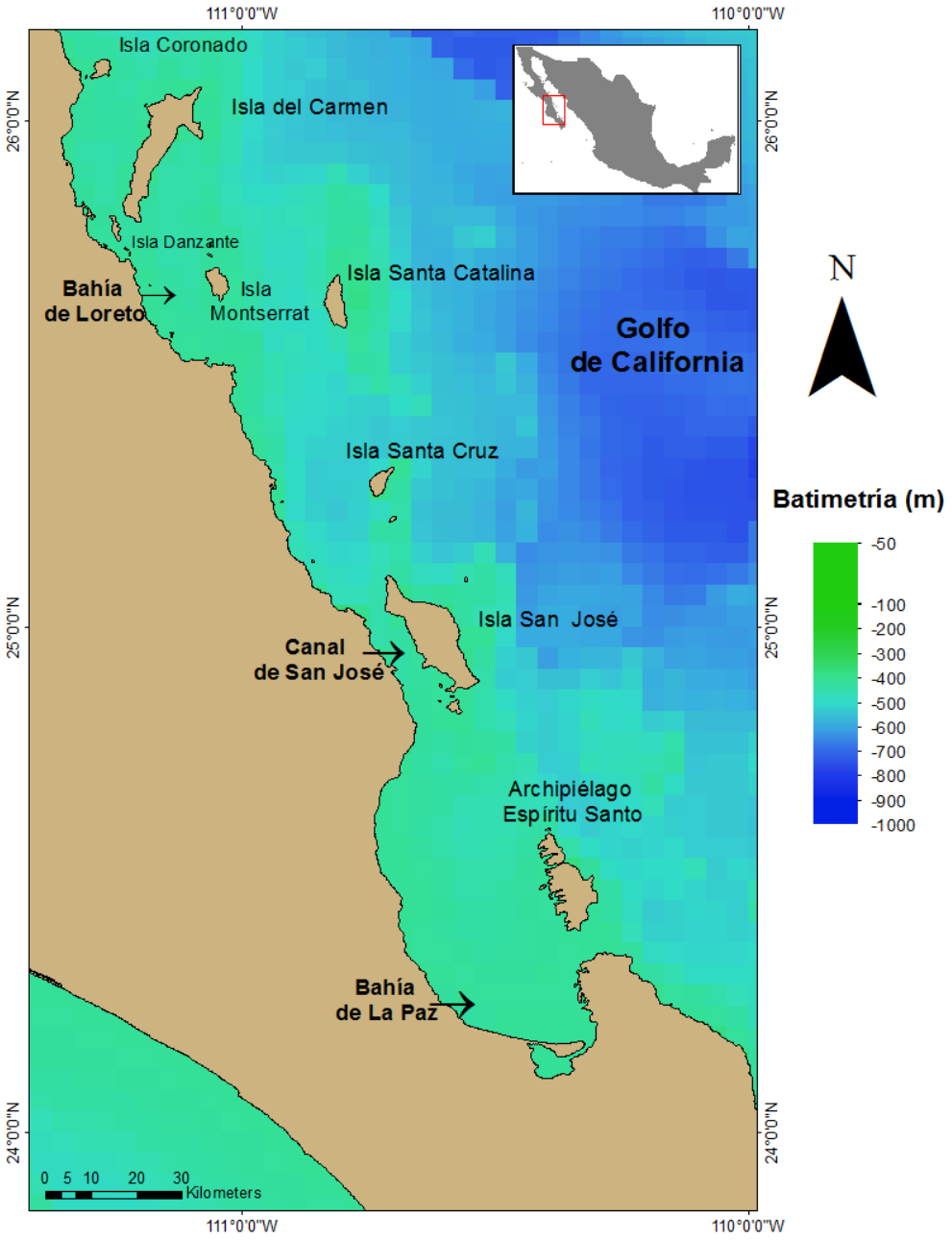


Figura 1. Área de estudio.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

VI.1 Trabajo de Campo

Se realizaron navegaciones durante los meses de enero a mayo entre los años 2008 al 2015, con duración aproximada de nueve días cada, en una embarcación mediana con capacidad para ocho investigadores y una tripulación de tres personas. De manera similar, se realizaron navegaciones abarcando la Bahía de La Paz en embarcaciones menores de 7.2 m de eslora, tipo panga con motor fuera de borda (65-75 Hp).

Las navegaciones fueron de manera pseudo-aleatoria y paralela a la costa con el fin de abarcar la mayor parte del área de estudio y maximizar las observaciones de cetáceos, con una velocidad media de 11 km/h y en condiciones del mar no mayores a Beaufort tres. Para llevar a cabo los avistamientos se realizó la búsqueda directa y con ayuda de binoculares 10 x 50 mm.

Durante las salidas asistieron cuatro investigadores, cada uno con una actividad asignada para facilitar el trabajo. Se tuvieron tres puestos de observación fijos (uno al frente y dos a cada lado de la embarcación) para tener la mayor cobertura posible, más un anotador. Se asignaron turnos de una hora de duración máxima, los cuales se rotaron sistemáticamente. Para cada navegación se llevó un registro del recorrido en la bitácora general de navegaciones, tomando cada 10 min datos como la hora y posición geográfica (con un GPS), y las condiciones del ambiente (temperatura superficial del agua, dirección del viento, nubosidad, visibilidad, Beaufort, altura de las olas, etc.).

Al observar un cetáceo (avistamiento), se registró en una bitácora de avistamiento con los mismos datos que la bitácora general de navegaciones, agregando el nombre de la especie, el número de avistamiento a lo largo del día (empezando la numeración cada día), datos relativos al ambiente, tamaño del grupo, comportamiento del grupo que incluye: tránsito, alimentación (comportamiento-defecación), reproducción (comportamiento o presencia de crías), asociaciones (intra e inter específicas) y descanso, así como cualquier observación importante durante el avistamiento (posibles presas, etc.).

VI.2 Trabajo de escritorio

VI.2.1 Datos ambientales

Para la caracterización ambiental se utilizaron imágenes satelitales diarias de nivel L-2 con una escala espacial de 1 km2 de resolución, para la clorofila-a (Clo) y el carbón orgánico particulado (COP) (Figura 2). Las imágenes de la Clo y COP se obtuvieron a partir del sensor remoto MODIS AQUA montado en satélite y suministradas por el laboratorio de propulsión a chorro (JPL, por sus siglas en inglés) de la NASA, en formato NetCDF (Network Common Data Format) través de la página de internet http://oceancolor.gsfc.nasa.gov.

Los datos de TSM fueron tomados del GHRSST (The Group for High Resolution Sea Surface Temperature, https://www.ghrsst.org), estos datos pertenecen a los productos de nivel L-4, de alta resolución espacial, sin cobertura nubosa y producidos por el JPL (Valle 2016). Los datos de profundidad se descargaron de la base de datos de alta resolución espacial de 30 s/arc (~1 km2) del programa GEBCO (http://www.gebco.net) (Figura 3).

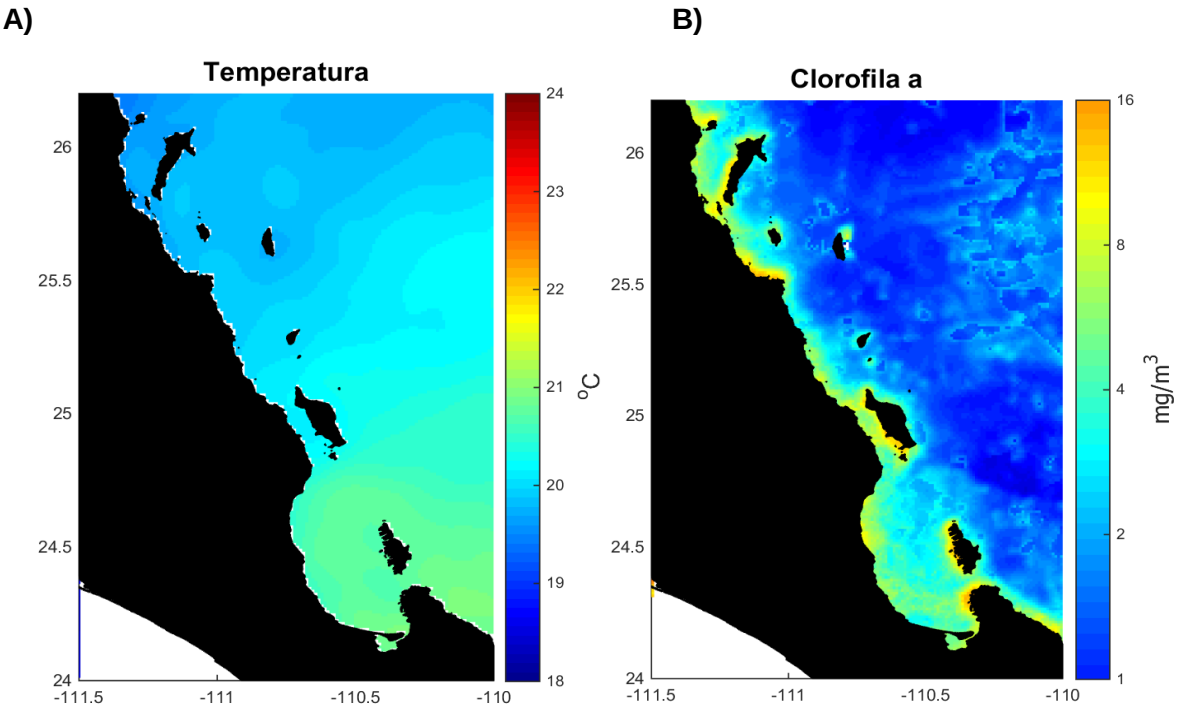


Figura 2. Datos de TSM (A) y Clo (B) ejemplificando las características del área de estudio.

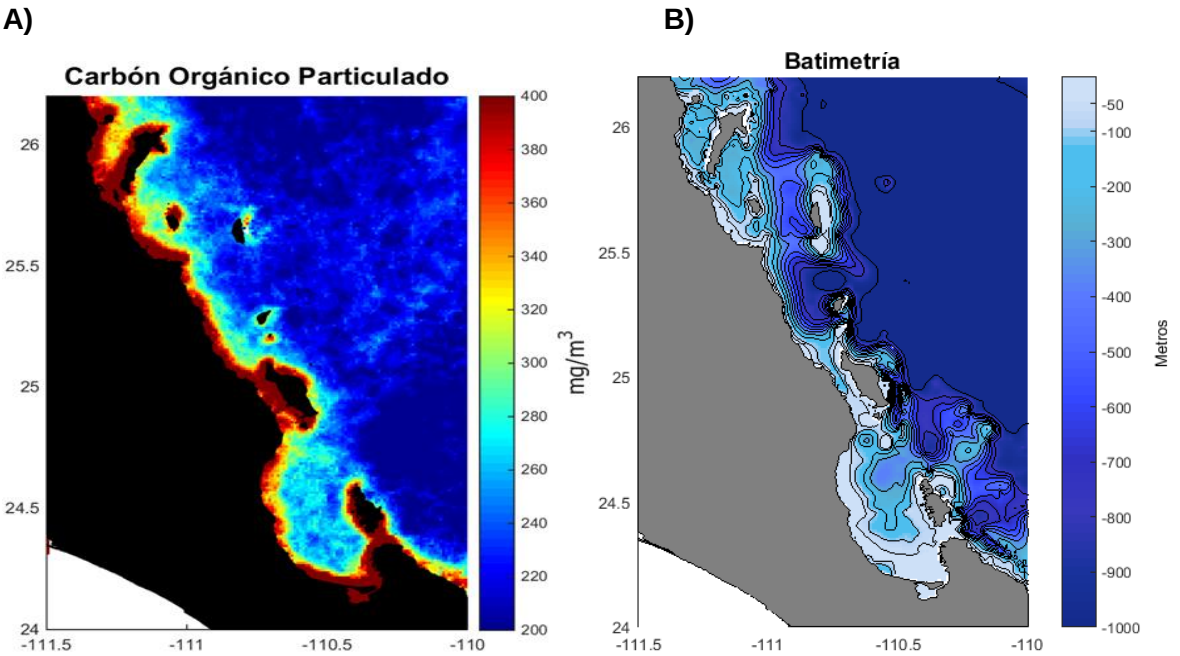


Figura 3. Datos de Carbón Orgánico Particulado (A) y batimetría (B) ejemplificando el área de estudio.

Se crearon rutinas con el programa MatLab para que las imágenes fueran procesadas y delimitadas al área de estudio. A los datos de Clo y COP se les realizó un proceso de orto-rectificación con el fin de eliminar las distorsiones geométricas y de escala en la imagen producidas por el mismo sensor, variaciones topográficas y la curvatura de la superficie de la tierra. De esta forma se crea una proyección geográfica (pasando a un mismo plano cartesiano "x" y "y") que hace posible que los pixeles dentro de las imágenes coincidan y sean comparables entre sí. Posteriormente, de cada una de las variables ambientales por cuadrante y año, se obtuvieron valores de los promedios, mínimos, máximos y gradientes (el valor máximo menos el valor mínimo).

VI.2.2. Análisis espacial

El área de estudio se dividió en una rejilla de 101 estratos de 85 km2 (5.6 x 15 km) (Figura 4), para determinar el tamaño adecuado se elaboraron rutinas en Matlab tomando en cuenta los 30° de inclinación de la península en la horizontal, así como el porcentaje de rejillas con organismos, es decir, se consideró adecuado el tamaño cuando al menos el 50% de las rejillas contenían avistamientos de organismos.

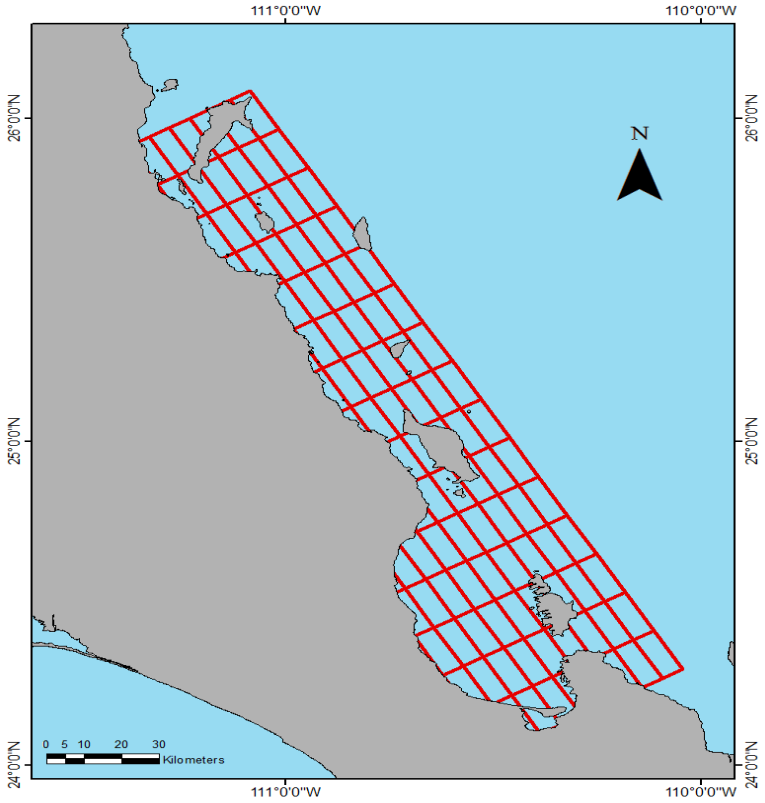


Figura 4. Estratos en los que se dividió el área de estudio.

Se realizaron rutinas en Matlab para medir el esfuerzo realizado (distancia navegada en km) para cada rejilla y año, siguiendo el criterio de Salvadeo (2008). Este esfuerzo fue estandarizado ya que provenía de diferentes tipos de embarcaciones (panga y barco), las cuales poseen distinto éxito de avistamiento debido a la altura en la que se encontraban los observadores. A partir de esto, se determinó que cada hora recorrida en barco equivale a dos horas en panga, por lo que los kilómetros recorridos en panga fueron multiplicados por 0.5 (Figura 5).

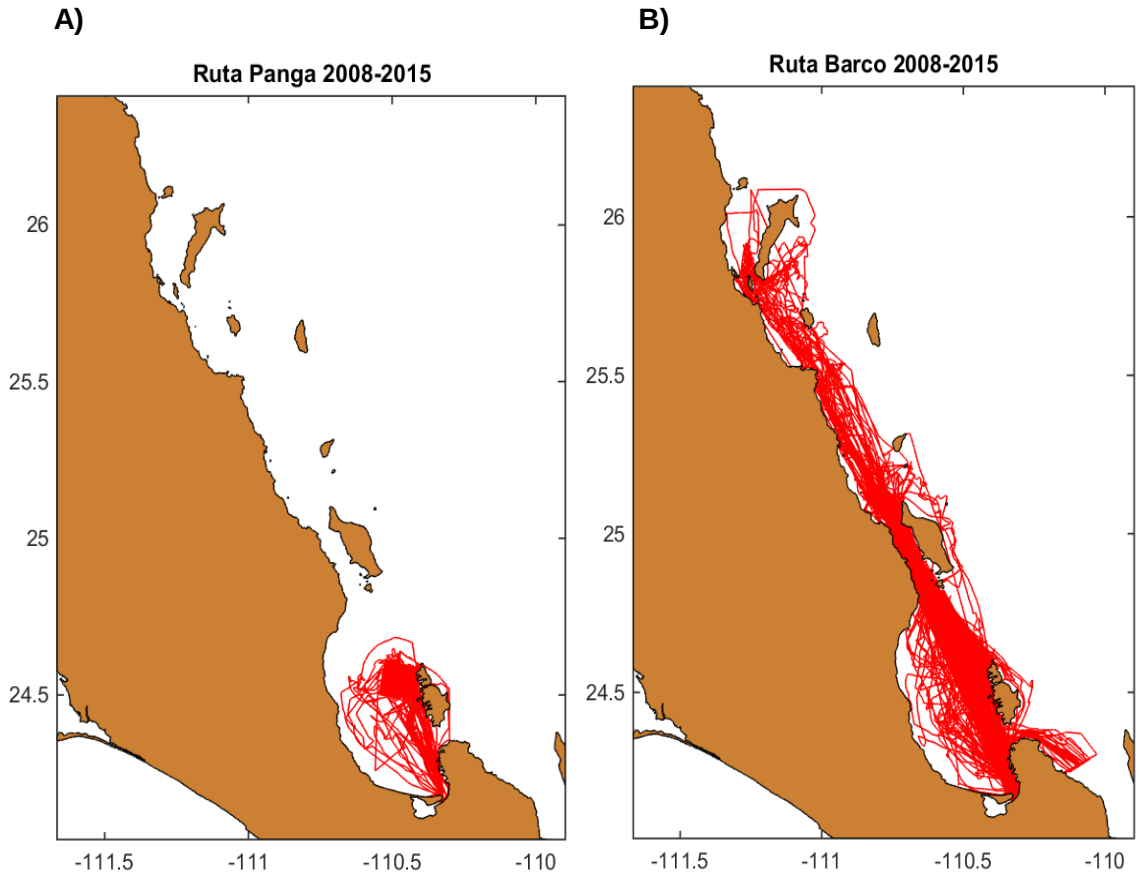


Figura 5. Esfuerzo realizado en (A) panga y (B) barco durante el periodo de estudio.

Con el fin de conocer la abundancia entre las especies, es decir, cuántos organismos por especie hubo en la zona de estudio, se estimó la abundancia relativa espacial por año y por cuadrante, a partir de la siguiente fórmula:

$$IAR = (Nspi) / Esf\ (km)$$

Dónde:

IAR: índice de abundancia relativa.

Nspi = Número de organismos de la especie i por esfuerzo multiplicado por 100

Esf = Esfuerzo realizado en km de navegación recorridos.

VI.2.3 Análisis estadísticos

Se analizaron los valores de abundancia obtenidos para determinar si existían diferencias significativas de la abundancia relativa en general de las ballenas entre años y de cada especie de misticeto entre años. Para ambos casos se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, la cual fue aceptada ($p<0.05$), por lo que se elaboró un ANOVA de una vía y la prueba a posteriori Tukey para determinar los grupos homogéneos. Cabe mencionar que debido a que la ballena Minke sólo tuvo un avistamiento no fue incluida en los análisis. Para buscar diferencias estadísticas en las variables ambientales entre los años, se llevaron a cabo los mismos análisis.

Para determinar si existieron diferencias significativas de cada uno de los parámetros ambientales entre años, se realizaron las mismas pruebas estadísticas ya que se trataban de datos normales en todos los casos.

VI.2.4 Modelado de uso del hábitat mediante la Máxima Entropía.

Para la elaboración de los modelos de uso de hábitat se utilizó el software Maxent 3.3.3k (http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/), el cual es un algoritmo determinístico que predice la distribución de las especies utilizando datos únicamente de presencia con una estimación de los de ausencia (pseudoausencia).

El objetivo de Maxent es estimar la probabilidad de la distribución de la especie de interés de acuerdo a la idoneidad del medio ambiente para la especie como una función de las variables ambientales. Está basado en el principio de máxima entropía (cercana a la uniforme), esto significa que en la estimación de una distribución de probabilidad desconocida, la solución menos sesgada es aquella que maximiza su entropía, sujeto a la asociación entre las localidades de presencia y las variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006). De esta manera, un píxel con condiciones ambientales similares a las aportadas en las ocurrencias utilizadas para el modelo será asignado como un valor de probabilidad alto; por el contrario, un píxel con condiciones diferentes le será asignado un valor bajo de probabilidad.

Con este análisis se pretende caracterizar los patrones de uso del hábitat de los misticetos en el área de estudio a partir de las variables ambientales mencionadas, para

lo cual las localidades de ocurrencia de cada comportamiento de cada especie sirven como los puntos de muestreo, la región geográfica de interés es el espacio en que se define esta distribución y las características son las variables ambientales (Phillips *et al.*, 2004).

Construcción del modelo

Previamente a la generación de los modelos de uso de hábitat, las capas ambientales fueron transformadas a formato ráster en el sistema de información geográfica (SIG por sus siglas y de ahora en adelante) ArcMap 10.3 para posteriormente ser integradas al Maxent. Usando la misma herramienta de SIG se realizaron dos análisis con la extensión SDM ToolBox:

a) Densidad de Kernel Gaussiana para las localidades de muestreo ("kernel density of sampling localities"): el objetivo de este análisis es reducir el posible sesgo de muestreo, ya que Maxent requiere de datos de ocurrencia provenientes de muestreos no sesgados. En este análisis se incorporaron especies objetivo ("target group") que pueden ser observadas o recolectadas con las mismas técnicas de muestreo que las especies focales de interés, dicha información indica qué áreas y por lo tanto qué ambientes han sido muestreados más a fondo. Este método genera una cuadrícula de esfuerzo que le da mayor peso a los datos de presencia con un menor número de vecinos en el paisaje geográfico. Para esto la herramienta crea una densidad de Kernel Gaussiana de las localidades muestreadas, donde los valores de sesgo de salida de 1 reflejan ningún sesgo en el muestreo, mientras que los valores más altos suponen un mayor sesgo de muestreo. (Anderson 2012; Brown 2014). El archivo generado a partir de este análisis fue posteriormente incorporado a la modelación del Maxent, con el cual el algoritmo tomó en cuenta el esfuerzo realizado durante los muestreos.

b) Se efectuó un Jackknife espacial, como una prueba de rendimiento predictivo durante la calibración y validación, así como para la selección del parámetro a utilizar para cada especie y su respectivo modelo, esto con el fin de retar aún más la probabilidad de predicción del algoritmo y determinar el rendimiento del modelo (Peterson *et al.*, 2011). De acuerdo a Brown (2014), el análisis de Jackknife divide el área de estudio en 3 a 5 regiones (tres para este caso: A, B, C). Los modelos son calibrados con k-1 grupos espaciales y validados con los grupos retenidos. Por ejemplo, si K=3, los modelos serán ejecutados con los siguientes tres subgrupos:

- El modelo es calibrado con las localidades y los puntos de background (datos de fondo) de la región AB y luego validado con los puntos de la región C.

- El modelo es calibrado con las localidades y los puntos de background (datos de fondo) de la región AC y luego validado con los puntos de la región B.

- El modelo es calibrado con las localidades y los puntos de background (datos de fondo) de la región BC y luego validado con los puntos de la región A.

Los resultados obtenidos del Jackknife se introdujeron al Maxent. Cada subconjunto (por ejemplo AB-C), se probó con cada uno de los parámetros: linear y cuadrático, bisagra ("hinge"), y todos, consiguiendo así nueve predicciones en total por especie. Para la toma de decisión de qué parámetro utilizar para los modelos finales, se tomó en cuenta el promedio más alto obtenido de los valores del área bajo la curva (Area Under the Curve, AUC de ahora en adelante), que se genera mediante la técnica ROC (Receiver Operating Characteristic, ROC de ahora en adelante) y el promedio más bajo de la tasa de omisión de prueba (Test Omission Rate, TOR de ahora en adelante) (Tabla I). La curva ROC se obtiene graficando la sensibilidad o verdaderos positivos (ausencia de error de omisión) que es la medida de la capacidad del modelo para predecir la ocurrencia de las especies, contra la especificidad o verdaderos negativos (ausencia de error de comisión), la capacidad del modelo para predecir la ausencia de las especies, es decir, el AUC indica la capacidad de predicción del modelo (Phillips *et al.*, 2006; Peterson *et al*., 2011). En cuanto a la TOR, se refiere a los datos de prueba clasificados equivocadamente como falso negativo, es decir, catalogar una presencia como ausencia[1]. Cabe mencionar que en caso de que los valores más altos de AUC y bajos de TOR no coincidieran, en el SIG se llevaron a cabo los mapas binarios (0 ausencia, 1 presencia) obtenidos de los resultados de dichos modelos y, de acuerdo al conocimiento biológico de la especie, se tomó la decisión de qué parámetro se ajustaba más a la distribución conocida (Figura 6) (Merow *et al*., 2013).

[1] http://nicho.conabio.gob.mx/home/proposito-y-guia-del-usua

Tabla I. Ejemplo de los valores obtenidos de AUC y TOR usando los parámetros linear y cuadrático, Hinge y todos durante la calibración y validación para el modelo del rorcual tropical.

	Área Bajo la Curva *Tasa de Omisión de Prueba*		
Subconjunto	**Linear-Cuadrático**	**Hinge**	**Todos**
AB-C	0.673	0.574	0.579
	0.571	*0.714*	*1*
AC-B	0.615	0.459	0.587
	0.636	*1*	*1*
BC-A	0.566	0.332	0.670
	1	*1*	*1*
Promedio AUC	**0.618**	**0.455**	**0.612**
TOR	***0.736***	***0.905***	***1***

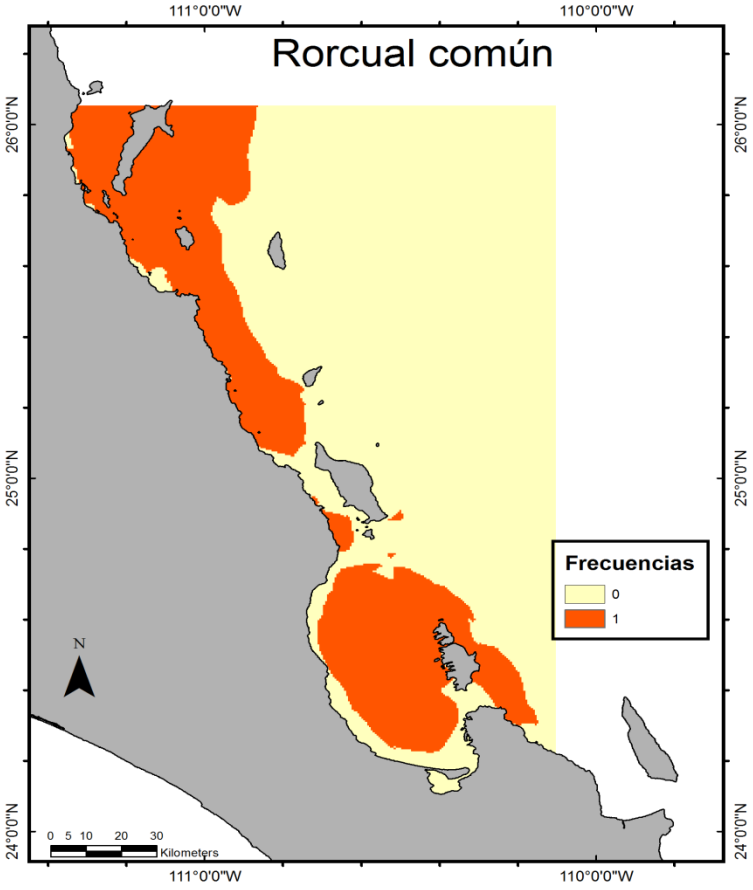


Figura 6. Mapa binario que ejemplifica el caso del rorcual común.

Para la generación de los modelos de uso de hábitat, se corrió el algoritmo utilizando los datos de los usos (comportamientos) identificados (como presencia) para cada especie y las capas de las variables ambientales. Como ya se mencionó, los parámetros especificados para cada especie fueron establecidos durante el proceso de calibración y validación (Tabla II).Cabe mencionar que tanto el uso para la ballena de Minke como para la ballena de Sei no fueron modelados ya que sólo contaban con uno y tres ocurrencias respectivamente.

Tabla II. Muestra el parámetro seleccionado para la elaboración del modelo final de uso de hábitat para cada especie.

Especie	Parámetro
Rorcual común	Todos
Rorcual tropical	Linear y cuadrático
Ballena azul	Bisagra
Ballena jorobada	Bisagra
Ballena gris	Linear

Generalmente Maxent divide los datos en dos conjuntos, uno para la generación del modelo y otro para su validación. Sin embargo, con pocos datos de ocurrencia este procedimiento no es aplicable ya que se pierde información importante dentro de los datos que se establecen como de validación (Pearson *et al.*, 2007). Para solucionar esto, se aplicó la técnica de réplica de bootstrap con 5 corridas (réplicas) y 2000 iteraciones. De esta manera se realizan particiones aleatorias de los datos en cada replicación y cada modelo se valida por un porcentaje definido por el usuario (25% en este caso). En el bootstraing el muestreo es con reemplazo, lo que significa que los registros de presencia se pueden utilizar más de una vez en el conjunto de datos de validación para cada réplica (Yáñez-Arenas *et al.*, 2012). Cabe mencionar que el número de corridas se estableció así ya que los modelos tuvieron mayor capacidad de predicción en comparación a una sola réplica.

Debido a que las bases de datos fueron depuradas con sumo cuidado, la regla de umbral de corte que se aplicó fue la de “mínimum training presence”. Se crearon las curvas de respuesta y la prueba de Jackknife del Maxent para medir y graficar la importancia de contribución de cada una de las variables a los modelos.

Con los resultados obtenidos, se evaluaron las predicciones obtenidas del Maxent tomando en cuenta el AUC de la curva ROC, ya explicados anteriormente (Figura 7). Un modelo con un excelente poder predictivo tiene un valor de AUC superior a 0.9, un buen modelo tiene un AUC de 0.9 a 0.7 y uno con valores por debajo de 0.7 se considera como un desempeño pobre (Peterson *et al.*, 2011).

Para medir y graficar la importancia de contribución de las variables a los modelos se realizó la prueba de Jackknife por medio del AUC y se crearon las curvas de respuesta de las variables. El formato de salida de los modelos fue el logístico, el cual asigna a cada píxel un valor de probabilidad de ocurrencia de la especie (en este caso de uso) que va de uno a cero, asignando cero a los píxeles donde las condiciones no son favorables para la presencia de la especie y uno a los que poseen las mejores condiciones de idoneidad (Phillips y Dudík 2008). Finalmente, con la información generada se realizaron los mapas de probabilidad de ocurrencia de cada uno de los usos y especies en el ArcMap 10.3 para facilitar su interpretación.

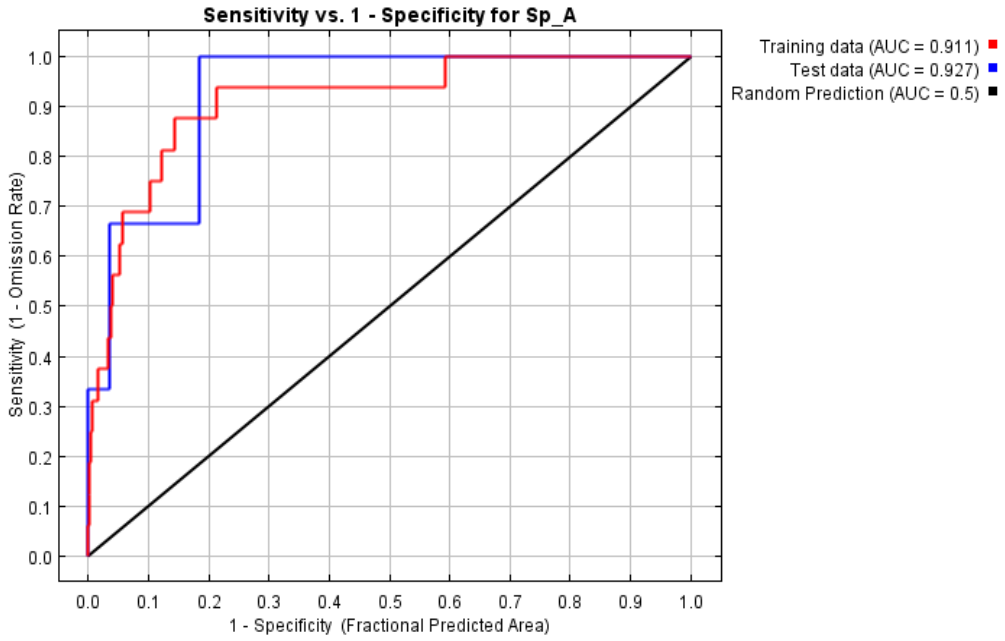


Figura 7. Curva ROC y valores de AUC para los puntos de entrenamiento y prueba del rorcual común. La línea roja representa el ajuste del modelo a los puntos de entrenamiento, la línea azul representa el ajuste del modelo a los puntos de prueba y la línea negra corresponde a un modelo aleatorio.

VII. RESULTADOS

VII.1 Datos ambientales

El promedio de la TSM para todo el periodo de estudio fue de 21.48°C, la prueba a posteriori arrojó diferencias significativas entre los años (F7; 800; p=0.00), siendo 2011 y 2012 iguales así como 2014 y 2015. La temperatura más alta fue durante 2014 con 22.54°C, mientras que 2008 fue el año más frío con 20.28°C (Figura 8).

La Clo presentó un promedio para todo el periodo de estudio de 3.35mg/m3, observándose diferencias significativas entre los años de estudio (F7; 800; p=0.00), de acuerdo a la prueba de Tukey los años 2011 y 2012 los más productivos con 4.12 y 4.15mg/m3 respectivamente, y diferentes a 2010, 2014 y 2015. Estos últimos tres años mencionados fueron iguales entre sí, siendo el 2010 el de menor concentración con 2.21mg/m3 (Figura 9).

El COP tuvo un promedio para todo el periodo de 316.23mg/m3 y con base en la prueba a posteriori se obtuvieron diferencias significativas entre los años (F7, 800; p=0.00), el 2013 fue el año con la mayor concentración de 369.98 mg/m3 y similar al 2011 y 2012. Por otro lado, 2014 y 2015 fueron iguales y los de menor concentración con 268.65 y 280.40mg/m3 respectivamente junto con 2010 (Figura 10).

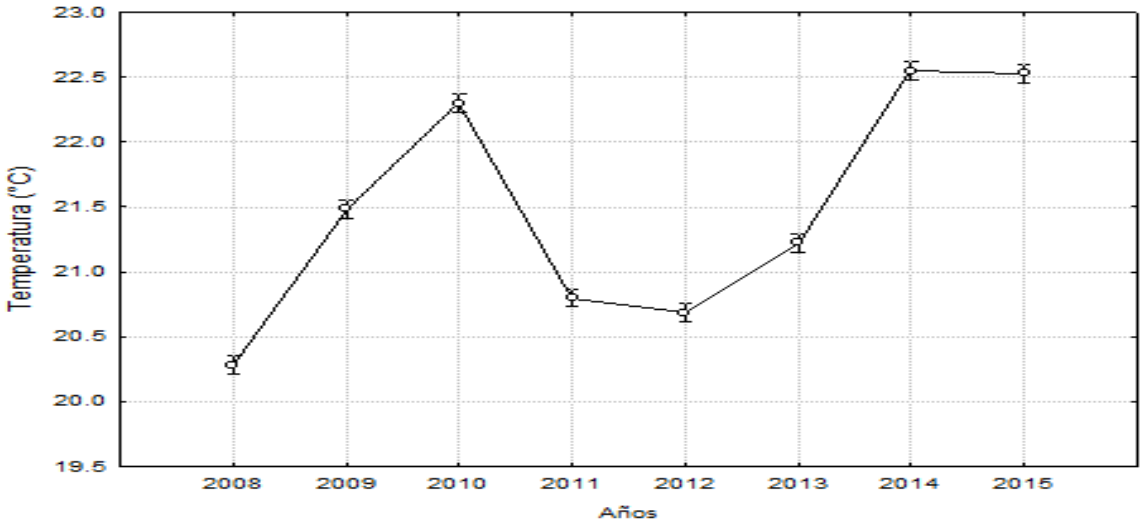


Figura 8. Variación de TSM durante los años del periodo de estudio.

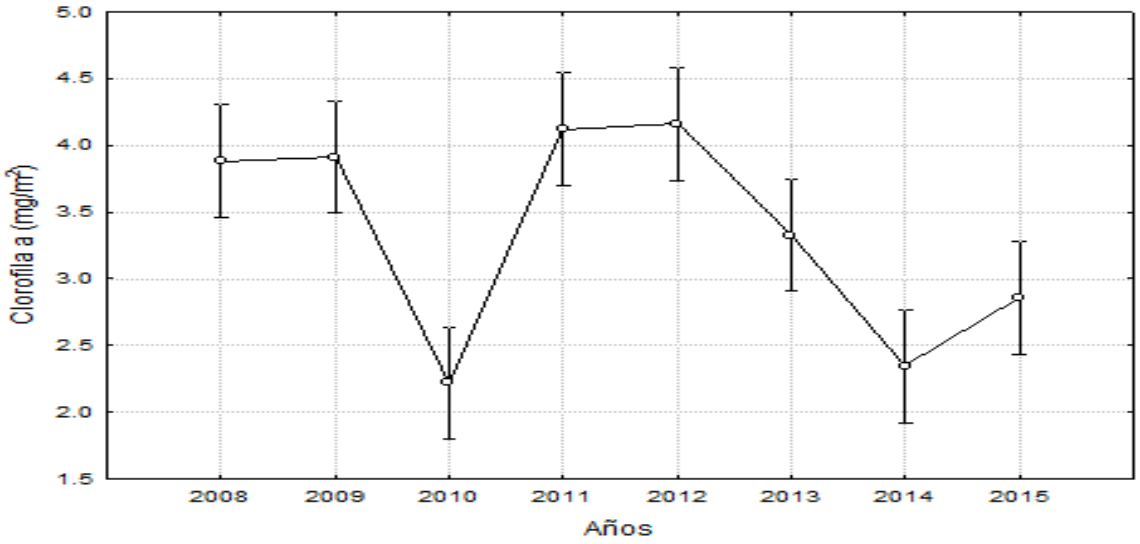


Figura 9. Variación de Clo durante los años del periodo de estudio.

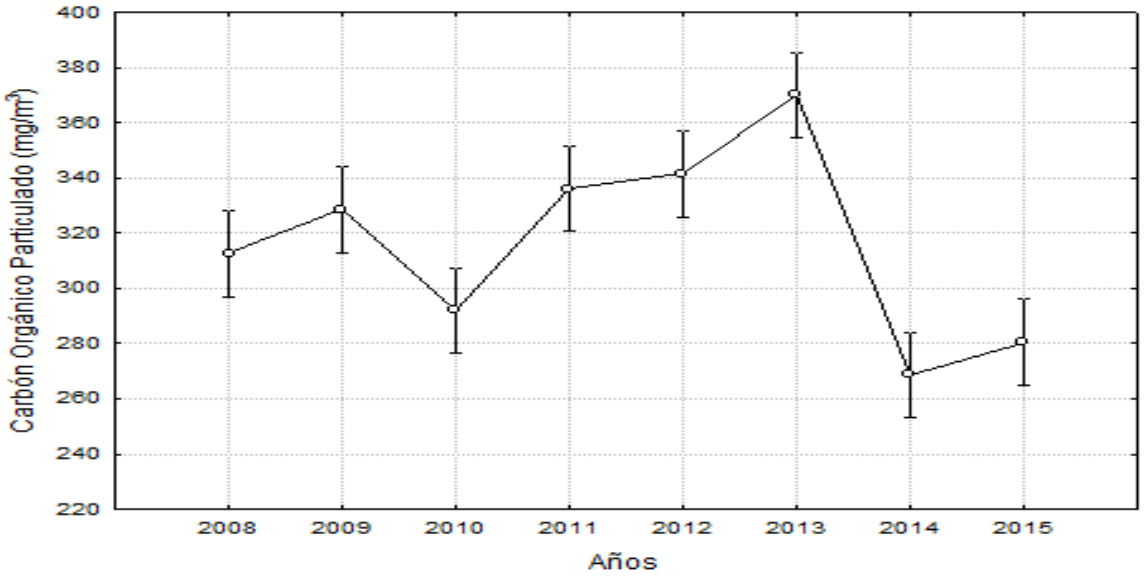


Figura 10. Variación de COP durante los años del periodo de estudio.

VII.2 Análisis espacial

Durante los ocho años de estudio, se recorrieron un total de 21,120.78 km, de los cuales 11,883.01 km corresponden a embarcaciones de medio calado (barco en adelante) y 9,237.5 km a embarcaciones menores (panga en adelante) (Tabla III).

Tabla III. Esfuerzo realizado (km) por año y para cada embarcación

Años	Barco	Panga
2008	1330.60	-
2009	1232.12	-
2010	1282.03	260.16
2011	1652.16	755.35
2012	1603.3	596.46
2013	2133.11	7.80
2014	1484.14	203.97
2015	1165.82	7413.76
Total	**11,883.01**	**9237.5**

.

Entre enero y mayo de 2008 al 2015 se observaron un total de 1,014 misticetos en 720 avistamientos, identificándose siete especies que pertenecen a las familias Balaenopteridae y Eschrichtidae (Tabla IV).

Tabla IV. Listado taxonómico de las especies de misticetos observados en el presente estudio.

Familia	Especie	Nombre común
Balaenopteridae	*Balaenoptera physalus*	Rorcual común
	Balaenoptera edeni	Rorcual tropical
	Balaenoptera musculus	Ballena azul
	Balaenoptera acutorostrata	Ballena Minke
	Balaenoptera borealis	Ballena de Sei
	Megaptera novaeangliae	Ballena jorobada
Eschrichtidae	*Eschrichtius robustus*	Ballena gris

El mayor número de organismos avistados para todo el estudio, con 306, lo presentó la ballena jorobada y el menor fue para la ballena Minke con un individuo observado en el año 2012 (Figura 11), esta especie no fue tomada en cuenta para los análisis estadísticos.

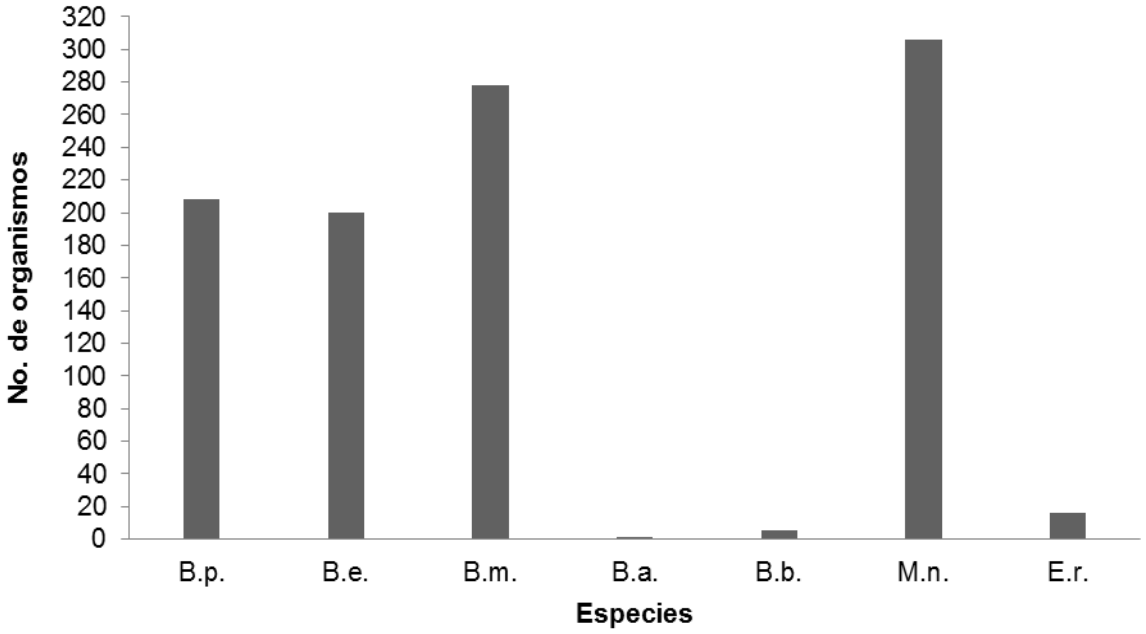


Figura 11. Número de organismos de misticetos observados durante el periodo de estudio. B.p.: *Balaenoptera physalus*; B.e.: *Balaenoptera edeni*; B.m.: *Balaenoptera musculus*; B.a.: *Balaenoptera acutorostrata*; B.b.: *Balaenoptera borealis*; M.n.: *Megaptera novaeangliae*; E.r.: *Eschrichtius robustus*.

En cuanto a la abundancia relativa, los análisis estadísticos mostraron que sí hubo diferencias significativas en las abundancias relativas de todas las especies entre años (F=7; 3766; p=0.01). El año que en promedio tuvo mayor abundancia relativa fue 2008, siendo similar a este el resto de los años excepto 2014 y 2015 con las menores abundancias de ballenas durante el periodo de estudio (Figura 12).

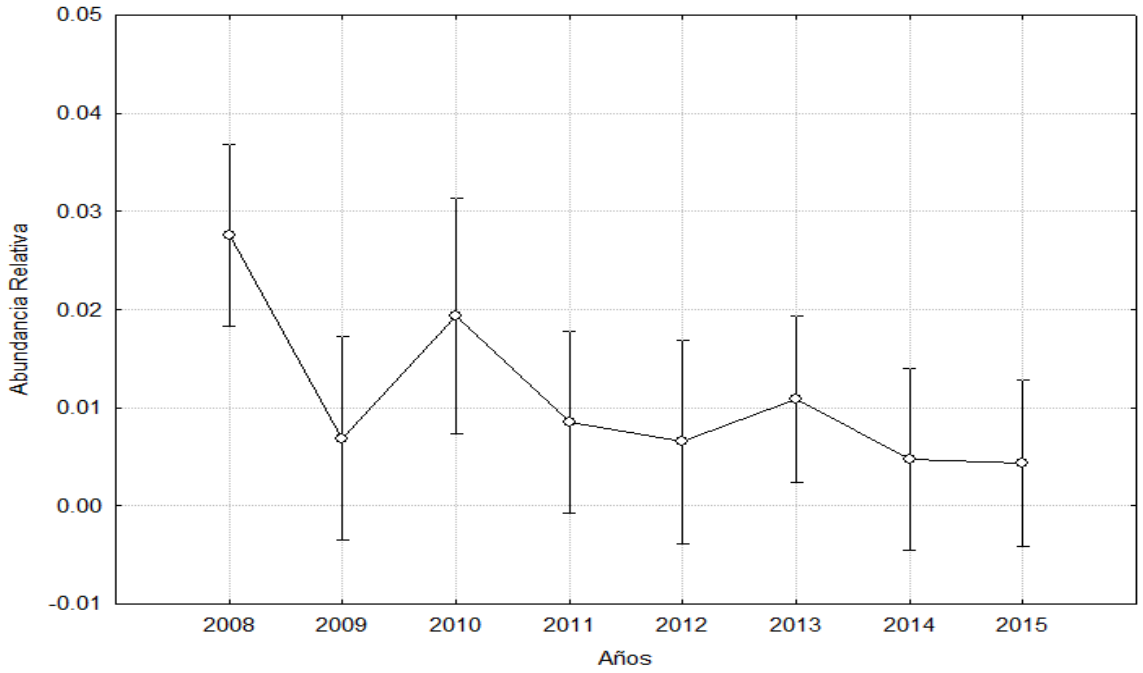


Figura 12. Comparación de la abundancia relativa de los misticetos entre los años de estudio.

El rorcual común presentó diferencias significativas en su abundancia relativa entre años (F 6, 707; p=0.02). Como se puede observar en la (Figura 13), de acuerdo con la prueba de Tukey 2008 fue el año con la mayor abundancia relativa en promedio de ballenas de esta especie, lo que lo hizo similar al 2011 y 2013, mientras que el resto de los años son parecidos entre sí con promedios de abundancias más bajos.

De acuerdo con la prueba a posteriori, el rorcual tropical mostró diferencias significativas en sus estadísticos (F 7, 809; p=0.03), siendo el año 2010 diferente a 2008, 2009 y 2014, ya que 2010 tuvo la mayor abundancia relativa en promedio. Por otro lado, los demás años presentaron similitudes entre sí respecto a las medias de las abundancias (Figura 13).

El estadístico para la ballena azul también mostró diferencias significativas entre los años (F7, 808; p=0.02). De acuerdo a la prueba Tukey, el año 2008 tuvo, en promedio, la mayor abundancia relativa de ballenas, lo que lo hizo diferente a los años 2014 y 2015 ya que tuvieron menores abundancias relativas, más estos últimos, no lo fueron para el resto de los años (Figura 13).

Como se puede apreciar en la Figura 14, la ballena jorobada presentó diferencias significativas (F7, 808; p=0.01). Tomando en cuenta la prueba Tukey, la mayor abundancia relativa promedio fue durante el 2010, lo que lo hace un año diferente a 2008, 2009 y 2011 (menor abundancia en promedio), pero similar al resto de años.

Respecto a la ballena de Sei (Figura 14), la prueba a posteriori Tukey no arrojó diferencias significativas entre los años (F2, 303; p=0.42), no obstante 2014 es el de mayor promedio en abundancia.

Para la ballena gris y con base a la prueba Tukey, no hubieron diferencias significativas entre los años (F3, 404; p=0.58), aunque 2008 es el más elevado en promedio (Figura 14).

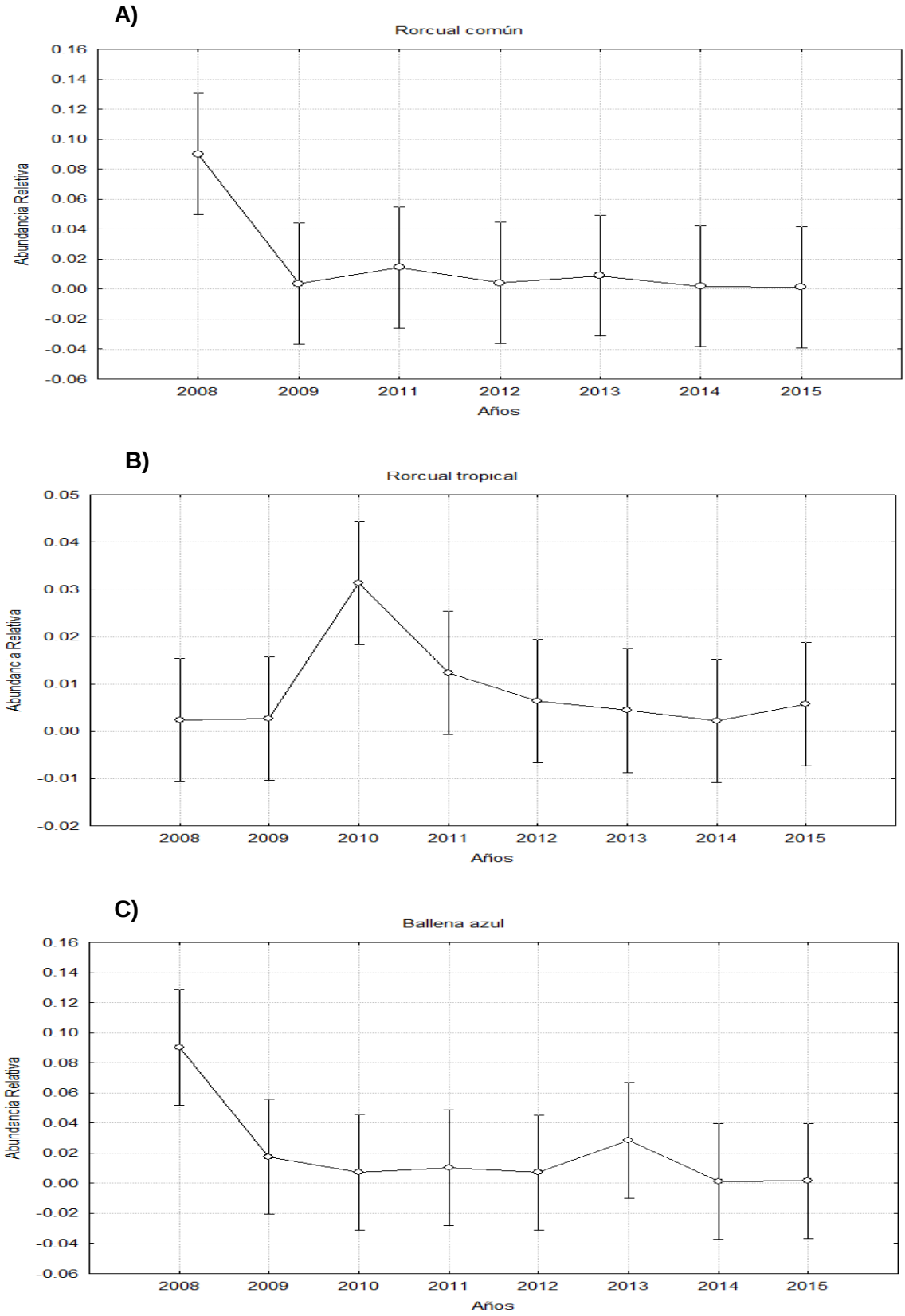


Figura 13. Comparación estadística de las abundancias relativas del (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical y (C) Ballena azul entre los años de estudio.

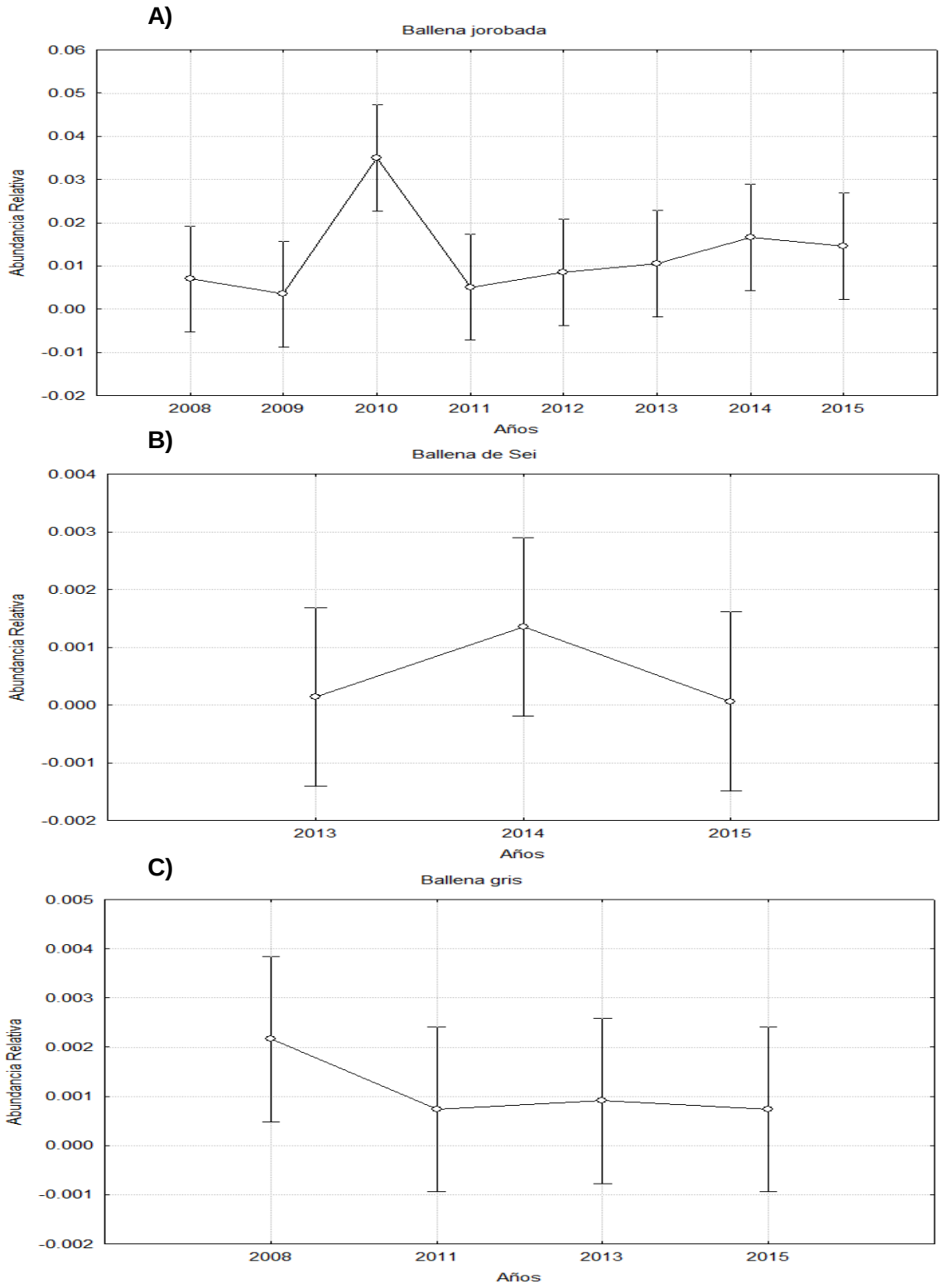


Figura 14. Comparación estadística de las abundancias relativas de la (A) Ballena jorobada, (B) Ballena de Sei y (C) Ballena gris entre los años de estudio.

VII.3 Distribución y modelación de uso de hábitat

Como se puede observar en las Figura 15 y 16, las ballenas se concentraron principalmente al oeste del Archipiélago Espíritu Santo (AES) y desde CSJ hasta la BL.

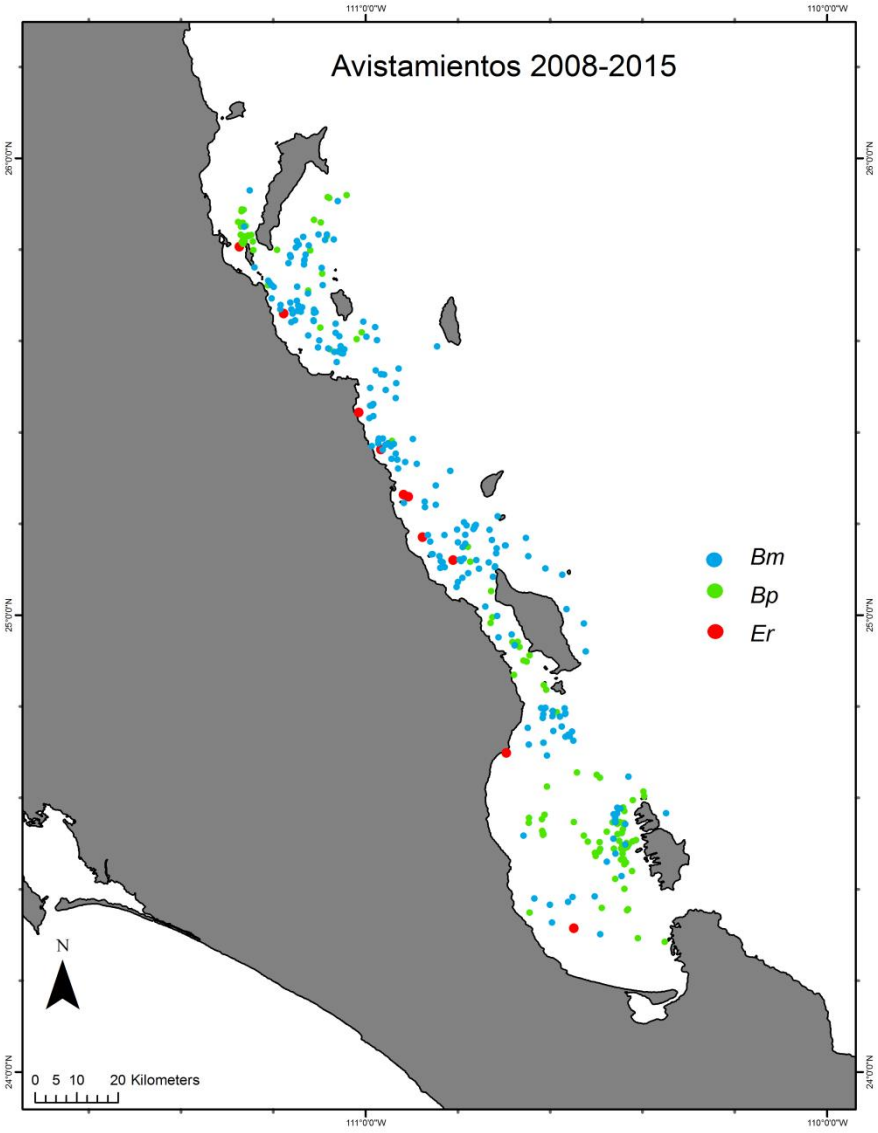


Figura 15. Distribución de tres especies de misticetos encontrados durante el estudio. Bm: *Balaenoptera musculus*; Bp: *Balaenoptera physalus*; Er: *Eschrichtius robustus*.

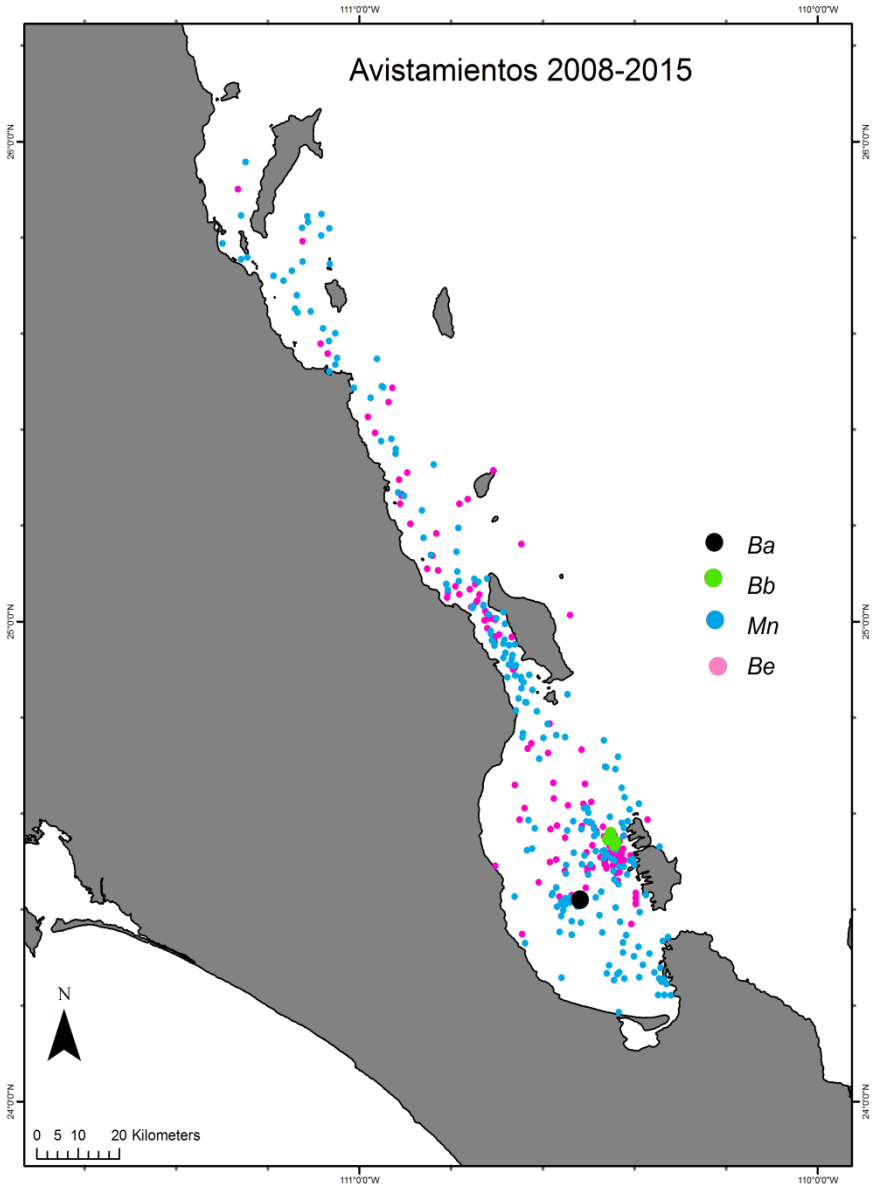


Figura 16. Distribución de tres especies de misticetos encontrados durante el estudio. Ba: *Balaenoptera acutorostrata*; Bb: *Balaenoptera borealis*; Mn: *Megaptera novaeangliae*; Be: *Balaenoptera edeni*.

Los comportamientos presentados por las ballenas se agruparon en cuatro clases (Tabla V), para su clasificación se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Tránsito: se clasificó como tránsito cuando la ballena se encontraba navegando con un rumbo y velocidades fijas y constantes.

Alimentación: se agruparon en esta clasificación aquellos organismos que presentaron comportamiento de defecación, se ubicaran en un comedero2, buceando durante periodos largos, o bien con comportamiento en superficie que indicara alimentación (dando bocanadas e invistiendo).

Crianza: aquí se incluyen las ballenas que presentaron crías.

Descanso: esta clasificación se aplicó a aquellas ballenas que estaban muy tranquilas, sin movimiento aparente en la superficie.

Tabla V. Comportamientos que presentaron los misticetos.

Especie	Tránsito	Alimentación	Crianza	Descanso
Rorcual Común	*	*	*	
Rorcual Tropical	*	*	*	*
Ballena azul	*	*	*	*
Ballena jorobada	*	*	*	*
Ballena gris	*		*	
Ballena de Sei	*			*
Ballena Minke	*			

VII.3.1 Rendimiento de los modelos (AUC)

El rendimiento de todos los modelos se midió mediante el AUC (ANEXO I). Los resultados obtenidos del AUC para los usos de las ballenas estuvieron por encima de 0.9, lo que indicó que, tanto los datos de prueba como de entrenamiento en todos los modelos se ajustaron a un excelente rendimiento y fueron robustos para predecir el uso mejor que un modelo aleatorio. Es importante mencionar que no se modelaron los usos para las ballenas de Sei, Minke, gris en reproducción, ni tampoco del rorcual tropical y ballena jorobada en descanso ya que no se contó con datos suficientes.

[2] Comedero: zonas con alta disponibilidad de alimento y que generalmente presentan relaciones interespecfícas.

VII.3.2 Contribución de las variables y su ganancia al modelo

Se evaluó la importancia de las variables ambientales sobre los modelos arrojada por el análisis estadístico de Jackknife del Maxent y se tomaron en cuenta las variables con mayor aportación (ANEXO II). Se consideró tanto la contribución por sí misma de cada una de las variables así como cuando esta variable era omitida, reafirmando su importancia en la construcción de los modelos.

Tránsito: para el uso de tránsito y de acuerdo al Jackknife, la variable que aportó más información al modelo por sí misma fue el gradiente de la TSM (asciideltsm) para el rorcual común y la ballena jorobada. Para el rorcual tropical fue la Clo mínima (asciiminclo) y para la ballena azul la TSM min (asciimintsm). Para el caso de la ballena gris la variable con mayor contribución fue el promedio del COP (asciiprompoc).

Alimentación: el uso de alimentación en el rorcual común y la ballena jorobada está determinado por los valores máximos de TSM (asciimaxtsm). En el caso del rorcual tropical la variable con mayor contribución fue el gradiente de TSM, para la ballena azul la mayor aportación al modelo fue por parte de la batimetría máxima (asciimaxbat).

Crianza: tanto para el rorcual común como para el tropical, el uso de crianza está determinado por la Clo, valores máximos (asciimaxclo) y valores promedios (asciipromclo) respectivamente. Para el caso de la crianza en ballena azul la variable con mayor aportación fue el promedio del COP. Finalmente, para la ballena jorobada la variable con más contribución fue la TSM mínima.

Descanso: este uso sólo fue identificado para la ballena azul y estuvo influenciado por los valores de promedio de la batimetría (asciiprombat).

VIII.3.3 Mapas de uso de hábitat

Tránsito: los modelos establecieron como condiciones apropiadas el oeste del AES para los rorcuales común y tropical, así como la ballena jorobada. Sin embargo, para la primera especie también existe una alta probabilidad para tránsito entre Isla del Carmen e Isla Danzante. El rorcual tropical y la ballena jorobada presentan alta posibilidad de tránsito en el CSJ, aunque para la segunda también lo sería la Ensenada de La Paz. Por otro lado, los valores altos de predicción en tránsito para la ballena azul son entre BL y al norte de la Isla San José. Las condiciones idóneas para la ballena gris en tránsito fueron muy pegadas a la costa al sur de Punta La Ballena y al norte de la Isla del Carmen (Figura 17 y 18).

Alimentación: los valores altos de predicción en uso de alimentación para el rorcual común se presentaron al oeste de Los Islotes del AES, similar a esto, las condiciones adecuadas para el rorcual tropical son al oeste de todo AES. Para el caso de la ballena azul, las probables zonas adecuadas que permiten que se alimente son en Punta Coyote, alrededor de Isla Monserrat y sur Isla Monserrat Finalmente, los altos valores de predicción en la Cuenca Alfonso corresponden a la ballena jorobada (Figura 19).

Crianza: de acuerdo al algoritmo, las condiciones idóneas para encontrar madres con cría de rorcual común son en el CSJ. El rorcual tropical y ballena jorobada presentan alta probabilidad de uso al oeste del AES, diferenciándose en que la primera especie también tiene posibilidades de utilizar el norte de la Isla San José como zona de crianza. Finalmente, las zonas más óptimas y con mayor posibilidad de observar madres con crías de ballena azul son al noreste y norte de la Isla San José hasta el este de la Isla Monserrat (Figura 20).

Descanso: este uso sólo fue identificado para la ballena azul y de acuerdo a la predicción del modelo, señala entre BL en general, así como al norte y noreste de la Isla San José como las zonas más adecuadas para descansar por la especie mencionada (Figura 21).

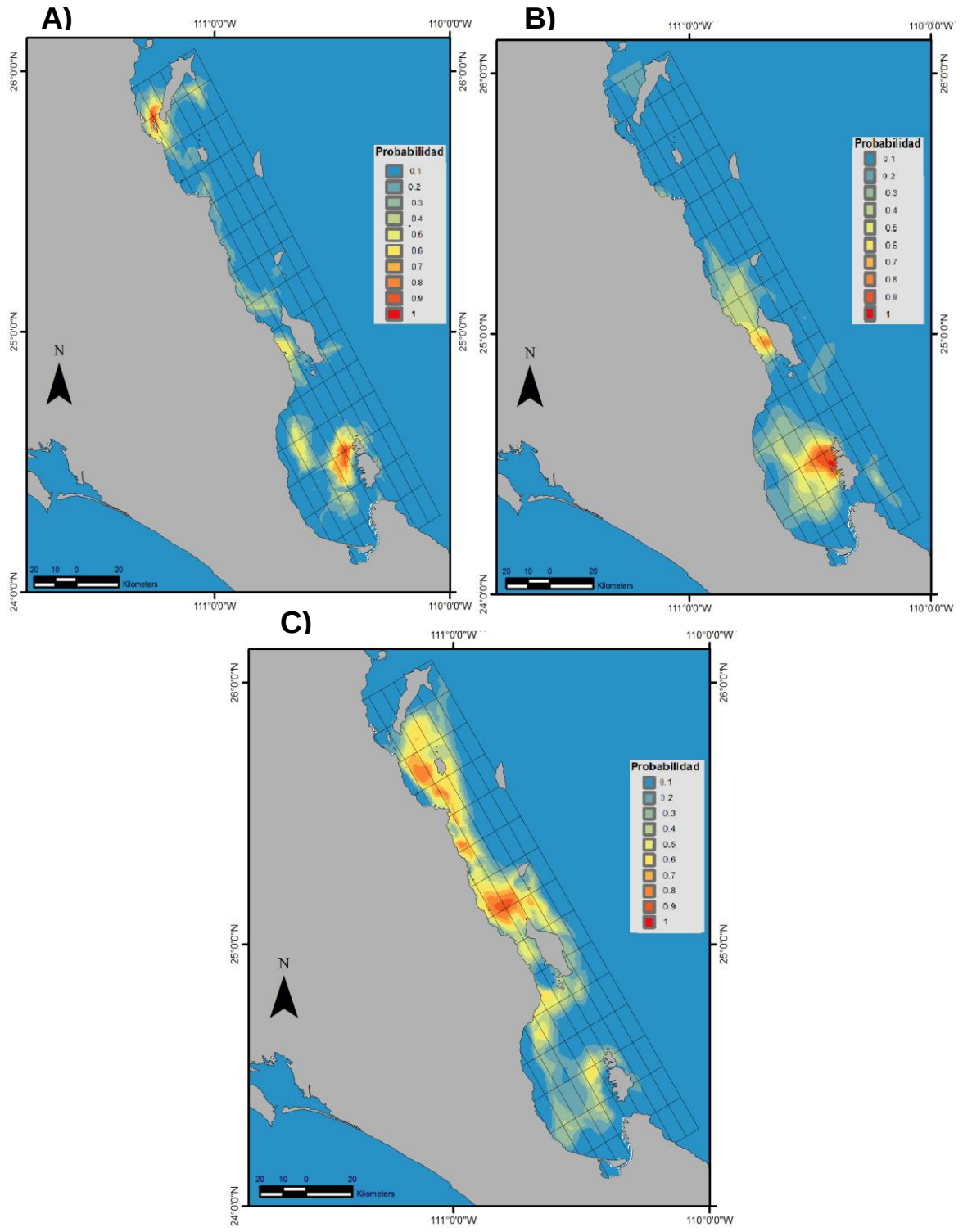


Figura 17. Predicción del uso tránsito estimada para (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical, (C) Ballena azul, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color).

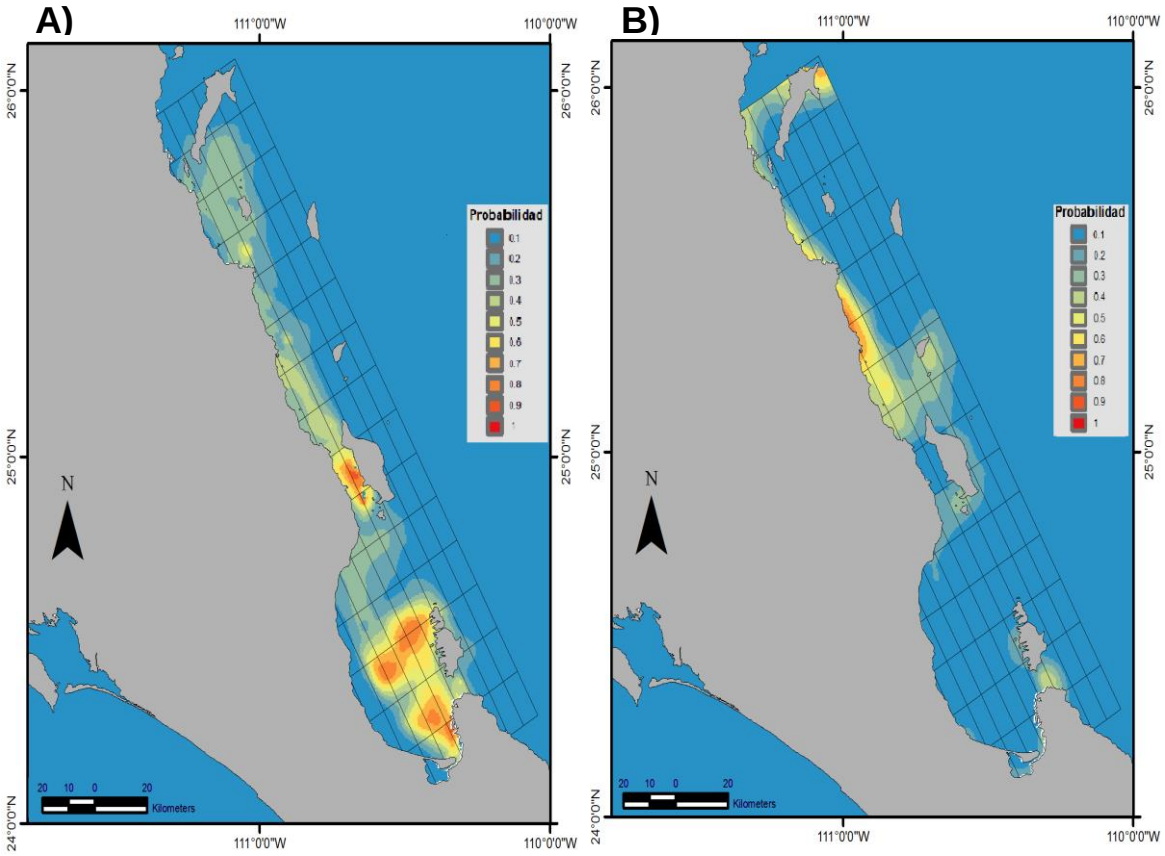


Figura 18. Predicción del uso de tránsito estimada para (A) Ballena jorobada, (B) Ballena gris, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color).

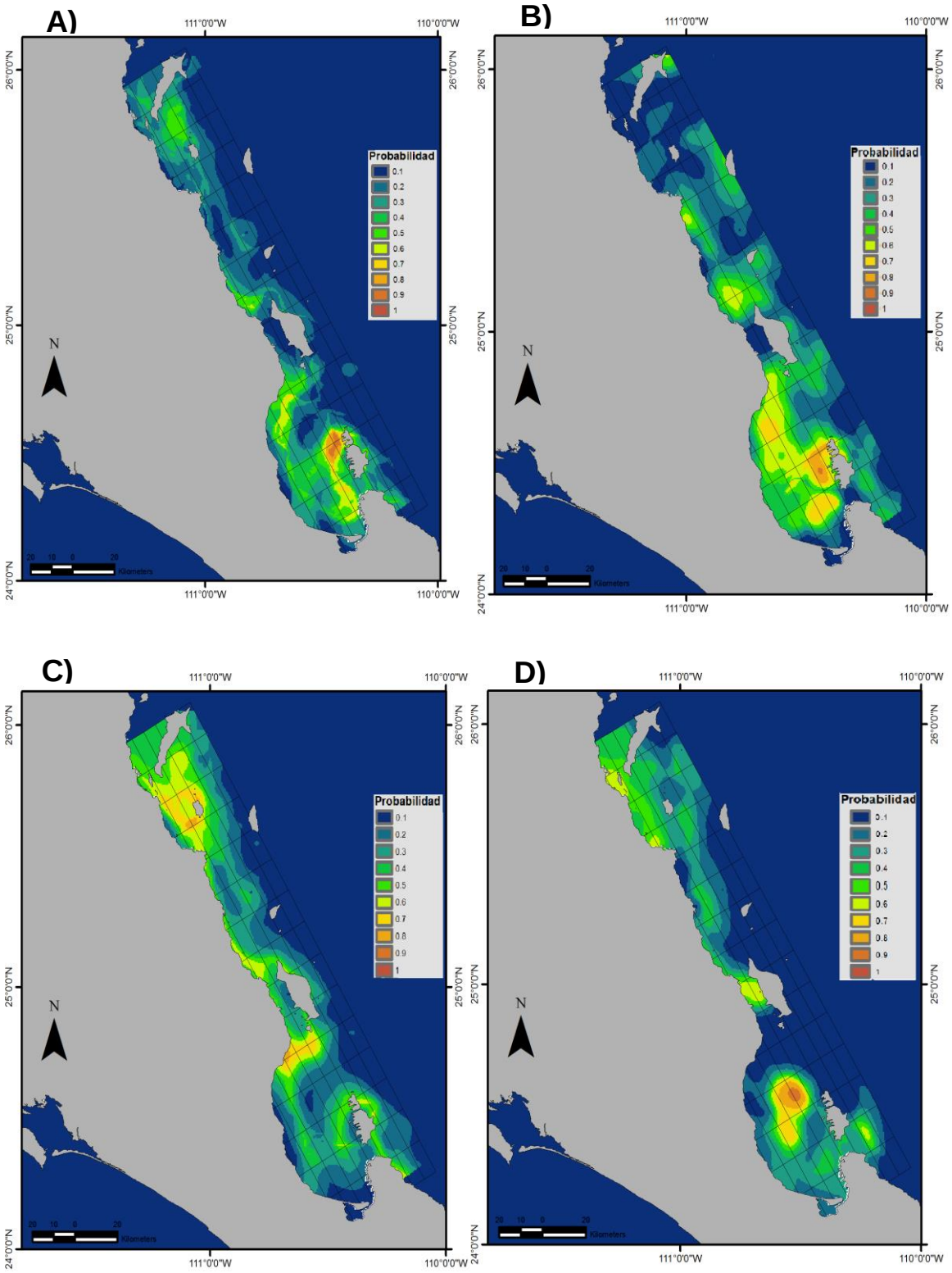


Figura 19. Predicción del uso alimentación estimada para (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical, (C) Ballena azul, (D) Ballena jorobada, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color).

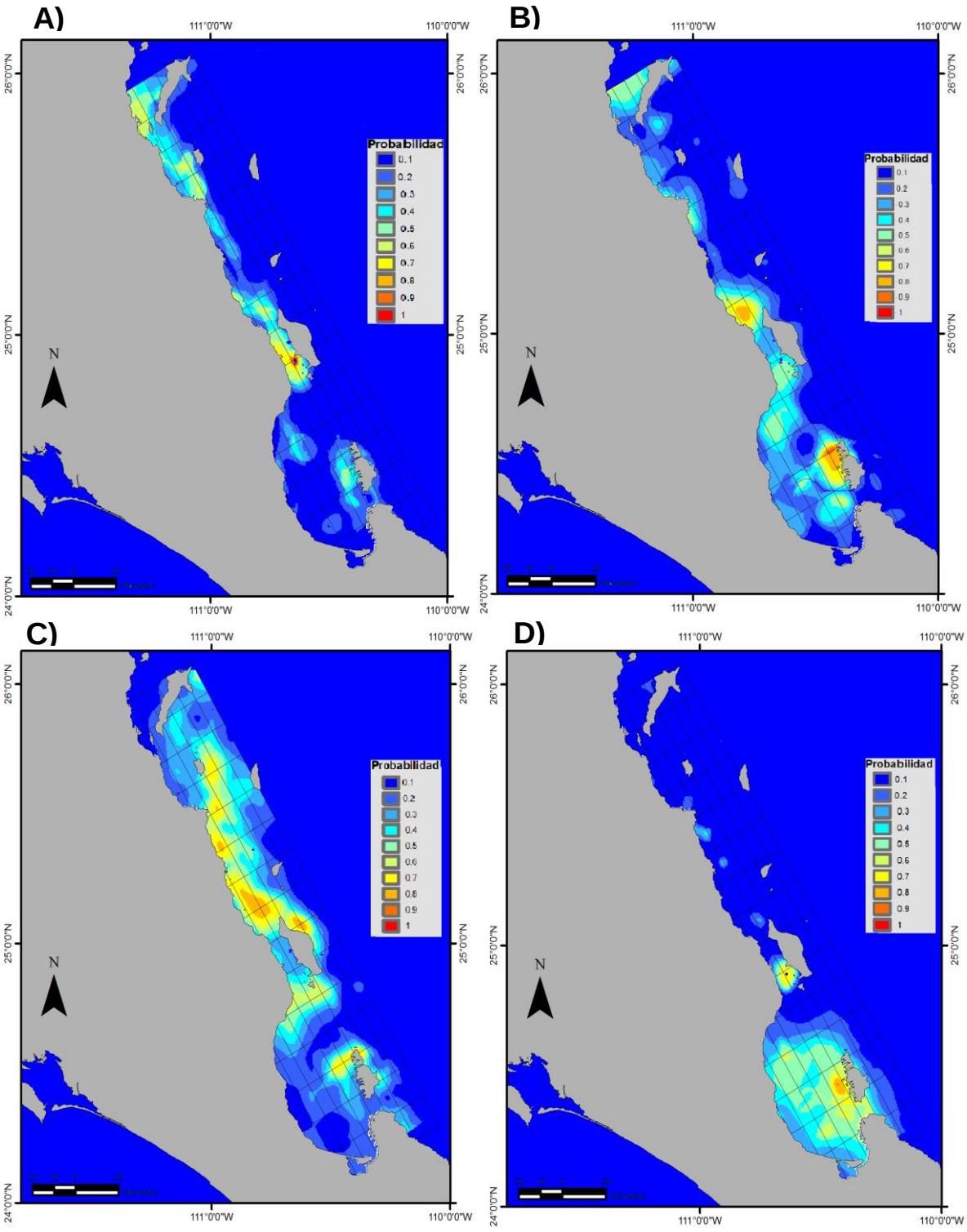


Figura 20. Predicción del uso crianza estimada para (A) Rorcual común, (B) Rorcual tropical, (C) Ballena azul, (D) Ballena jorobada, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color).

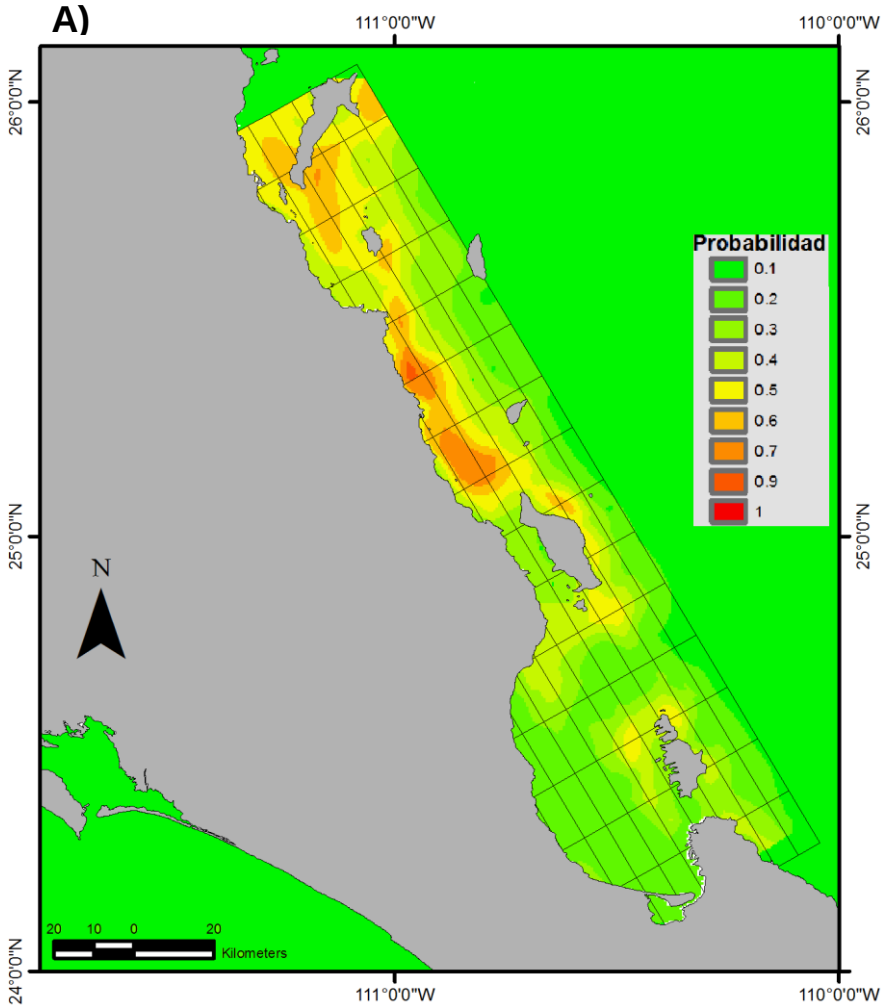


Figura 21. Predicción del uso descanso estimada para (A) Ballena azul, mediante el algoritmo de Máxima Entropía. Para cada figura se indica la probabilidad del uso (escala de color).

VIII. DISCUSIÓN

VIII.1. Distribución y abundancia relativa de las ballenas

En la zona comprendida entre la Bahía de La Paz y la Bahía Loreto se han registrado siete especies de misticetos (Urbán *et al.*, 1997; Rubio 2002; Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006), todas reportadas en el presente trabajo (Tabla IV) y con distribuciones similares a las observadas por otros autores (Figura 15 y 16). De las especies de misticetos encontradas, dos son residentes tres migran al área durante el invierno y dos son especies raras en la zona.

El rorcual común es una especie residente del GC y aislada genéticamente (Bérburé *et al.*, 2002); para el rorcual tropical se ha propuesto la posibilidad de la existencia de dos poblaciones distintas en el GC, una residente y otra que migra estacionalmente desde fuera del golfo (Dizon *et al.*, 1995).

Para el caso de la ballena azul y jorobada, año con año visitan la zona con fines de reproducción aunque también utilizan la zona para alimentarse (Gendron 1990; Gendron y Urbán 1993; Vidal *et al.*, 1993; Rice 1998). Leatherwood *et al.*, (1982), reportan la presencia de la ballena azul en el GC y particularmente en la Bahía de Loreto, así como en el CSJ, igual a lo encontrado durante este estudio. La ballena jorobada en el GC, utiliza principalmente el extremo sur de la península, desde Cabo Pulmo hasta Cabo San Lucas (Urbán *et al.*, 2012), sin embargo y como se observó, también se tienen registros desde Bahía La Paz hasta Bahía Loreto (Gendron y Urbán 1993; Urbán *et al.*, 1997). La población americana de ballena gris visita la costa occidental de la Península de Baja California y la región suroccidental del GC, durante su migración con fines de reproducción y crianza y, aunque su presencia es común, los números no suelen ser altos (11 individuos para el presente trabajo) (Rice y Wolman 1971; Urbán *et al.*, 1997; Niño *et al.*, 2011).

Tanto la ballena minke como la de sei son especies que habitan aguas templadas y frías, por lo que son poco frecuentes en aguas tropicales y sus registros en estas aguas son esporádicos (Urbán *et al.*, 1997; Urbán *et al.*, 2012). A pesar de que la ballena minke ha sido avistada en la BLP (Urbán *et al.*, 1997; Alonso-Lozano 2014), los registros son escasos para todo el GC, por lo que no se tiene información sobre el uso que le dan al

área (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). En general no se conoce mucho acerca de sus movimientos, de acuerdo a Perrin y Brownell (2009), las ballenas Minke del Pacífico Norte durante el verano se extienden hasta el mar de Chukchi y durante el invierno se encuentran al sur hasta los 2° del Ecuador, aunque se desconoce la relación de aquellas que llegan a Baja California. Por su parte, la ballena de sei ha sido avistada cerca de Los Islotes en la BLP durante los meses de invierno (Vidal *et al.*, 1993), lo que coincide con la distribución observada en esta investigación (Figura 16). Leatherwood *et al.*, (1982), mencionan que es el misticeto del que menos se conoce acerca de sus movimientos migratorios, ya que es común confundirla con el rorcual tropical. Realizar una conclusión basándose en uno y cuatro organismos respectivamente es inconsistente, ya que es un número de muestra muy bajo para llevar a cabo un análisis más a fondo.

Es importante que las investigaciones que analizan la abundancia y distribución de cetáceos tomen en cuenta el esfuerzo con el fin de corregir el sesgo al momento de la búsqueda, especialmente si fue un método no sistematizado (Hooker *et al.*, 1999), como el aquí realizado. El esfuerzo se concentró especialmente en BLP (Figura 5) ya que durante los recorridos en panga sólo se navega dicha área; sin embargo, la diferencia total de kilómetros recorridos entre panga y barco no es tan marcada y además, para poder comparar la abundancia relativa, se estandarizó el esfuerzo proveniente de la panga (ver métodos). En la Figura 12, se puede observar que el año 2008 fue el que presentó mayor abundancia relativa de misticetos en general, esto se puede deber a: 1) durante el año 2008 se registró el mayor número (73 organismos) de ballenas azules así como la abundancia relativa más alta de la especie (9.19 ballenas/km); 2) a pesar de que no fue el año con mayor riqueza, el número de organismos presente por especie fue considerable; 3) como se observan en las Figuras 8 y 9, el 2008 fue el año con menor TSM y alta concentración de Clo, lo que favorece la presencia de los misticetos ya que se encuentran asociados con aguas frías y se distribuyen en zonas con alta concentración de clorofila (Smith *et al.*, 1986; Munger *et al.*, 2009).

Las Figuras 13 y 14 muestran la variación en promedio de la abundancia relativa de las especies de misticetos observadas. Tanto el rorcual común como la ballena azul presentaron diferencias significativas entre los años, muestran los valores más altos durante el 2008; de acuerdo a Pardo (2009), en la BLP y durante los meses de enero y febrero del 2008 se presentaron las mayores concentraciones de eufáusidos registrados

desde 2004 así como altas concentraciones de Clo, por lo que probablemente la alta abundancia relativa esté relacionada a dichos fenómenos ya que ambas especies de misticetos se alimentan de eufáusidos (Gendron 1990; Jaume 2004). Contrario a esto, durante el 2014 y 2015 se presentaron las menores abundancias de ambos rorcuales, lo que coincide con los valores más altos de TSM (Figura 8) y las concentraciones más bajas de Clo (Figura 9) y COP (Figura 10). El invierno del 2014 se caracterizó por TSM inusualmente cálidas en las costas de la Península de Baja California incluyendo el sur del GC, la entrada al golfo y la extensión de la Corriente de California (CC), como consecuencia de aguas tropicales encontradas más al norte de su posición normal invernal desde el mes de enero. Al evento descrito se suma una disminución en la intensidad de los vientos con dirección noroeste característicos del GC durante la temporada fría y una disminución significativa en la concentración de Clo por la ausencia de filamentos de Clo, todo esto dio como consecuencia el colapso de las zonas de afloramiento de aguas ricas en nutriente en el GC (Trasviña-Castro com. pers). Por otro lado, 2015 fue un año conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENSO en adelante)3, durante este evento el Océano Pacífico experimenta un calentamiento a través del ecuador y a lo largo de las corrientes que bordean el continente americano por su costa occidental. Dicho calentamiento es producido por cambios en la circulación y disminución en la magnitud de los vientos alisios, lo que a su vez provoca que la estratificación en el océano sea mayor, ocasionando que las surgencias traigan aguas pobres en nutrientes a la superficie y disminuya la productividad primaria (Collins *et al.*, 2010; Rubio 2002).

El número más alto de individuos de rorcual tropical y ballena jorobada (22 y 88 respectivamente) se presentó durante el 2010, y el estadístico entre años muestra diferencias significativas, siendo el 2010 el promedio mayor de abundancia relativa (Figuras 13 y 14). Los meses de la temporada fría de dicho año también se caracterizaron por ser Niño, sin embargo, Urbán y Flores (1996), mencionan que la abundancia del rorcual tropical parece no estar correlacionada con la TSM, lo cual también fue reportado por Alonso-Lozano (2014). Por otro lado, Valdéz-Holguín y Lara-Lara (1983), señalan que la abundancia y productividad de fitoplancton en el GC no siempre tiene un efecto negativo durante eventos ENSO, llegando a incrementar las tasas de producción durante

3 http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/#discussion

dicho fenómeno, lo que se refleja en el sistema pelágico y, de hecho, se observó que la producción pesquera de sardinas en Baja California Sur durante el 2010 aumentó (69,062 toneladas en peso vivo) en comparación a los dos años previos (68,846 toneladas para el 2008 y 64,001 toneladas para el 2009) (CONAPESCA-SAGARPA 2010), siendo la sardina el alimento principal del rorcual tropical (Tershy 1992, Urbán y Flores 1996).

En cuanto a la ballena jorobada, ha sido previamente reportado que durante la época invernal se distribuye en aguas subtropicales de hasta 25°C (Medrano y Urbán 2002; Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006), lo que cae dentro del intervalo de TSM observado durante el 2010 (Figura 8). La alimentación de esta especie durante el invierno ocurre en forma oportunista y en México se ha registrado en aguas adyacentes a Baja California Sur y frente a las costas de Nayarit, alimentándose del eufáusido *Nyctiphanes simplex* en el Golfo de California (Gendron y Urban 1993; Medrano y Urbán 2002). Sin embargo, se ha reportado que las ballenas jorobadas pueden modificar su dieta y/o sus zonas de alimentación en respuesta a cambios en la abundancia y/o distribución de sus presas, como se ha observado directamente en el Atlántico norte. Un análisis de la dermis superficial en las ballenas jorobadas de Revillagigedo reveló que, posteriormente a un verano de El Niño, las ballenas cambiaron su composición de ácidos grasos, lo cual se interpreta como el resultado de que las ballenas se alimentaron de presas diferentes a lo usual y/o que así lo hicieron tales presas (Medrano y Urbán 2002). Probablemente y, pese a que durante el 2010 se presentó la menor concentración de Clo y muy bajo COP (Figuras 8 y 9) y por lo tanto de eufáusidos, la alta abundancia relativa de ballenas jorobadas se debió a un incremento de la presencia de la anchoveta norteña (Engraulis mordax) en el GC, relacionado con el incremento en sus capturas hasta alcanzar una producción de 76,900 toneladas, lo que representó un máximo histórico (Nevárez *et al.*, 2013), así como de otra de sus presas, la sardina de las cuales ya se comentó.

La ballena gris y la ballena de Sei no mostraron diferencias significativas en el promedio de la abundancia relativa entre los años (Figura 14). Flores *et al.*, (1996) señalan que la abundancia de ballenas grises durante su temporada de reproducción presenta fluctuaciones entre los años, siendo más numerosas en los años en que la TSM es menor a la promedio, situación que se presentó durante el 2008 con la TSM más baja (Figura 8) y mayor abundancia relativa de dicha especie. La mayor abundancia observada para la ballena de Sei fue durante el 2014 (Figura 14), probablemente sea por condiciones

similares a la de la ballena jorobada en cuanto al aumento de la anchoveta norteña como ya se explicó anteriormente, especie de la cual se alimentan (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). No obstante, es difícil determinar la presencia de esta ballena en el GC, ya que al ser una especie rara en la zona, no se conoce mucho acerca del uso que le da; asimismo sólo se observaron cinco individuos durante el periodo de estudio, por lo que la información que se tiene es insuficiente para inferir una causa de su presencia.

El entendimiento sobre la abundancia de los organismos y su tendencia, permite evaluar el impacto de las amenazas que afectan a la población y determinar el estado de conservación, lo cual es un paso necesario en el establecimiento de medidas eficaces (Gómez de Segura *et al.*, 2007). La información relacionada a la abundancia también aporta elementos que permiten determinar si el área está siendo usada por las especies, si hay cambios a través del tiempo y qué factores ambientales son los que influyen tanto en tipo de uso como en número. Por otra parte, hay que tener presente que la variabilidad ambiental puede ocasionar sesgos en la distribución de cetáceos, y con ello las estimaciones de la abundancia pueden basarse en una proporción de la población diferente cada vez que son estimadas, lo que puede complicar la interpretación de las tendencias de la abundancia (Forney 2000).

VIII.2. Modelación de uso de hábitat

El conocimiento acerca de la distribución real de los mamíferos marinos sigue siendo limitado, especialmente aquellas especies que son difíciles de detectar, esto es debido esencialmente a su alta capacidad de desplazamiento y al tiempo que pasan bajo la superficie, junto con la carencia de un equipo complejo, como grandes buques de investigación que permitan realizar búsquedas fuera de costa y vehículos submarinos o cámaras de aguas profundas. Una solución a esta falta de conocimiento es utilizar aproximaciones matemáticas para modelar la distribución de las especies en relación con variables eco-geográficas (MacLeod *et al.*, 2008; Gómez-Gallardo 2013). MacLeod *et al.*, (2008), señalan que los modelos de presencia-ausencia aportan mejor capacidad predictiva para estos grupos, pero si no se cuenta con la información de la ausencia real por la naturaleza del muestreo, los modelos de presencia producen buenas estimaciones, ya que trabajan significativamente mejor que modelos aleatorios. En este caso se eligió trabajar con el modelo de Máxima Entropía, ya que sólo se contaba con datos de presencias que provienen de embarcaciones con muestreos pseudo-aleatorios y, además, ya ha sido probado que tiene mejor desempeño en comparación a otras herramientas como los GAM y GML (Elith *et al.*, 2006).

Una de las principales herramientas para evaluar el rendimiento del modelo generado por Maxent, es la curva ROC a través de la curva AUC. El AUC es un índice útil que proporciona una sola medida de precisión global que no depende de un umbral en particular (Phillips *et al.*, 2006), y se interpreta como la capacidad del modelo para discriminar entre sitios donde una especie está presente contra aquellos donde está ausente (Fielding y Bell 1997). Como se explicó en los métodos, de acuerdo a Peterson *et al.*, (2011), un modelo con un excelente poder predictivo tiene un valor de AUC superior a 0.9, los resultados obtenidos por medio del AUC para todos los modelos de uso de todas las especies (ANEXO I) fueron valores >0.9, lo que indica un excelente poder predictivo. Conjuntamente los mapas de predicciones de uso de área (Figuras 17, 18, 19, 20 y 21) no se vieron afectadas en el espacio geográfico, ya que coinciden con la distribución encontrada en éste y otros trabajos ya reportados anteriormente.

Cruz-Piñón (2010), menciona que el rendimiento y capacidad de predicción de Maxent, al igual que lo observado por otros algoritmos, disminuyen con tamaños de muestra pequeños, contrario a lo observado en el presente trabajo, ya que para la realización de

algunos de los modelos se contaba con pocos datos de presencia, y aun así se obtuvieron altos valores de AUC (ANEXO I) y altos valores de probabilidad de ocurrencia de uso (Figura 17, 18, 19, 20 y 21). Lo anterior también fue corroborado por Pearson *et al.*, (2007), quienes realizaron un estudio con 4 y 23 localidades de ocurrencia utilizando los algoritmos Maxent y GARP ("Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) y obtuvieron mejores predicciones con el primero.

La presente investigación es el primer trabajo que modela el uso de hábitat tomando en cuenta el comportamiento como tal observado en campo y que utiliza Maxent como algoritmo de modelación. El hecho de trabajar con organismos altamente móviles y, migratorios en algunos casos, complica el alcance del estudio ya que no restringen su distribución a intervalos de variables y aún no se puede integrar información biológica de las especies durante la modelación. Sin embargo y a pesar del hecho de que los modelos de predicción pueden verse afectados por varias fuentes de incertidumbre, este enfoque ofrece una herramienta útil para identificar nuevas áreas de conservación que, en combinación con la opinión de expertos, son relevantes para el establecimiento de sitios para conservación de especies de ballenas (Cruz-Piñón 2010).

VIII.2.1. Tránsito

En relación con la contribución de las variables ambientales dada por el Jackknife de los modelos y las predicciones de ocurrencia del área, variaron entre los usos y las especies (ANEXO II).

Enríquez (1996), menciona que a mediados de primavera, los rorcuales comunes, distribuidos principalmente en la zona norte del golfo, se desplazan hacia localidades más sureñas, en las que pasan el resto de la primavera y parte del verano, lo que hace referencia a que el área de estudio es una zona que puede ser utilizada como tránsito durante los meses de la temporada fría principalmente. Por otro lado, la predicción del modelo para el rorcual común estuvo definida por el gradiente de TSM, dicha variable hace referencia al encuentro de dos masas de agua que pueden generar un afloramiento de nutrientes y dar como resultado un efecto de surgencias. La siguiente variable que en importancia definió el modelo de tránsito fue el gradiente de batimetría, Allen *et al.*, (2001), mencionan que áreas con gradientes en el suelo marino, contribuyen a la

distribución de nutrientes en la columna de agua. Si se toman en cuenta ambas variables se podría proponer que el rorcual común transita en zonas donde probablemente encuentre alimento ya sea por divergencia de masas de agua y/o un fondo marino complejo que favorezca la alta concentración de zooplancton y peces pelágicos como lo es la montaña submarina "El Bajo", la cual se encuentra cerca de la zona con alta predicción de tránsito (Figura 17) (Trasviña-Castro *et al.*, 2003). Similar a lo encontrado en el presente trabajo, Del Toro (2012), menciona que los modelos basados en la presencia-ausencia del rorcual común en el GC, están fuertemente influenciados por TSM y la profundidad, por lo que sugiere que esta especie responde a las agregaciones de sus presas asociadas a tales características del hábitat. Con base en las variables se podría decir que el rorcual común utiliza las zonas mencionadas como tránsito al mismo tiempo que va en búsqueda de alimento, esto con el fin de obtener un forrajeo óptimo (teoría que supone que el comportamiento del forrajeador maximiza la tasa neta de rendimiento –energía o nutrientes- por unidad de tiempo) (Sánchez 1996), y así cubrir su alto requerimiento metabólico al ser el segundo balaenopterido más grande (Guerrero Ruiz *et al.*, 2006).

El rorcual tropical es una especie en la que se sugiere la existencia de dos stocks, uno que transita entre el Canal de Ballenas y la BLP de acuerdo a cambios estacionales en el ambiente (Tershy *et al.*, 1990; Urbán y Flores 1996; Salvadeo *et al.*, 2011), y otro en el que el rorcual esté presente durante todo el año en la porción inferior del golfo (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006). Las zonas con altos valores de probabilidad de tránsito para el rorcual tropical son el oeste del AES y el CSJ (Figura 17). En cuanto a la variable con mayor contribución al modelo de tránsito se trata de los valores mínimos de Clo, similar a esto, Chávez-Andrade (2006), menciona que este misticeto tiende a habitar aguas con concentraciones bajas en clorofila en el GC por lo que el uso que le da al área está influenciado por la distribución y disponibilidad de la sardina, presa del rorcual tropical en el GC (Salvadeo *et al.*, 2011).

El modelo de tránsito para la ballena azul estuvo determinado por la TSM mínima. Chávez-Andrade (2006) y Urbán y Gómez-Gallardo (2008) en el GC, así como Munger *et al.*, (2009) en la Corriente de California (CC), proponen que la presencia de la ballena azul está ligada con la TSM fría. Su presencia dentro del golfo se debe a sus movimientos migratorios anuales entre las costas de California (Calambokidis *et al.*, 1990) y el GC,

concentrándose en BL e islas adyacentes (Figura 17) (Leatherwood y *et al.*, 1982; Gendron 1990). Dentro de su patrón de migración, esta especie entra al golfo a finales de año y transita primero hacia el norte; luego comienza a bajar por toda la costa occidental, distribuyéndose más hacia el suroeste del golfo con una permanencia durante marzo-abril, y continuar bajando hasta regresar a la CC en el verano (Gendron 1990; Pardo 2009); con base en lo anterior se podría decir que utiliza el corredor La Paz-Loreto como una zona de tránsito para moverse a lo largo de la costa occidental del GC.

La identificación de las variables que describen la presencia de la ballena jorobada en sus sitios de invernación se dificulta por su naturaleza migratoria y sus características sociales dinámicas (Ersts y Rosenbaum 2003). No obstante, estudios acerca de la preferencia de hábitat de la ballena jorobada, mencionan que posee hábitos costeros y está fuertemente influenciada por la TSM, variable de influencia en el presente trabajo de acuerdo al algoritmo (Chávez-Andrade 2006; Urbán y Gómez-Gallardo 2008; Urbán *et al.*, 2012). En su visita al GC durante el periodo frío presenta una alta fidelidad a la región sur (BL y BLP) (Leatherwood *et al.*, 1982; Gendron y Urbán 1993; Vidal *et al.*, 1993; Urbán *et al.*, 1997), la alta probabilidad de presencia en BLP y el CSJ encontrada (Figura 18) pudiera ser debido a que la zona es considerada como sitio de reproducción para esta especie (Urbán y Aguayo 1987), por lo que transita por zonas idóneas según sus requerimientos.

El hábitat típico de la ballena gris en México es la franja costera de la costa occidental de la Península de Baja California Sur, a una distancia no mayor de 10 km de la costa (Guerrero-Ruiz *et al.*, 2006), aunque también se tienen registros dentro del GC especialmente en la porción sur-occidental (Niño *et al.*, 2011). Es necesario tomar en cuenta varios puntos para la modelación de esta especie, todas las ocurrencias incorporadas al Maxent corresponden sólo al año 2008 ya que para el resto de los años no se contaba con información consistente para ser integrado en un análisis; esto podría causar una subestimación por parte del modelo en cuanto a la predicción de las áreas idóneas para el uso de tránsito (Figura 18), así como de la variable más importante para la predicción del modelo. Por otro lado, a pesar de que el uso detectado no fue el de alimentación, el hecho de que la variable de mayor contribución sea el COP, puede ser un indicio de que estaban buscando alimento y/o se estaban alimentando en la zona y no fue detectado por los observadores. Es una especie que se alimenta dragando el fondo marino, de ahí la contribución del COP al modelo y su posible explicación; dicho

parámetro está relacionado con la cantidad de materia que se exporta, llega al piso marino y es utilizado para la productividad primaria (García-Pámanes *et al.*, 2011). Sánchez-Pacheco *et al.*, (2001), reportan ballenas grises alimentándose principalmente del anfípodo bentónico *Ampelisca cristata* en Bahía de Los Ángeles entre enero y mayo, presa importante de estas ballenas en el Mar de Bearing.

VIII.2.3. Alimentación

El rorcual común y la ballena azul comparten el recurso de presa, ambas se alimentan del eufáusido *Nyctiphanes simplex*. A pesar de que ambas especies se alimenten principalmente de esta presa durante los meses templados (Gendron 1990; Jaume 2004), se habla de una segregación espacial y temporal que promueve la repartición del recurso en términos de cantidad o calidad. La ballena azul realiza buceos en búsqueda de alimento más profundos que el rorcual común, por lo que se sugiere que se alimentan de diferentes capas de agregaciones de eufáusidos; además que hay una distribución diferenciada en el espacio (Del Ángel 1997; Croll *et al.*, 2001; Chávez-Andrade 2006). Lo anterior se puede observar en la Figura 19, donde las áreas de alimentación difieren; la mayor probabilidad de encuentro del rorcual común alimentándose es al oeste del AES, misma zona reportada por Martínez-Villalba (2008). Esto es gracias a que en la zona cercana a los islotes se presenta el máximo espacial del transporte inducido por la marea. Al cambiar de dirección, la marea produce giros en la parte norte de las islas generando implicaciones importantes en cuanto a la productividad (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997).

La contribución por parte de los valores máximos de TSM para el modelo del rorcual común, probablemente se deba a los hábitos costeros en la zona de estudio, preferentemente durante los meses de la temporada fría como lo descrito por Zavala-Hernández (1996) y por Del Ángel (1997). Para el área adyacente del Canal de San Lorenzo-Los Cabos, Urbán *et al.* (2012), reportan la preferencia de esta especie en aguas cálidas de 27.1 °C, misma temperatura a la cual la probabilidad de ocurrencia fue significativa. La otra variable con alta aportación al modelo es el gradiente de la TSM, el cual es un nexo con las surgencias, como ya se explicó, y es justamente durante la intensificación de estos fenómenos junto con los procesos de mezcla vertical (en la columna de agua) que se dan las máximas concentraciones de eufáusidos a la largo de la plataforma continental a ambos lados del golfo (Martínez-Villalba 2008), sólo para BLP se

han encontrado concentraciones de N. simplex de hasta 500,000 organismos en 1,000 m3 (De Silva-Dávila 1997).

Para el caso de la ballena azul las zonas predichas por Maxent son Punta Coyote, alrededor de la Isla Monserrat y sur de la Isla del Carmen (Figura 19), espacios donde ya ha sido reportada esta especie alimentándose y donde también se observan con gran frecuencia agregaciones de eufáusidos (Rosas-Cota 1977; Gendron 1990). La diferencia espacial también se puede observar desde el uso de tránsito explicado anteriormente (Figura 17), ya que los modelos de ambas especies predijeron diferentes zonas de tránsito. Por lo tanto, la posible competencia entre ambos misticetos es aparentemente reducida al ocupar distintas zonas del GC durante la temporada fría.

Por otro lado, el valor máximo de la batimetría (200 m) fue la variable con mayor contribución al modelo de alimentación de la ballena azul, lo que podría estar vinculado con la distribución a la que responde su presa, patrón que también sugieren Croll *et al.*, (2001). N. simplex se extiende desde la superficie hasta los 200 m de profundidad máxima (Leatherwood 1982; Tremblay *et al.*, 2010) y es la única especie que forma enjambres durante el día (Gendron 1992), lo que a su vez brinda mayor facilidad a las ballenas azules de alimentarse constantemente. Por su parte Chávez-Andrade (2006), concluye que la ballena azul tiende a habitar aguas profundas con alta biomasa zooplanctónica y elevada abundancia de eufáusidos, soportando aún más la relación de la variable con la predicción del modelo.

El modelo de alimentación para el rorcual tropical y la ballena jorobada estuvieron influenciados por el gradiente de la TSM y los valores máximos de la TSM respectivamente. Yañez *et al.*, (1996), en un estudio en la zona central de Chile, determinan la relación de la distribución de recursos pelágicos menores con la TSM, donde observan que los gradientes de temperatura están asociados a las surgencias costeras y por lo tanto son un indicador importante para la distribución de sardinas (Tershy 1992; Urbán y Flores 1996). A pesar de que durante los meses de la temporada fría las surgencias no son características de la costa oeste del GC, hay un giro ciclónico semipermanente de invierno impulsado por vientos del noroeste que causa divergencia superficial y afloramientos ofreciendo zonas adecuadas para la concentración de sus presas (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). Además la zona predicha (Figura 19) es un área

donde ya ha sido observado el rorcual tropical alimentándose tanto de sardinas como de eufáusidos (Gendron y Urbán 1993; Flores 1994).

En cuanto a la ballena jorobada Whitehead y Moore (1982), mencionan que en las áreas de reproducción esta especie generalmente habita aguas cálidas de 24°C a 28°C, siendo 27°C la temperatura con mayor probabilidad de ocurrencia para el uso de alimentación. A pesar de que la reproducción es el principal motivo por el cual visita las aguas del GC, la ballena jorobada es un depredador oportunista en el GC (Gendron y Urbán 1993; Medrano y Urbán 2002). Si se observa la Figura 19, el modelo predice la zona de la Cuenca Alfonso como posible sitio de alimentación para la especie; esta área se caracteriza por presentar condiciones de mezcla y ascenso de agua profunda que producen un efecto importante sobre toda la base de la red trófica, estimulando la agregación de presas para los cetáceos (Pardo 2009).

VIII.2.4. Crianza

A pesar de que el rorcual común es una especie residente del GC, no se tienen identificadas del todo las zonas donde lleva a cabo sus actividades de reproducción y crianza, sin embargo sigue cierto patrón de migración. A mediados de primavera, los rorcuales se distribuyen principalmente en la zona norte y, conforme avanza el año, se desplazan hacia localidades más sureñas en las que pasan el resto de la primavera y parte del verano (Enríquez 1996), siendo en la zona sur donde Urbán (1997), reporta la observación de varias crías entre 1993 y 1995. La estimación de Maxent para el uso de crianza del rorcual común señala el CSJ como zona óptima (Figura 20) , lo que coincide con Urbán (1997); además de ser un área que se encuentra rodeada por las islas de La Bahía de Loreto, lo que permite suponer que puedan ser utilizadas por el rorcual común como una zona de protección para las crías.

El rorcual tropical parece no formar agregaciones para la reproducción y se cree que su ciclo reproductivo es distinto al resto de los rorcuales, ya que no se ha identificado una estación de reproducción y crianza (Leatherwood *et al.*, 1988). Pese a esto, se han observado patrones estacionales en algunas regiones incluyendo el GC, que sugieren movimientos migratorios (Tershy *et al.*, 1990; Kato 2002). Kato (2002), menciona que el máximo de nacimientos se da en otoño e invierno, aunque la época de reproducción de la

especie es todo el año. Por su parte, Urbán y Flores (1996), reportan observaciones de crías de rorcual tropical en BLP entre agosto y octubre con longitudes de 7 y 9 m, mientras en enero y mayo observaron crías de no más de 4 m de largo. Si se toma en cuenta que las crías al nacer miden entre 3.6 y 3.9 m (Best 1977), se podría considerar que la zona determinada por el algoritmo (Figura 20) es empleada con fines de crianza en coincidencia a lo señalado.

La variable con mayor aportación al modelo para los rorcuales común y tropical fue la Clo. Probablemente esta relación se deba a los altos requerimientos metabólicos y el gasto energético que supone el periodo de crianza, por lo que las madres se distribuyen en zonas con alta producción primaria y aprovechan los recursos disponibles. Respecto a esto, observaciones hechas por Tershy (1992) y Tershy *et al.*, (1993), mencionan que ambas especies de rorcuales presentan comportamiento de alimentación a lo largo del año al igual que la presencia de crías, por lo que se podría esperar que las zonas para ambos usos coincidan en cierto grado.

Gendron y Enríquez (2005), mencionan que el GC es un área importante para la concentración de un número crítico de individuos para la crianza (producción anual de crías del 8-22%), con una proporción de sexos sesgados hacia las hembras, que presentan un uso más extenso de la zona (tiempos de residencia más largos y tasas de retorno interanual) que los machos. Gendron (1990), propone la región de la Isla del Carmen como la favorita para madres con cría de ballena azul, sin embargo, el hábitat idóneo señalado por Maxent es alrededor de la ISJ y las islas adyacentes a BL (Figura 20), también zonas previamente identificadas como hábitat importante de reclutamiento para ballenas azules (Vidal *et al.*, 1993). En cuanto a la contribución del COP al modelo, se puede deber a los altos requerimientos de la ballena azul, hay que recordar que es el animal más grande y de mayor biovolumen conocido (Fiedler *et al.*, 1998), por lo que presenta una de las más elevadas demandas de energía y necesita alimentarse constantemente, además del gasto energético que implica actividades como lactancia y crianza. En realidad no existe información para el GC que relacione actividades de crianza de la ballena azul con la caracterización ambiental; los trabajos disponibles que toman en cuenta el ambiente son acerca de su distribución, alimentación, ocurrencia, movimientos, abundancia, supervivencia, entre otros (Gendron 1990; Tershy *et al.*, 1990; Flores *et al.*, 1996; Zavala-Hernández 1996; Del Ángel-Rodríguez 1997; Ugalde-de la Cruz 2008).

Como ya se mencionó, la ballena jorobada es una especie migratoria que visita la zona con fines de reproducción y cuidado de crías en búsqueda de aguas cálidas en comparación a la temperatura donde se distribuyen el resto del año. La temperatura ha sido identificada como una de las variables predictores que determinan los sitios idóneos para la crianza de la ballena jorobada (Smith *et al.*, 2012). El valor mínimo de TSM fue la variable con mayor aportación al modelo, 18°C para la mayor probabilidad de ocurrencia, lo que se encuentra por debajo de los intervalos ya descritos. Sin embargo, Rasmussen *et al.*, (2007), sugieren que la temperatura puede influir en la distribución de las ballenas jorobadas durante la temporada de reproducción y crianza en una escala amplia, mientras que la disponibilidad de hábitat adecuado puede ser una influencia importante a escala local, es decir, las ballenas pueden hacer uso durante el invierno de zonas con menor temperatura a la óptima si esas áreas ofrecen condiciones adecuadas de protección y profundidad. Como se aprecia en la Figura 20, las zonas idóneas para la crianza de la ballena jorobada son el CSJ y a la altura de la Isla Ballena del AES, ambas se identifican por ser entornos de protección y aguas someras.

VIII.2.5. Descanso

La profundidad es una característica del hábitat que también condiciona la distribución espacial de los cetáceos de acuerdo con sus adaptaciones y requerimientos particulares como ha sido demostrado por Chávez-Andrade (2006), Jiménez (2006) y Troyo (2008). La modelación del uso descanso para la ballena azul estuvo influenciada por la batimetría, lo que sugiere que las zonas someras son los hábitats idóneos para este tipo de actividades. Vale la pena mencionar que los mapas de predicción (Figura 20 y 21) de reproducción y descanso coinciden espacialmente en cierto grado, lo que podría indicar que las ballenas que utilizan las zonas de reproducción también lo hacen para descansar bien ya sea de la migración o de la misma actividad de reproducción y crianza, como ha sido observado para otras especies de ballenas como la gris.

IX. CONCLUSIONES

- ✓ El área de estudio presenta una alta variabilidad intra-anual, dada por eventos de mesoescala (estacionales) y macroescala (por ejemplo El Niño y La Niña), lo que conlleva cambios en el hábitat de los misticetos favoreciendo o no la idoneidad de la zona.
- ✓ Durante los meses de la temporada fría disminuye la temperatura y aumenta la clorofila, lo que favorece la producción primaria y la disponibilidad de presas para los misticetos.
- ✓ El corredor La Paz-Loreto es un área con una riqueza de siete especies de misticetos y donde confluyen especies residentes, el rorcual común y el rorcual tropical; especies migratorias, la ballena azul y la ballena jorobada, y dos especies raras para la zona, la ballena de sei y la ballena minke.
- ✓ La abundancia relativa de los misticetos en el área estuvo representada en mayor proporción por la ballena azul y la ballena jorobada.
- ✓ Los patrones de uso del hábitat de los misticetos en el corredor La Paz-Loreto señalan principalmente tres zonas: Bahía La Paz, Canal de San José y Bahía Loreto.
- ✓ Los usos identificados que llevan a cabo los misitcetos en el área son: tránsito, reproducción, alimentación y sólo para la ballena azul se identificó descanso.
- ✓ Los modelos basados en la Máxima Entropía mostraron ser eficientes para la estimación del uso de hábitat de las ballenas.
- ✓ La mayoría de los modelos estuvieron influenciados por la temperatura superficial del mar seguida de la clorofila a, como ha sido observado previamente para los misticetos.
- ✓ De acuerdo al algoritmo, las zonas probables de uso de tránsito para el rorcual común son el oeste del AES, la zona comprendida entre Isla del Carmen e Isla Danzante. El rorcual tropical presentó alta probabilidad de transitar el oeste del AES y el CSJ. La ballena jorobada utiliza la Ensenada de La Paz y el CSJ. Para la ballena azul se propone desde BLP hasta el norte de la ISJ. La zona idónea para la ballena gris sería al sur de Punta La Ballena.
- ✓ El rorcual común y tropical probablemente utilizan el oeste del AES como zona de alimentación. La ballena azul se podría alimentar cerca de Punta Coyote y alrededor de la Isla Montserrat. La ballena jorobada en la Cuenca Alfonso.

- ✓ El posible hábitat idóneo para crianza del rorcual tropical y la ballena jorobada es el oeste del AES. El rorcual común utiliza el CSJ y la ballena azul la zona comprendida entre Bahía Loreto e ISJ.
- ✓ La predicción de las zonas idóneas así como la contribución de las variables ambientales para los usos de cada una de las especies, estuvieron definidas por la propia ecología de las ballenas y sus necesidades biológicas.

X. LITERATURA CITADA

Allen, S. E., C. Vindeirinho, R. E. Thomson, M. G. G. Foreman y D. L. Mackas. 2001. Physical and biological processes over a submarine canyon during an upwelling evet. Can J. Fish. Aquat. Sci. 58: 671-684 pp.

Alonso-Lozano, L. 2014. Relación en la distribución y abundancia de misticetos, con algunos parámetros ambientales en la costa sur-occidental del Golfo de California (Enero 2004-Noviembre 2005).Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 78 pp.

Anderson, R. P. 2012. Harnessing the world´s biodiversity data: promise and peril in ecological niche modelling of species distribution. Annals of the New York Academy of Sciences. 1-15 pp.

ANÓNIMO. 2000. Programa de Manejo. Parque Nacional Bahía de Loreto. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México. 54 pp.

ANÓNIMO. 2012. Anuario Estadístico de Pesca: (http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2012_zip)

Azzellino, A., S. Gasparin, S. Airoldi y B. Nani. 2008. Habitat use and preferences of cetaceans along the continental slope and the adjacent pelagic waters in the western Lugurian Sea. Deep-Sea Research. 55: 296-323 pp.

Bailey, H. y P. M. Thompson. 2009. Using marine mammal habitat modelling to identify priority conservation zones within a marine protected area. Marine Ecology Progress Series. 378: 279-287 pp.

Barlow, J., M. C. Ferguson, E.A. Becker, J. V. Redfern, K. A. Forney, I. L. Vilchnis, P. C. Fiedler, T. Gerrodette, L. T. Balance y National Marine Fisheries Service. 2009. Predicting Modeling of Marine Mammal Density from Existing Survey Data and Model Validation Using Upcoming Surveys. Strategic Environmental Research and Development Program. 206 pp.

Begon, M., J.L. Harper y C.R. Townsend. 1999. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Editorial Omega. España. 1148 pp.

Bailey, H. y P. M. Thompson. 2009. Using marine mammal habitat modelling to identify priority conservation zones within a marine protected area. Marine Ecology Progress Series. 378: 279-287 pp.

Bérubé, M., J. Urbán, A. E. Dizón, R. L. Brownell y P. J. Palsboll. 2002. Genetic

identification of a small and highly isolated population of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Sea of Cortez, Mexico. Conservation genetics. 3: 183-190 pp.

Best, P. B. 1977. Two allopatric forms of bryde's whale off South Africa. En: Las ballenas del Golfo de California. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 537 pp.

Best, B. D., P. N. Halpin, A. J. Read, E. Fujioka, C. P. Good, E. A. LaBrecque, R. S. Schick, J. J. Roberts, L. J. Hazen, S. S. Qian, D. L. Palka, L. P. Garrison y W. a. McLellan. 2012. Online cetacean habitat modeling system of the US east coast of Gulf of Mexico. Endangered Species Research. 18: 1-15 pp.

Bombosch, A., D. P. Zitterbart, I. V. Opzeeland, S. Frickenhaus, E. Burkhaedt, M. S. Wisz y O. Boebel. 2014. Predictive habitat modelling of humpback (*Megaptera novaeangliae*) and Antarctic minke (*Balaenoptera bonaerensis*) whales in the Southern Ocean as a planning tool for seismic surveys. Deep Sea Research I. 91: 101-114 pp.

Brown, J.L. 2014. SDMtoolbox: a phyton-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analysis. Methods in Ecology and Evolution. DOI: 10.1111/2041-210X.12200.

Calambokidis, J., G. H. Steiger, J. C. Cubbage, K. C. Balcomb, C. Ewald, S. Kruse, R. Wells y R. Sears. 1990. Sightings and movements of blue whales off Central California 1986-1988 from photoidentification of individuals. Rep. Intl. Whal. Commn.. Spec. Iss. 12: 343-348.

Cañadas, A., R. Sagarminaga y S. García-Tiscar. 2002. Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. Deep-Sea Research. 49: 2053-2073 pp.

Cato, D. H., E. Bruce, R. A. Dunlop, D. Harrison, N. Soars, E. Tanner, Y. Yasumoto, M. Blewitt e I. Parnum. 2009. Habitat Modelling of beaked whales in the Coral Sea. The University of Sydney. Informe final Australian Marine Mammal Centre. Proyecto No. 09/32.

Cervantes-Duarte, R., G. Verdugo-Díaz y J.E. Valdéz-Holguín. 2005. Modelo estacional de producción primaria estimada mediante fluorescencia natural en una región costera del Golfo de California, México. Hidrobiológica. 15: 79-87 pp.

Chávez-Andrade, M. 2006. Caracterización del hábitat de grandes cetáceos del Golfo de California durante invierno. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 80 pp.

Collins, M, S. I. An, W. Cai, A. Ganachaud, E. Guilyardi, F. F. Jin, M. Jochum, M. Lengaigne, S. Power, A. Timmermann, G. Vecchi y A. Wittenberg. 2010. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño. Nature Geoscience. 3: 391-397 pp.

Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca y Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2010. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2020. México. 275 pp.

CPPS/PNUMA. 2012. Atlas sobre distribución, rutas migratorias, hábitats críticos y amenazas para grandes cetáceos en el Pacífico oriental. Comisión Permanente del Pacífico Sur - CPPS / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. Guayaquil, Ecuador. 75p.

Croll, D. A., A. Acevedo-Gutiérrez, B. R. Tershy y J. R. Urbán. 2001. The diving behavior of blue whales: is dive duration shorter than expected based on oxygen stores? Comparative Biochemestry and Physiology Part A. 129: 797-809 pp.

Cribb, N., C. Miller y L. Seuront. 2015. Towards a Standardized Approach of Cetacean Habitat: Part Achievements and Future Directions. Open Journal of Marine Science. 5: 335-357 pp.

Cruz-Orozco, R., A. Mendoza-Maravillas y C. Martínez-Noriega. 1990. Profundidades y formas de la Bahía de La Paz. Geonotas. (1). En: Obeso-Niebla M., G. B. Shirasago, J. H. Gaviño-Rodríguez, H. Obeso-Huerta, E. L. Pérez-Lezama y Ar. R. Jiménez-Illescas.

Cruz-Orozco, R., C. Martínez-Noriega y A. Mendoza-Maravillas. 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de La Paz, B.C.S. Oceánides. 1: 21-27 pp.

Cruz-Piñón, G. 2010. The distribution of cetacean species: knowledge, modeling and patterns. Tesis de Doctorado. The University of Sheffield, Departament of Animal and Plant Sciences.

Del Ángel-Rodríguez, J.A. 1997. Hábitos alimentarios y distribución espacio-temporal de los rorcuales común (*Balaenoptera physalus*) y azul (*Balaenoptera musculus*) en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 68 pp.

Del Toro, O. W. 2012. Predicción de la abundancia espacial y temporal del rorcual común (*Balaenoptera physalus*) en el Golfo de California con base en características de su hábitat. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 82 pp.

De Silva Dávila, R. 1997. Abundancia y distribución de los eufáusidos y producción

larvariade *Nyctiphanes simplex Hansen*, en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 115 pp.

Díaz, G. C. F. 2006. Abundancia y movimientos del rorcual común, *Balenoptera physalus*, en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 48 pp.

Dizón, A. E., C. A. Lux, R. G. LeDuc, J. R. Urbán, M. Henshaw y Jr. R. L. Brownell. 1995. An interim phylogenetic analysis of Sei and Brydes whale mitochondrial DNA control region sequences. Research Gate. SC/47/NP/23.

Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R. J. Hijmans, F. Huettman, J. R. Leathwick, A. Lehmann, J. Lin, G. Lohmann, B. A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J. Mc. Overton, A. T. Peterson, S. J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, E. Schapire, J. Soberón, S. Willimas, M. S. Wisz y N. E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of specie´s distribution from occurrence data. Ecography. (29): 129-151 pp.

Enríquez-Paredes, L. 1996. Ocurrencia, movimientos, estructura social y tamaño de las agregaciones de rorcual común *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758) en el Golfo de California, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 59 pp.

Ersts, P. J. y H. C. Rosenbaum. 2006. Habitat preference reflects social organization of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) on a wintering ground. J. Zool. Lond. 260: 337-347 pp.

Espinosa-Carreón, L. y J.E. Valdez-Holguín. 1997. Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. Ecología Aplicada 6: 84-92 pp.

Etnoyer, P., D. Canny, B. Mate y L. Morgan. 2004. Persistent Pelagic Habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) Ecorregion. Oceanography. 17: 90-101 pp.

Fiedler, P. C., S. B. Reilly, R. P. Hewitt, D. Demer, V. A. Philbrick, S. Smith, W. Armstrong, D. A. Croll, B. R. Tershy y B. R. Mate. 1998. Blue whale habitat and prey in the California Channel Islands. Deep-Sea Res. 45: 781-1801.

Fielding, A. H. y J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental conservation. (1): 38-49 pp.

Flores-Ramírez, S, R. J. Urbán, V. G. Villareal, J. R. Valles. 1996. Cambios espaciales y

temporales de la estructura comunitaria de los cetáceos en la Bahía de La Paz, B. C. S., México (1988-1991). Ciencias Marinas. 22: 151-173 pp.

Forcada, J. 2002. Distribution. 327-333. En: Perrin F. W., B. B. Wûrsig y J. G. M. Thewissen (Eds). Encyclopedia of Marine Mammals. Editorial ACADEMIC PRESS. Estados Unidos de América.

Forney, K.A. 2000. Environmental Models of Cetacean Abundance: Reducing Uncertainty in Population Trends. Conservation Biology. 14: 1271-1286 pp.

García-Pámanes, J., A. Trasviña-Castro, J. R. Lara-Lara y C. Bazán-Guzmán. 2011. Variaciones estacionales del flujo vertical de materia orgánica particulada en la región central del Golfo de California. Ciencias Marinas. (1): 33-49 pp.

Gaskin, D.E. 1983. The ecology of whales and dolphins. Heinemann editors. Londres. 459pp.

Gendron, D. 1990. Relación entre la abundancia de eufáusidos y de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en el Golfo de California. Tesis de maestría, Cicimar, Instituto Politécnico Nacional, La Paz. 64 pp.

Gendron, L. D. y Urbán R. J. 1993. Evidence of feeding by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Baja California breeding ground, Mexico. Marine Mammal Science. (1): 76-81 pp.

Guerrero- Ruíz M., J. Urbán-Ramírez y L. Rojas-Bracho. 2006. Las ballenas del Golfo de California. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 537 pp.

Gómez de Segura, A., P.S. Hammond, A. Cañadas y J.A. Raga. 2007. Comparing cetacean abundance estimates derived from spatial models and design-based line transect methods. Marine Ecology Progress Series. 329: 289-299 pp.

Gómez-Gallardo U., E. A. 2013. Zonas Prioritarias para la Conservación de las Ballenas en el Golfo de California: Un Enfoque Ecológico. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz. 134 pp.

Holguin, Q. E. O., M. F. J. González, M. F. Solís y P. E. F. Félix. 2008. Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. Rev. Biol. Trop. 3: 1189-1199 pp.

Hooker, K. S., H. Whitehead y S. Gowans. 1999. Marine Protected Area Design and the Spatial and Temporal Distribution of Cetaceans in a Submarine Canyon. Conservation Biology. 3: 592-602 pp.

Hoyt, E. 2011. Marine Protected Areas for Whales, Dolphins and Porpoise: A Worldwide Handbook for Cetacean Habitat Consevation and Planning. Earthscan Editor. Estados Unidos de América. 494 pp.

Jaume, S. M. S. 2004. Hábitos alimentarios del rorcual común *Balaenoptera physalus* en el Golfo de California mediante el uso de isótopos estables de nitrógeno y carbono. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional.78 pp.

Jiménez-Illescas, A.R., M. Obeso-Nieblas y Salas-de León D. A. 1997. Oceanografía física de La Bahía de La Paz, B. C. S. En: La Bahía de la Paz, investigación y conservación. Urbán R., J. y M. Ramírez R (Eds). UABCS-SCRIPPS. México. 345 pp.

Jiménez, L. M. E. 2006. Uso de hábitat de madres con cría y machos cantores de ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), en la región de Los Cabos, Baja California Sur, durante el invierno 2004. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 86 pp.

Johnson, H. J. y Wolman A. A. 1984. The Humpback Whale, *Megaptera novaeangliae*. Marine Fisheries Review. 4: 30-37 pp.

Kato, H. 2002 . Bryde´s whale. En: Perrin W. F., B. Wursig y J. G. M. Thewissen (Eds). Pp 171-177. Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press. Estados Unidos de América. 1414 pp.

Lanza-Espino, G. 1991. Oceanografía de los mares mexicanos. AGT Editor. México. 569 pp.

Leatherwood, S., R. R. Reeves, W. F. Perrin y W. E. Evans. 1982. Whales, dolphins and porpoises of the eastern North Pacific and adjacent Arctic waters: A guide to their identification. NOAA Technical Report, NMFS. Circular 444. 245 pp.

Leatherwood, S., R.R. Reeve, W.F. Perrin y W.E. Evans. 1988. Ballenas, delfines y marsopas del Pacífico nororiental y de las aguas árticas adyacentes: Una guía para su identificación. Comisión Interamericana del Atún Tropical (IATTC). 6: 245 pp.

Lusseau, D., R. Williams, B. Wilson, K. Grellier, T. R. Barton, P. S. Hammond y P. M. Thompson. 2004. Parallel influence of climate on behaviour of Pacific killer whales and Atlantic bottlenose dolphins. Ecology Letters. 7: 1068-1076 pp.

MacLeod, C., L. Mandleberg, C. Schweder, S. M. Bannon y G. Pierce. 2008. A

comparision of approaches for modelling the occurrence of marine animals. Hidrobiologia. 612: 21-32 pp.

Martínez-Villalba, Ma. G. 2008. Distribución y abundancia de la ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*) en aguas adyacentes a Guaymas y algunas inferencias ecológicas generales sobre esta especie en el Golfo de Calfornia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 86 pp.

McClellan, C. M., T. Brereton, F. Dell´Amico, D. G. Johns, A. C. Cucknell, S. C. Patrick, R. Penrose, V. Ridoux, J.L. Solandt, E. Stephan, S. C. Votier, R. Williams y B. Godley. 2014. Understanding the Distribution of Marine Megafauna in the English Channel Region: Identifying Key Habitats for Conservation within the Busiest Seaway on Earth. PLoS ONE. 2: e89720. doi:10.1371/journal.pone.0089720.

Medrano González, L. y J. Urbán Ramírez. 2002. La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en la Norma Oficial Mexicana 059-ECOL- 2000. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. W024. México D. F.

Merow, C., M. J. Smith y J. A. Silander Jr. 2013. A practical guide to Maxent for modeling species´ distribution: what it does, and why inputs and settings matter. Ecography: 1058-1069 pp.

Monteforte ,S. M. 2005. Ecología, biología y cultivo extensivo de la Madreperla de Calafia, *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856), y la Concha Nácar Arcoiris, *Pteria sterna* (Gould 1852) en Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. 132 pp.

Moura, A. E., N. Sillero y A. Rodríguez. 2011. Common dolphin (Delphinus delphis) habitat preferences using data from two platforms of opportunity. Acta Oecologica. 38: 24-32 pp.

Munger, M. L., D. Camacho, A. Havron, G. Campbell, J. Calambokidis, A. Douglas y J. Hildebrand. 2009. Baleen whale distribution relative to surface temperature and zooplankton abundance off southern California, 2004-2008. CalCOFI Rep. 50: 155-168 pp.

Nevárez, M. O. M., Ma. A. Z. Martínez, Ma. E. C. González, J. P. M. Santos y A. P. Valdez. 2013. Informe técnico: Captura, esfuerzo de pesca y flota en la pesquería de pelágicos menores en el Golfo de California. Programa Pelágicos Menores Guaymas. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Pesca. 1-18 pp.

Niño-Torres, C.A., J. Urbán-Ramírez y O. Vidal. 2011. Mamíferos Marinos del Golfo de California: Guía Ilustrada. Publicación Especial No. 2, Alianza-WWF México-Telcel. 192 pp.

Pardo, A. M. 2009. Condiciones fisicoquímicas y biológicas que modulan la abundancia de cetáceos sobre Cuenca Alfonso, Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 101 pp.

Pearson, R. G., Ch. J. Raxworthy, M. Nakamura y A. T. Peterson. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using geckos in Madagascar. Journal of Biogeography. 34: 102-117 pp.

Pendleton E.D., P. J. Sullivan, M. W. Brown, T. V. N. Cole, C. P. Good, Ch. A. Mayo, B. C. Monger, S. Phillips, N. R. Record y A. J. Pershing. 2012. Weekly predictions of North Atlantic right whale Eubalena glacialis habitat reveal influence of prey abundance and seasonality of habitat preference.

Perrin, F. W. y R. L. Brownell. 2009. Minke whales. *Balaenoptera acutorostrata* y *Balaenoptera bonaerensis*. 733-735. En: Perrin F. W., B. B. Wûrsig y J. G. M. Thewissen (Eds). Encyclopedia of Marine Mammals. Editorial ACADEMIC PRESS. Estados Unidos de América.

Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. A. Bastos. 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions. Princeton University Press. Estados Unidos de América. 315 pp.

Phillips, J.S., M. Dudík y R. E. Schapire. 2004. A Maximun Entropy Approach to Species Distribution Modelling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning. 655-662 pp.

Phillips, J. S., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximun entropy modeling for species geographic distributions. Ecological modelling. 190: 231-259 pp.

Phillips, J.S. y M. Dudík. 2008. Modeling fo species distributions with Maxent: new Extensions and comprehensive evaluation. Ecography. 161-175 pp.

Pirotta, E., J. Matthiopoulos, M. MacKenzie, L. Scott-Hayward y L. Rendell. 2011. Modelling Sperm whale habitat preference: a novel approach combining transect and follow data. Marine Ecology Progress Series. 436: 257-272 pp.

Rasmussen, K., D. M. Palacios, J. Calambokidis, M. T. Saborío, L. D. Rosa, E. R. Secchi,

G. H. Steiger, J. M. Allen y G. S. Stone. 2007. Southern Hemisphere humpback whales wintering off Central America: insights from water temperature into the longest mammalian migration. Biol. Lett. (3): 302-305 pp.

Redfern, J. V., M. C. Ferguson, E. A. Becker, K. D. Hyrenbach, C. Good, J. Barlow, K. Kaschner, M. Baumgartner, K. A. Forney, L. T. Ballance, P. Fauchald, P. Halpin, T. Hamazaki, A. J. Pershing, S. S. Qian, A. Read, S. B. Reilly, L. Torres y F. Werner. 2006. Techniques for cetacean-habitat modeling. Marine Ecology Progress Series. 310: 271-295 pp.

Reyes-Salinas, A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 112 pp.

Reyes-Salinas, A., Cervantes-Duarte R., Morales-Pérez R. A. y Valdez-Holguín J. E. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, B. C. S. Hidrobiológica. 2: 103-110 pp.

Rice, D. W. 1998. Marine Mammals of the World. Systematics and Distributions. Special Publication No. 4. The Society of Marine Mammalogy. 231 pp.

Rosas-Cota, J. 1977. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 metros, durante las estaciones de invierno y verano. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 19:89-106 pp.

Rubio, C. N. T. 2002. Dinámica de la estructura comunitaria de misticetos en Bahía de La Paz, B. C. S., México (1988-1995). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 33 pp.

Rice, D. W. y A. A. Wolman 1971. The life history and ecology of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). Spec. Publ. Am. Soc. Mammal 3: 1-142 pp.

Salvadeo, Ch.J. 2008. Análisis de la comunidad de odontocetos y la relación con su ambiente, en el extremo sur-occidental del Golfo de California, México (2003-2006). Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 63 pp.

Salvadeo, Ch.J., S. Flores-Ramírez, A. Gómez-Gallardo U., D. Lluch-Belda, S. Jaume-Schinkel y J. Urbán-Ramírez. 2011. El rorcual de Bryde (*Balaenoptera edeni*) en el suroeste del Golfo de California: su relación con la variabilidad del ENOS y disponibilidad de presas. Ciencias Marinas. 37: 215-225 pp.

Sánchez, F. J. O. 1996. Ecología y cultura. Política y Sociedad. 23: 51-64 pp.

Sánchez-Pacheco, J. A., A. Vázquez-Hanckin y R. De Silva-Dávila. 2001. Gray whales mid-spring feeding at Bahía de Los Angeles, Gulf of California, Mexico. Marine Mammal Science. (1): 186-191 pp.

Smith, R. C., P. Dustan, K. S. Basker y E. A. Dunlap. 1986. Distribution of cetaceans and sea-surface chlorophyll concentrations in the California Current. Marine Biology. 91: 385- 401 pp.

Smith, N. J., H. S. Grantham, N. Gales, M. C. Double, M. J. Noad y D. Paton. 2012. Identification of humpback whale breeding and calving habitat in the Great Barrier Reef. Marine Ecology Progress Series. 447: 259-272 pp.

Stevens, A. 2014. A photo-ID study of the Risso´s dolphin (*Grampus griseus*) in Welsh coast waters and the use of Maxent modelling to examine the environmental determinants of spatial and temporal distribution in the Irish Sea. MSc. Thesis Marine Biology. Bangor University. 97 pp.

Tershy, R. B., D. Breese y S. C. Strong. 1990. Abundance, Seasonal Distribution and Population Composition of Balaenopterid Whales in the Canal de ballenas, Gulf of California, Mexico. Rep. Int. Whal. Commn. (Special issue) 12: 369-375 pp.

Tershy, R.B. 1992. Body size, habitat use, and social behavior of Balaenoptera whales in the Gulf of California. Journal of Mammalogy. 73: 477-486 pp.

Thorne, L. H., D. W. Johnston, D. L. Urban, J. Tyne, L. Bejder, R. W. Baird, S. Yin, S. H. Rickards, M. H. Deakos, J. R. Mobley Jr, A. A. Pack y M. Ch. Hill. 2012. Predictive Modeling of Spinner Dolphin (*Stenella longirostris*) Resting Habitat in the Main Hawaiian Islands. PLOS ONE. 7: 1-14 pp.

Torres, L. G., T. Compton y A. Fromant. 2013. Habitat models of southern right whales, Hector´s dolphin, and killer whales in New Zealand. Niwa Taihoro Nukurangi.57 pp.

Trasviña-Castro, A., G. Gutierrez de Velasco, A. Valle-Levinson, R. González-Armas, A. Muhlia y M. A. Cosio. 2003. Hydrographic observations of the flow in the vicinity of a shallow seamount top in the Gulf of California. Estuarine Coastal and Shelf Science. 57: 149-162 pp.

Tremblay, N., J. Gómez-Gutiérrez, T. Zenteno-Savín, C. J. Robinson y L. Sánchez-Velasco. 2010. Role of oxidative stress in seasonal and daily vertical migration of three krill species in the Gulf of California. Limnol . Oceanogr. (6): 2570-2584 pp.

Troyo, V. B. 2008. Estructura comunitaria de los cetáceos en el extremo suroccidental del Golfo de California durante el 2005. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Marinas y Costeras. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 72 pp.

Ugalde-de la Cruz, A. 2008. Abundancia y tasa de supervivencia de ballenas azules en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 64 pp.

Urbán, R. J. y A. L. Aguayo. 1987. Spatial and seasonal distribution of the Humpback whale, *Megaptera novaeangliae*, in the Mexican Pacific. Mar. Mamm. Sci. 3:333-344 pp.

Urbán, R. J. y R. S. Flores. 1996. A note on Bryde´s Whales (*Balaenoptera edeni*) in the Gulf of California, Mexico. Rep. Int. Whal. Commn. (Special issue). 46: 453-457pp.

Urbán, R. J. 1997. El rorcual común *Balaenoptera physalus*, en el Golfo de California, México. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B040. México D.F.

Urbán, J., A. Gómez-Gallardo, M. Palmeros y G. Velázquez. 1997. Los Mamíferos Marinos de la Bahía de La Paz, B.C.S. En: Urbán R., y M. Ramírez (Eds). La Bahía de La Paz, investigación y conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS.

Urbán, R. J. 2003. Los cetáceos, el Golfo de California y el refugio para la protección de las grandes ballenas en México. XXVIII Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, Bahía Banderas, Nayarit.

Urbán, R.J. y E. A. Gómez-Gallardo. 2008. Manejo y Conservación de Ballenas en las Regiones Prioritarias de Loreto, La Paz y Los Cabos, Golfo de California. Informe Técnico Final.

Urbán, R. J. G. H. Cárdenas, A. U. Gómez-Gallardo. 2012. Los cetáceos de la costa suroccidental del Golfo de California. En: P. Ganster, O. P. Arizpe y A. Ivanova (Eds). Los Cabos: Perspectiva de un Paraíso Natural y Turístico. San Diego State University Press. Estados Unidos de América. ISBN: 978-1-938537-01-1.

Valdéz-Holguín, J. E. y J. R. Lara-Lara. 1983. Productividad primaria en el Golfo de California efectos del evento El Niño 1982-1983. Ciencias Marinas. 13: 34-50 pp.

Valle, R. J. B. 2016. Circulación Costera hacia el polo en el sur de Baja California. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 79 pp.

Vidal, O. L. T. Findley y S. Leatherwood. 1993. Annoted Checklist of the Marine Mammals of the Gulf of California. Proceedings of the San Diego Socierty of Natural History. 28: 9-10 pp.

Velázquez-Abunader, J. I. 2005. Biología reproductiva de la langosta azul Panulirus

inflatus (Bouvier, 1985) en el parque nacional “Bahía de Loreto”, Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (CICIMAR), Instituto Politécnico Nacional. 90 pp.

Whitehead, H. y M. J. Moore. 1982. Distribution and movements of West Indian humpback whales in winter. Canadian Journal of Zoology. 9: 2203-2211 pp.

Yañez, E. R., V. Catasti., Ma. A. B. Barbieri y G. S. Böhm. 1996. Relaciones entre la distribución de recursos pelágicos pequeños y la temperatura superficial del mar registrada con satélites NOAA en la zona central de Chile. Investigaciones Marinas. 24: 107-122 pp.

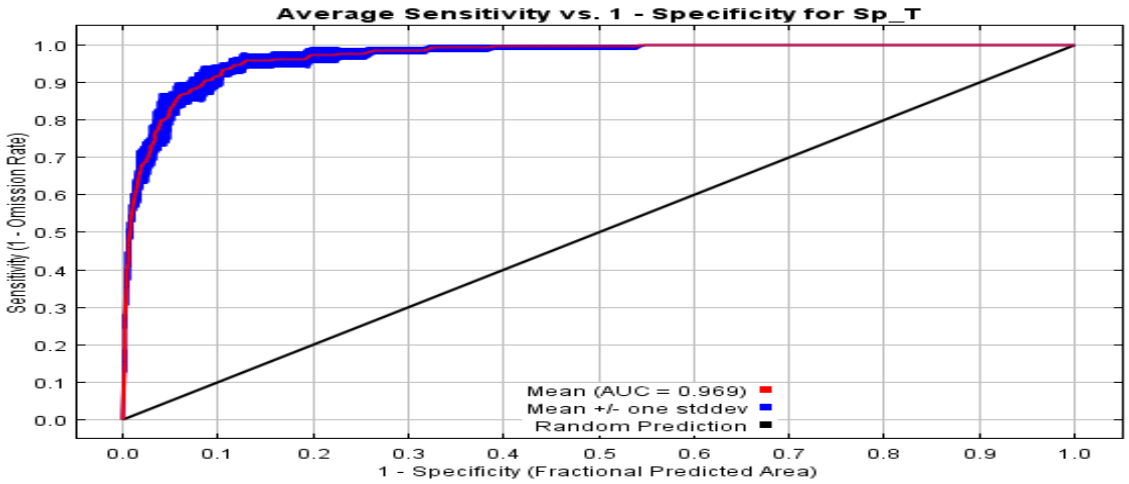
Yáñez-Arenas, C., S. Mandujano, E. Martínez-Meyer, A. Pérez-Arteaga y A. González-Zamora. 2012. Modelación de la distribución potencial del cambio de uso de suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México. Therya. 3: 67-79 pp.

Zavala-Hernández, V.I. 1996. Distribución de *Balaenoptera musculus y Balaenoptera physalus* en función de algunos factores físicos, en la zona comprendida entre Bahía Magdalena y Punta Concepción, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. ENEP-Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 57 pp.

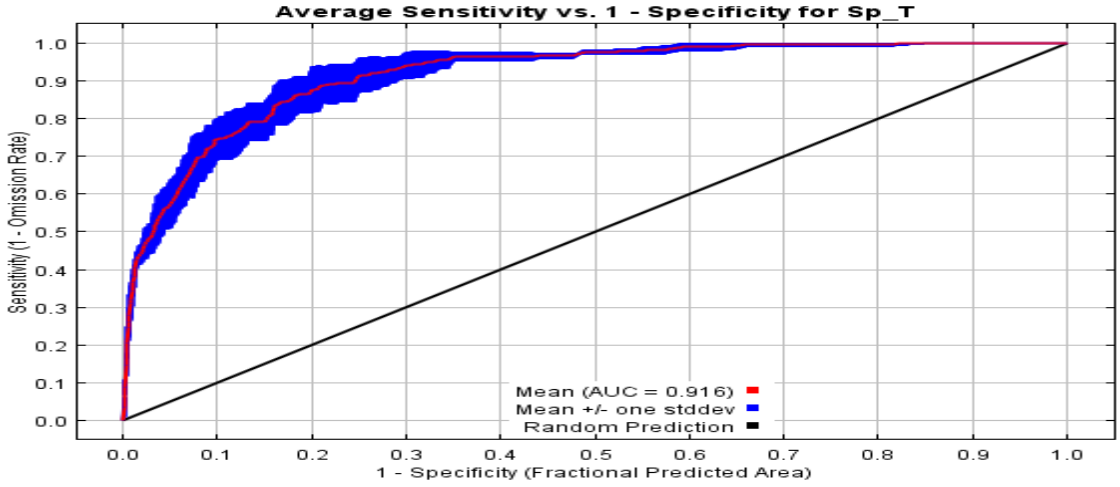
ANEXO I. RENDIMIENTO DE LOS MODELOS AUC

Tránsito

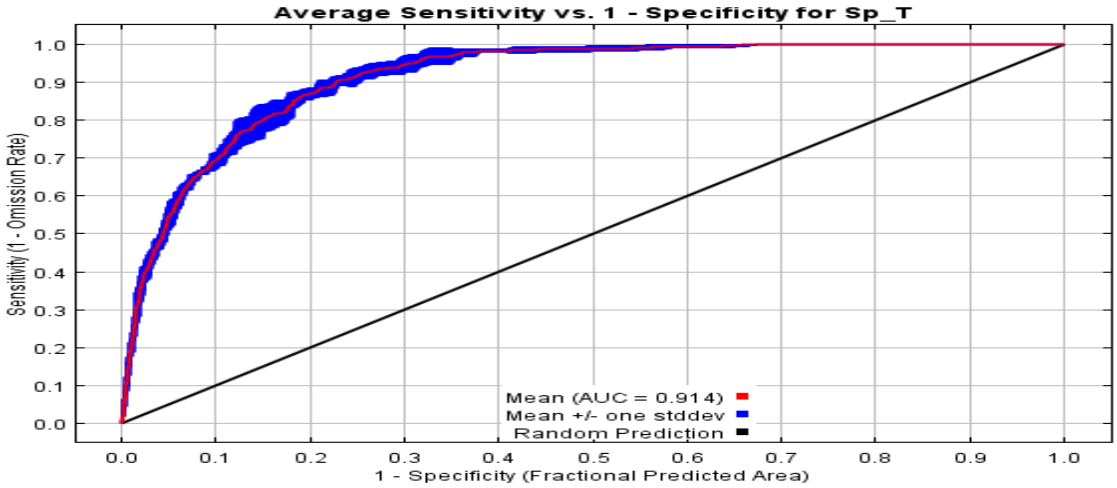
Balaenoptera physalus



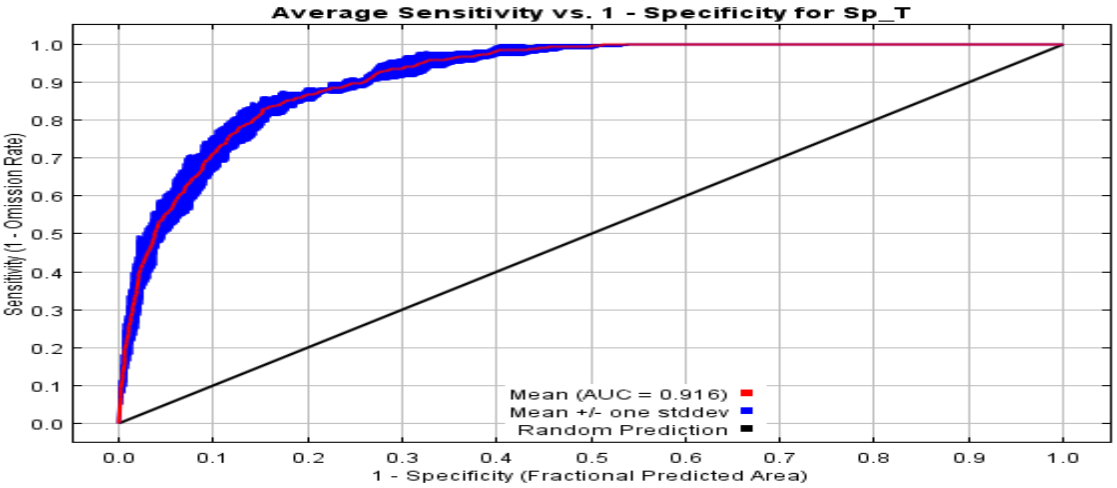
Balaenoptera edeni



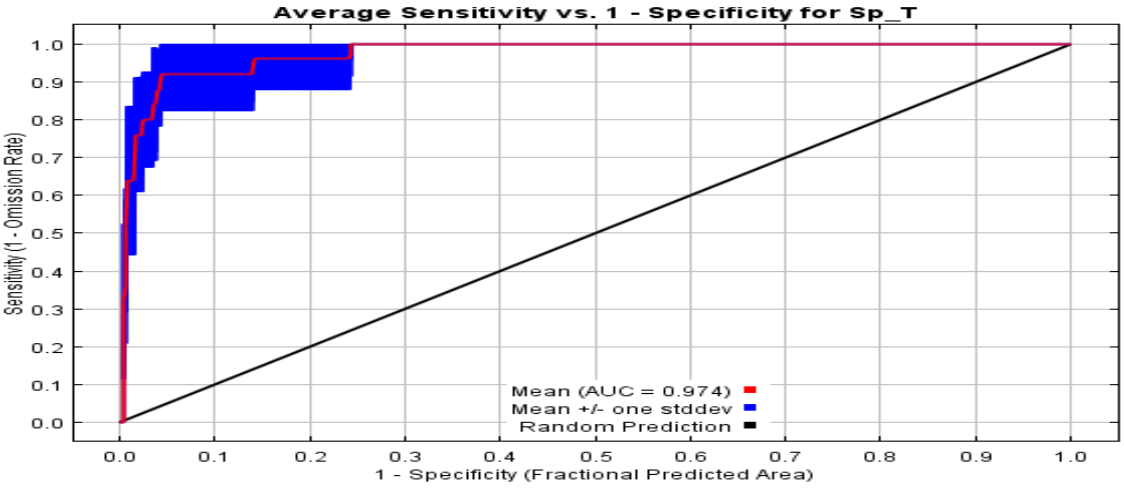
Balaenoptera musuculus



Megaptera novaeangliae

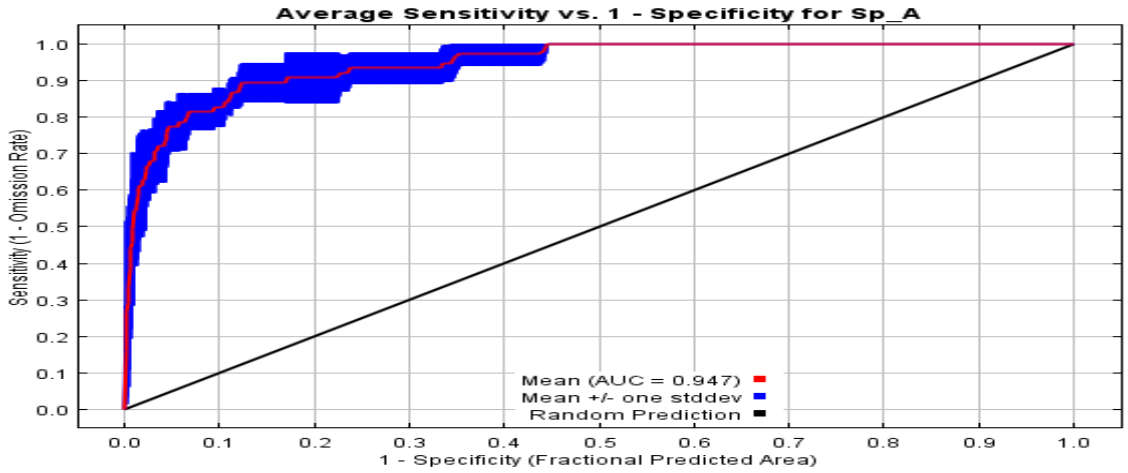


Eschrichtius robustus

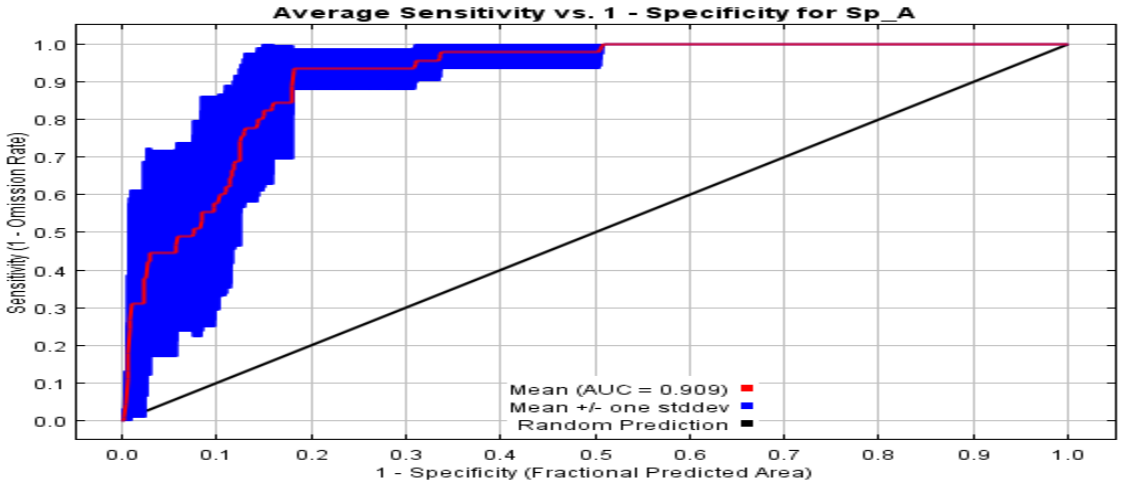


Alimentación

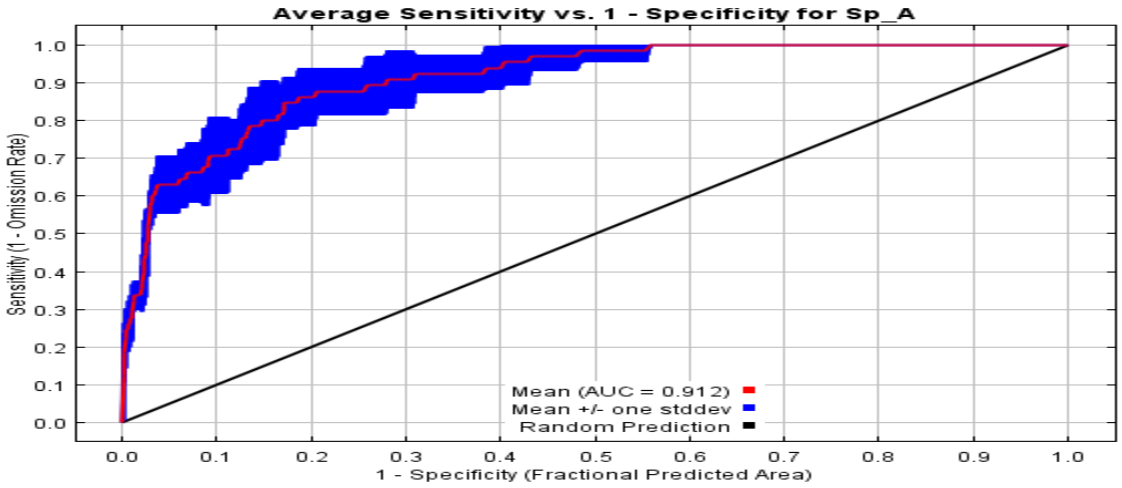
Balaenoptera physalus



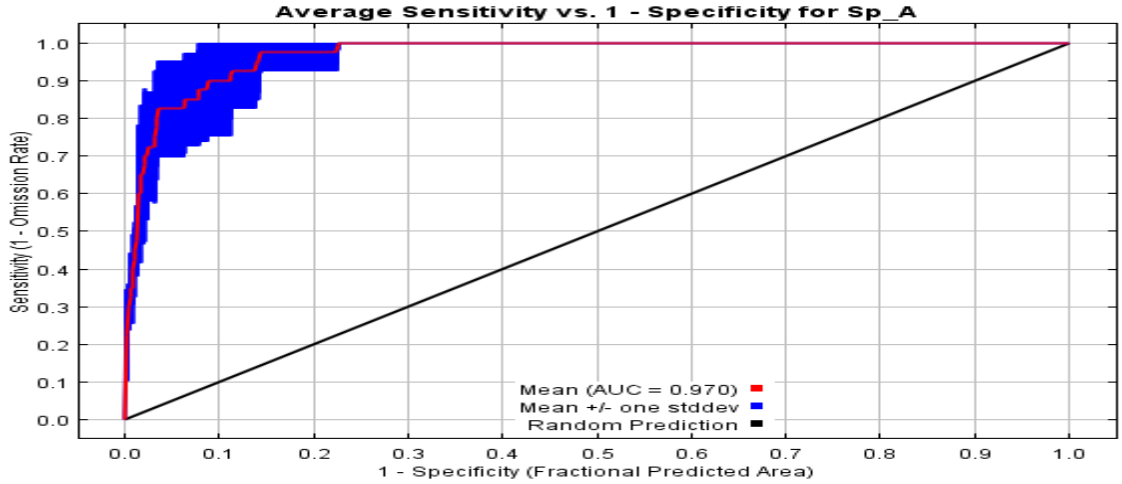
Balaenoptera edeni



Balaenoptera musculus

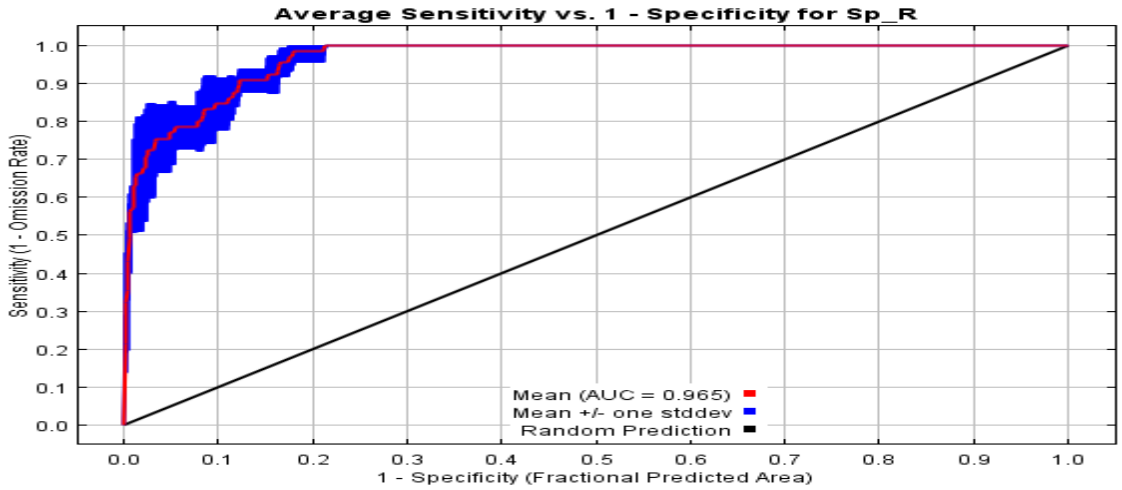


Megaptera novaeangliae

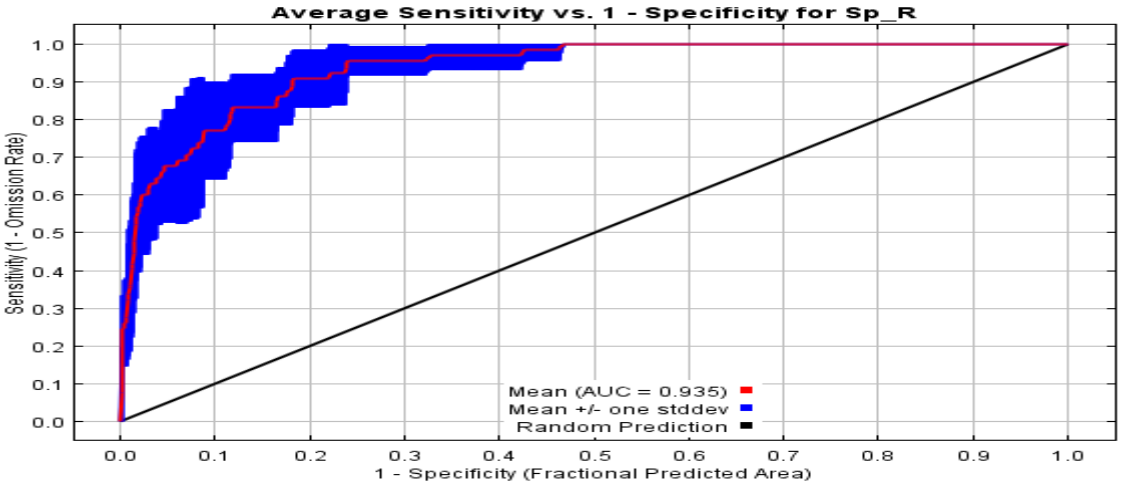


Crianza

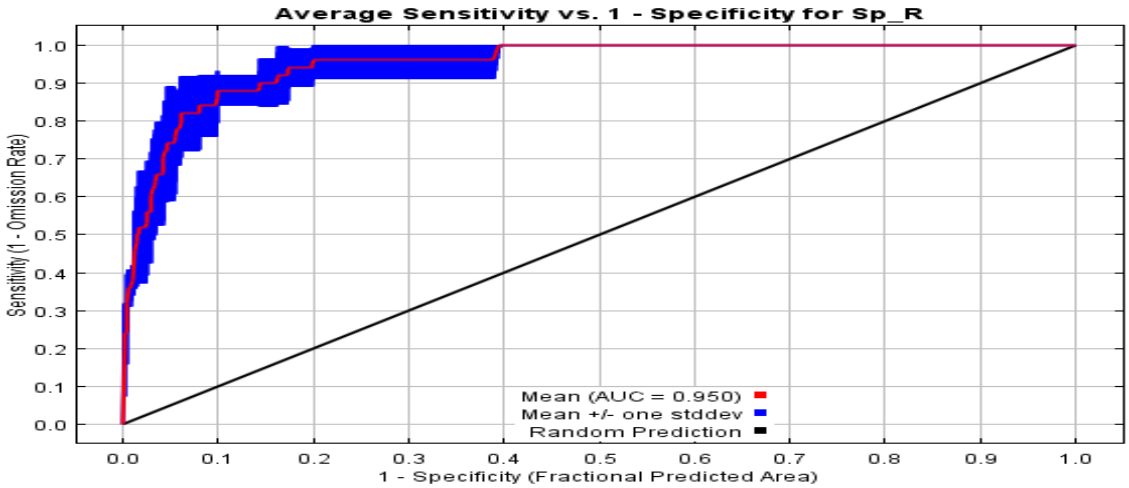
Balaenoptera physalus



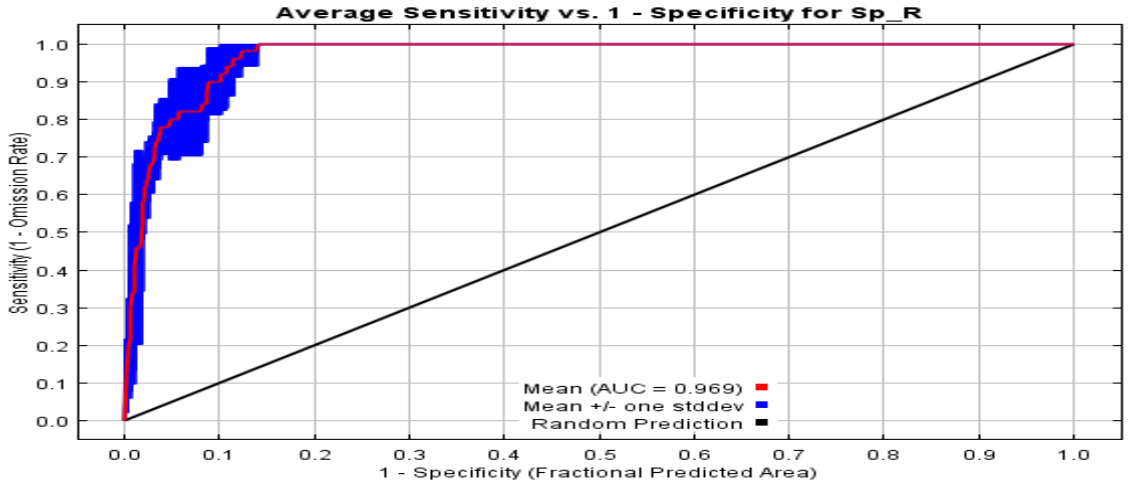
Balaenoptera edeni



Balaenoptera musculus

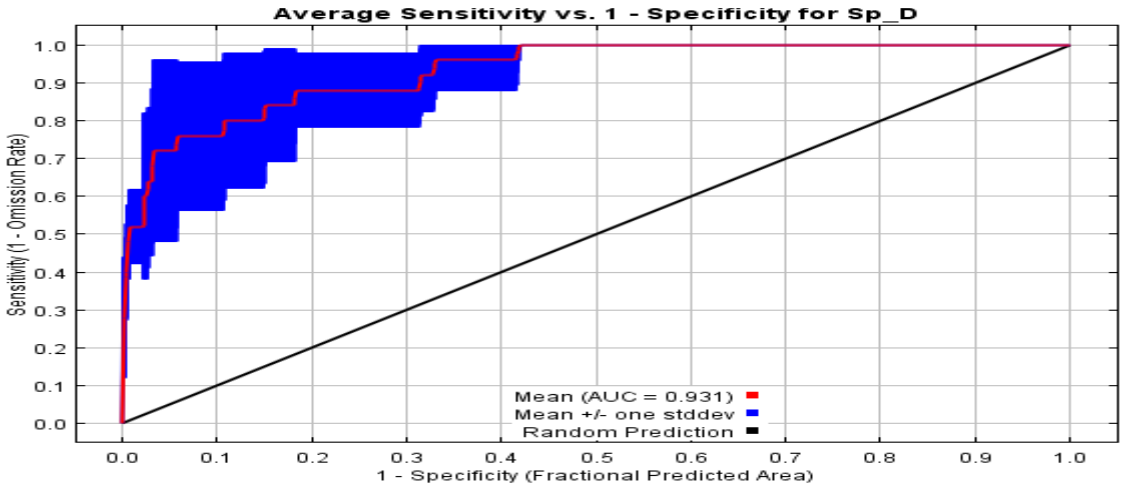


Megaptera novaeangliae



Descanso

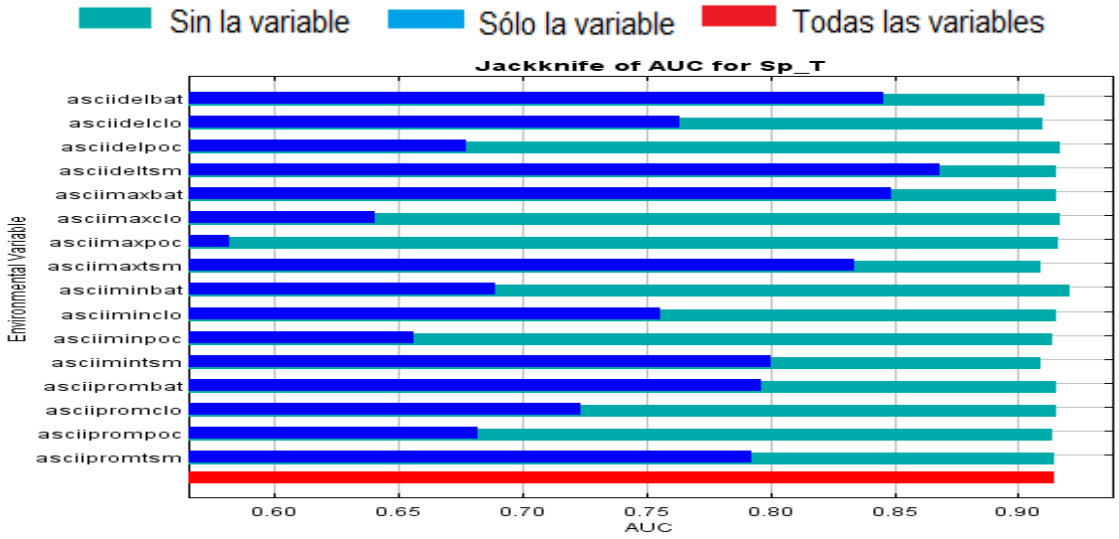
Balaenoptera musculus



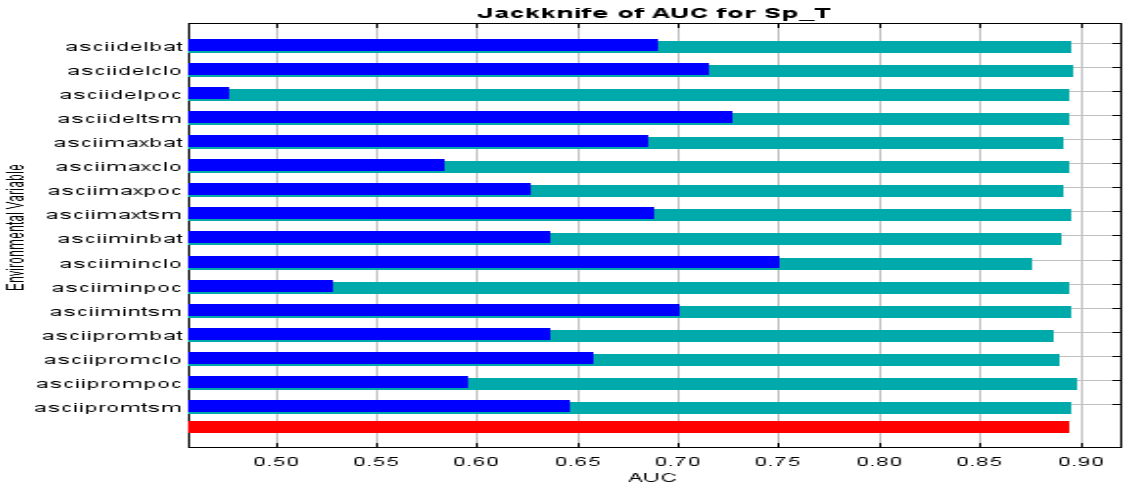
ANEXO II. CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES. JACKKNIFE

Tránsito

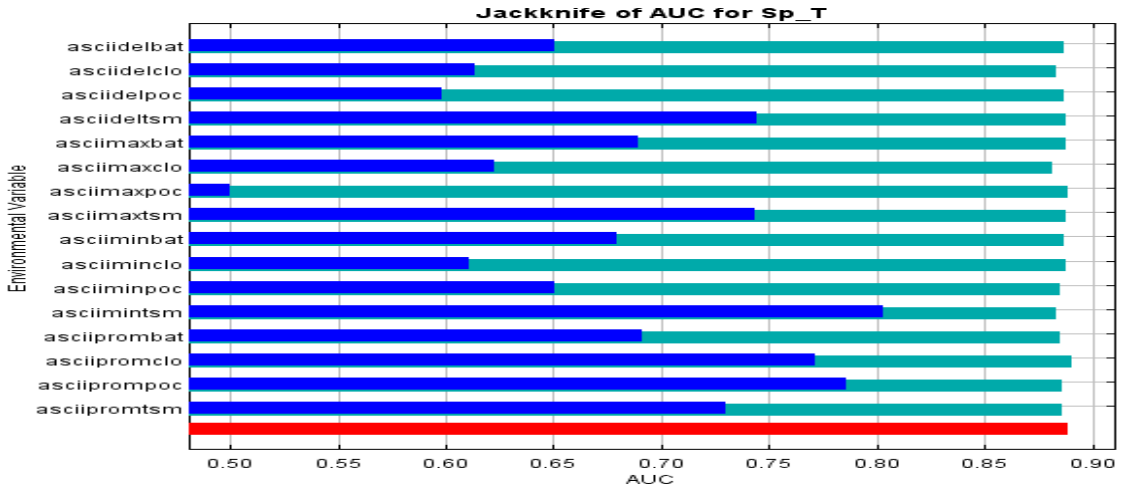
Balaenoptera physalus



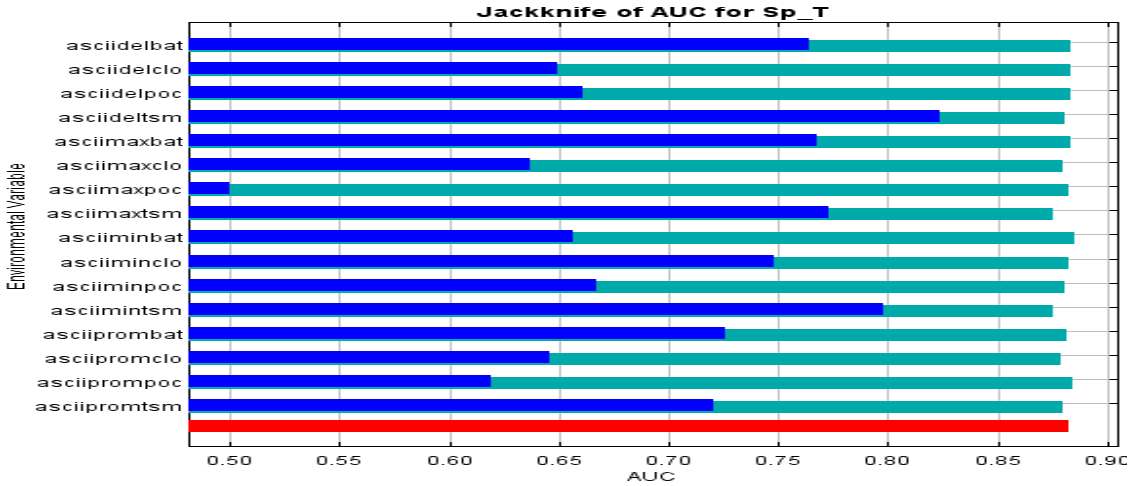
Balaenoptera edeni



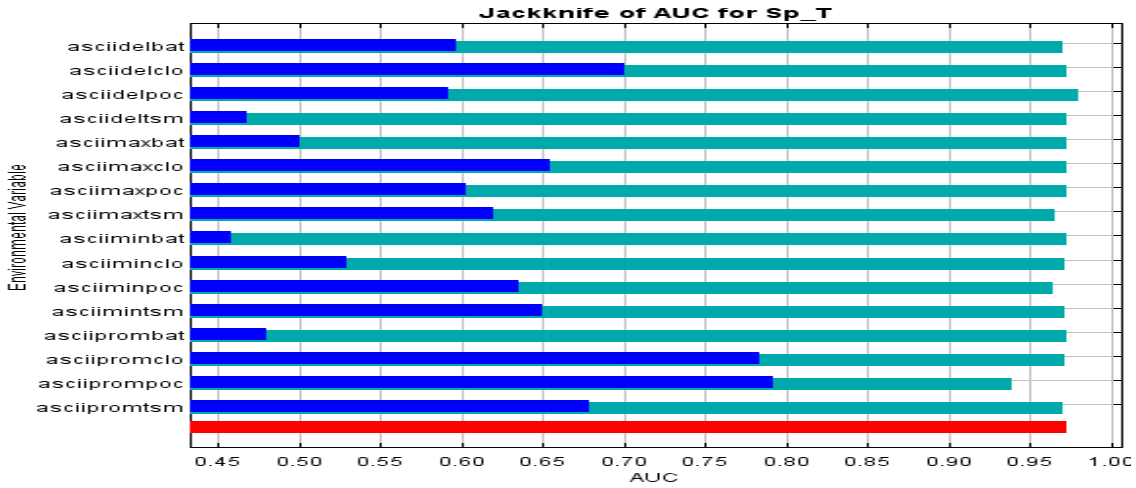
Balaenoptera musculus



Megaptera novaeangliae

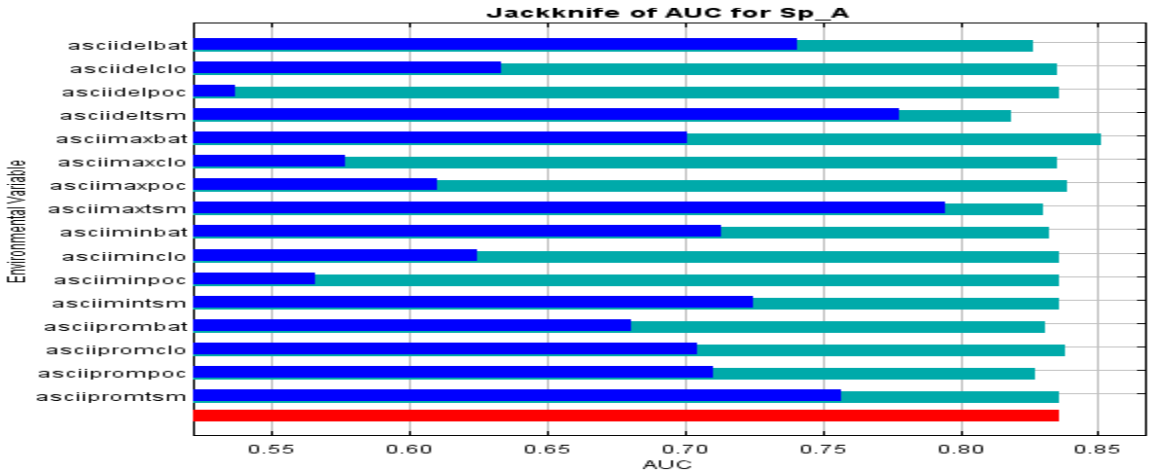


Eschrichtius robustus

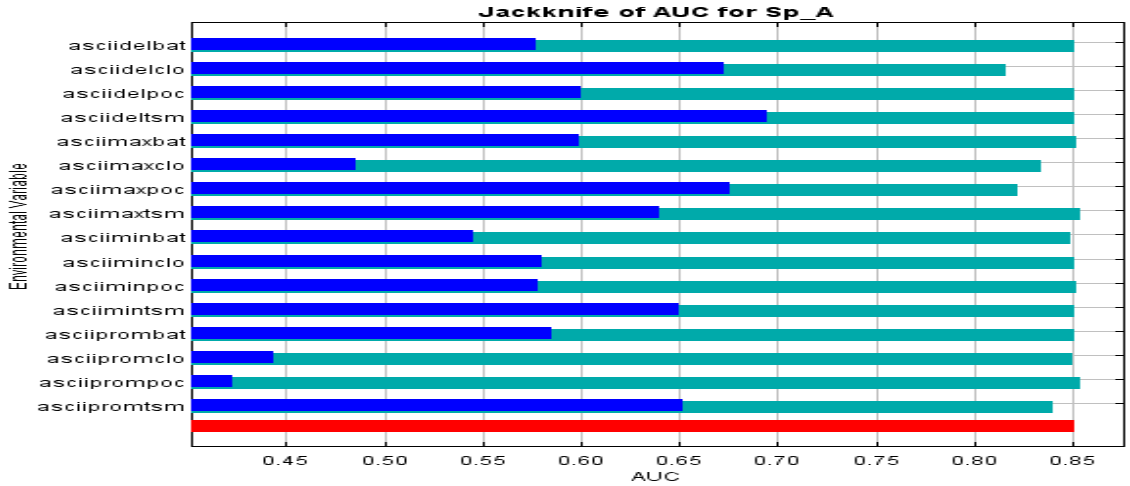


Alimentación

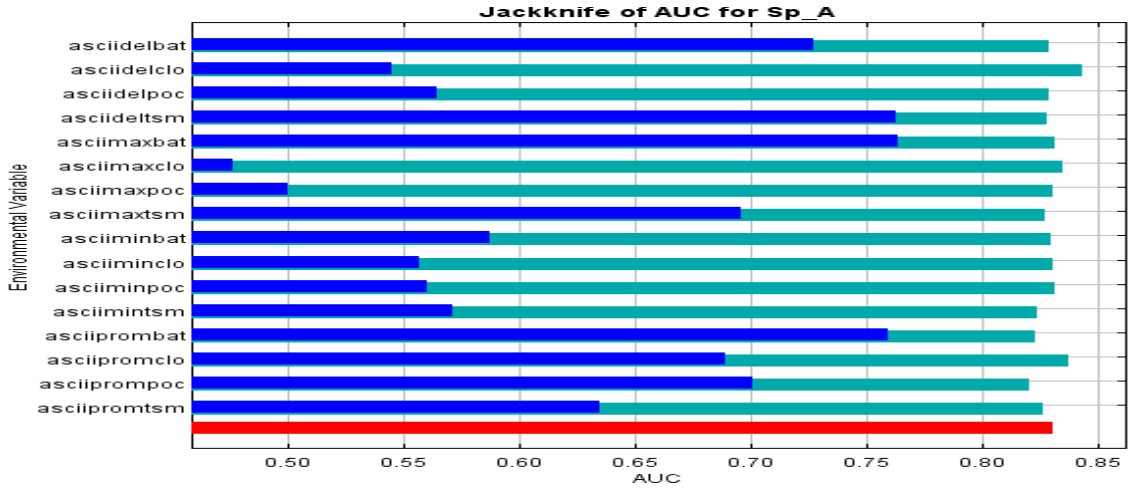
Balaenoptera physalus



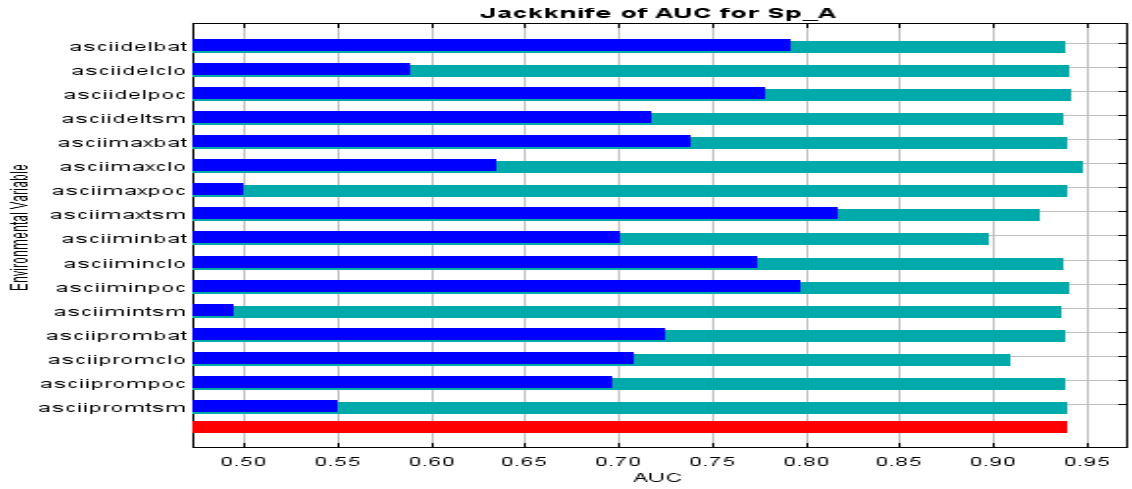
Balaenoptera edeni



Balaenoptera musculus

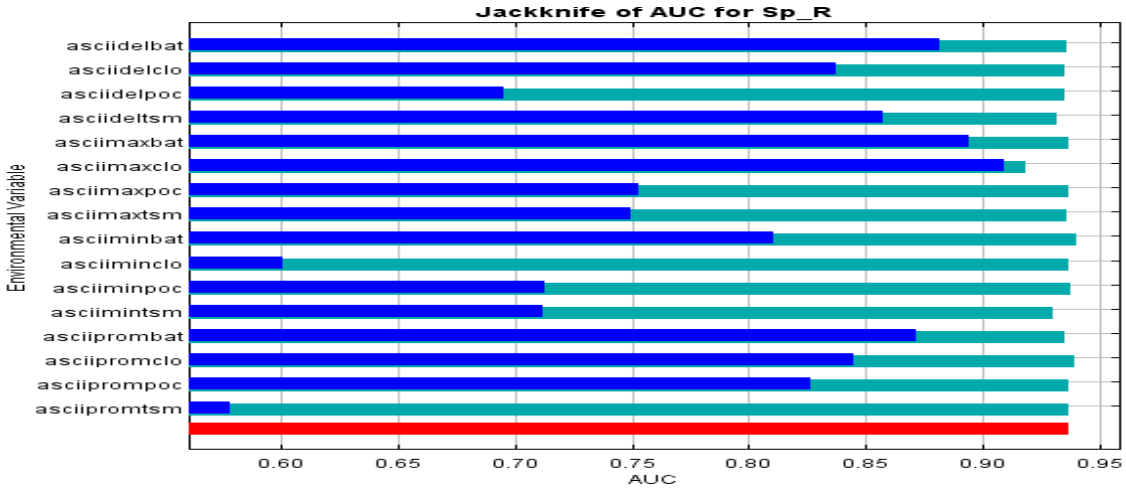


Megaptera novaeangliae

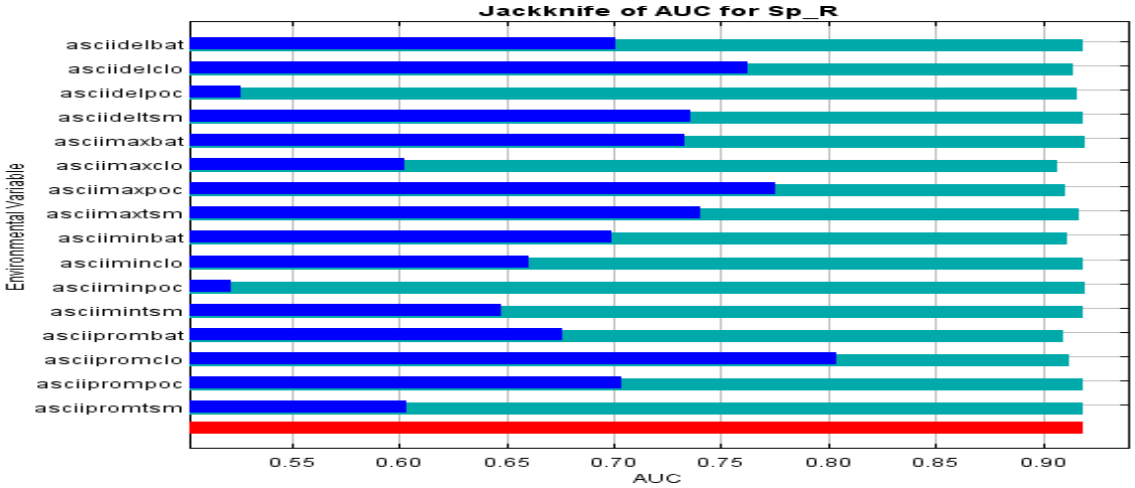


Crianza

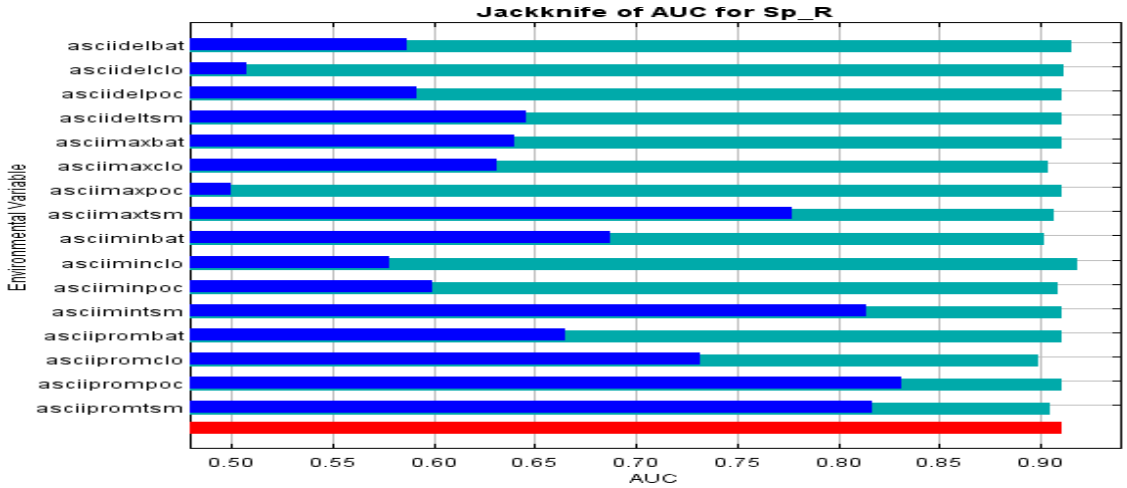
Balaenoptera physalus



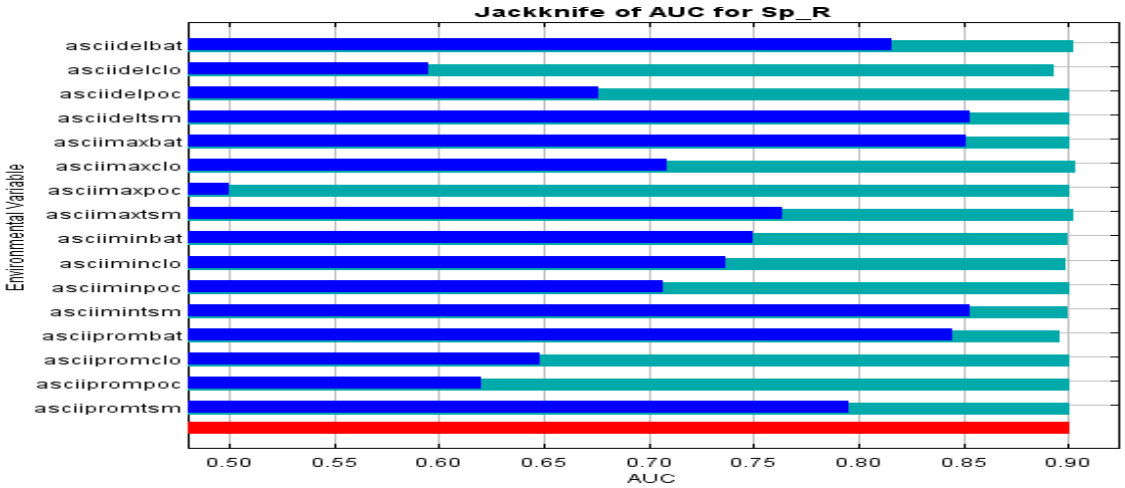
Balaenoptera edeni

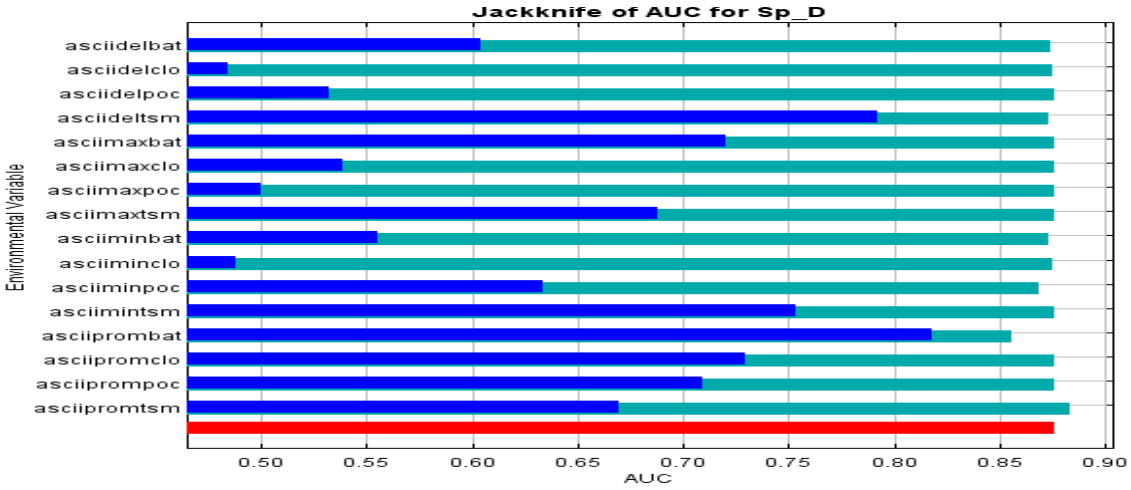


Balaenoptera musculus



Megaptera novaeangliae



Descanso

Balaenoptera musculus