



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DINÁMICA
DURANTE LA TEMPORADA DE AVISTAMIENTO DE
TIBURÓN BALLENA (*Rhincodon typus*) EN LA BAHÍA DE LA
PAZ, B.C.S.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestra en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

Arleth Arely Duarte González

La Paz, Baja California Sur, marzo de 2025.

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 13:17 horas del día 04 del Mes de marzo del 2025, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Determinación de la capacidad de carga dinámica durante la temporada de avistamiento de tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en la Bahía de La Paz, B.C.S, México."

Presentada por el alumno:

Arleth Arely Duarte González

Aspirante al Grado de MAESTRA EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Biología marina**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

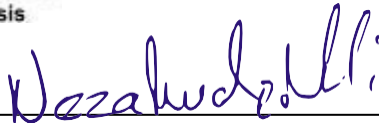
LA COMISIÓN REVISORA



Dr. Raúl O. Martínez Rincón
Co-Director de Tesis



Dr. Fernando Aranceta Garza
Co-Director de Tesis



Dr. Nezahualpilli Tovar Lee
Co-Tutor



Dra. Alejandra Nieto Garibay,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos.



La Paz, Baja California Sur, a 03 de marzo de 2025.

Los miembros del comité de tesis de la estudiante Arleth Arely Duarte González del Programa de Maestría en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
 - Filtros utilizados:
Excluir citas, bibliografía y coincidencias menores (menos de 10 palabras).
 - Porcentajes de similitud:
13%
- Se muestra captura de pantalla



Página 2 of 79 - Descripción general de integridad

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas,

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Directores, Co-directores

Dr. Fernando Aranceta Garza

Dr. Raúl O. Martínez Rincón

Estudiante

Arleth Arely Duarte González

Personal técnico de asesoría en el análisis

Lic. Ana María Talamantes Cota

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Fernando Aranceta Garza
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Director de Tesis

Dr. Nezahualpilli Tovar Lee
Comité de Representante de Permisarios Turísticos del Tiburón ballena en Bahía de La Paz.
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Fernando Aranceta Garza
Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón
Dr. Nezahualpilli Tovar Lee

Jurado de Examen

Dr. Fernando Aranceta Garza
Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón
Dr. Nezahualpilli Tovar Lee

Suplente

Dr. Víctor Manuel Muro Torres

Resumen

El tiburón ballena (*Rhincodon typus*) es una especie protegida que se encuentra en Mares Mexicanos, y su aprovechamiento es a través de la observación y nado, lo que representa una fuente de ingresos para los prestadores de servicios turísticos locales. No obstante, la presión turística y la variabilidad estacional en la abundancia del tiburón ballena (octubre a abril), ha llegado a generar discusiones sobre la actualización de las medidas de manejo que regulan la actividad, basada en una capacidad de carga fija independiente de la abundancia intra-anual del recurso. Es por eso por lo que el objetivo del presente estudio es proponer una capacidad de carga dinámica en función de la abundancia estacional del tiburón ballena. Para lograr esto, se realizó un análisis de la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la Bahía de La Paz, en el cual se analizó el comportamiento de la flota turística, la distribución espacial, porcentaje de tiburones lesionados y los excesos de velocidad durante las temporadas de 2020 a 2023. Después, se realizó un análisis histórico sobre la abundancia del tiburón ballena de 2004 a 2024 y sus relaciones ambientales con la temperatura superficial del mar y clorofila-a. Finalmente, se elaboró un modelo de capacidad de carga (CC) dinámica considerando y modificando a Cifuentes (1992), determinando la CC física, CC real y CC efectiva, en función de la abundancia promedio observada de tiburones por mes y la entrada de embarcaciones. La CC física se basó en la abundancia de los tiburones en la zona de observación, donde la entrada de embarcaciones se modeló considerando la incertidumbre en la agregación espacial del tiburón respecto al esfuerzo turístico, obteniendo tres escenarios considerando la proporción embarcación – tiburón (1:1, 1:2, 1:3). La CC real se ajustó con las relaciones ambientales con el tiburón, y la CC efectiva considera factores de corrección en función de los excesos de velocidad y lesiones actualizados por mes o temporada. Este estudio contribuirá hacia la transición de un manejo sostenible y dinámico del esfuerzo turístico en actividades no extractivas como son la observación y nado a la megafauna en México.

Palabras Clave: Tiburón ballena, unidad de esfuerzo, capacidad de carga, dinámica.

ORCID: 0009-0000-2104-9266

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis

Dr. Fernando Aranceta Garza

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Summary

The whale shark (*Rhincodon typus*) is a protected species in Mexican waters, and its exploitation through observation and swimming is a source of income for local tourism service providers. However, tourism pressure and the seasonal variability of whale shark abundance (October to April) have led to discussions about updating the management measures that regulate this activity, based on a fixed carrying capacity independent of the intra-annual abundance of the resource. Therefore, the aim of this study is to propose a dynamic carrying capacity based on the seasonal abundance of the whale shark. To achieve this, an analysis of the whale shark watching and swimming activity in the Bay of La Paz was carried out, analysing the behaviour of the tourist fleet, the spatial distribution, the percentage of injured sharks and speeding during the 2020 to 2023 seasons. Then, a historical analysis of whale shark abundance from 2004 to 2024 and its environmental relationships with sea surface temperature and chlorophyll-a was carried out. Finally, a dynamic carrying capacity (CC) model was developed by considering and modifying Cifuentes (1992) to determine the physical PCC, the real RCC and the effective ECC, based on the average observed abundance of sharks per month and the entry of vessels. The physical FCC was based on shark abundance in the observation area, where vessel entry was modelled considering uncertainty in shark spatial aggregation with respect to tourist effort, yielding three scenarios considering the vessel-shark ratio (1:1, 1:2, 1:3). The RCC was adjusted for environmental shark ratios, and the effective ECC considers correction factors for speed and injury exceedances updated by month or season. This study will contribute towards the transition to sustainable and dynamic management of tourism effort in non-extractive activities such as megafauna watching and swimming in Mexico.

Keywords: Whale shark, unit of effort, carrying capacity, dynamics.

ORCID: 0009-0000-2104-9266

Vo.Bo. Co-Directores de Tesis

Dr. Fernando Aranceta Garza

Dr. Raúl Octavio Martínez Rincón

Dedicatoria

Por y para Aítana, una constante en esta aventura.

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en esta destacada institución.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo otorgado a través de la beca con. CVU: 1243700.

Al equipo de la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del CIBNOR por su calidad y calidez a la hora de resolver mis dudas en esta odisea.

A mi Co- Director de Tesis el Dr. Fernando Aranceta Garza por las incontables horas de asesoría, su tiempo, su paciencia, su calidez humana y ánimo durante el desarrollo de este proyecto.

A mi Co- Director de tesis el Dr. Raúl O. Martínez Rincón por su guía invaluable apoyo, su paciencia y su motivación constante a lo largo de este proyecto.

A mi Co-Tutor de Tesis el Dr. Nezahualpilli Tovar Lee por su disposición y apoyo con este proyecto.

A la Mtra. Dilia Rebeca Meza Castro por su apoyo fundamental en la obtención y respaldo de los datos que sustentan esta tesis.

Al Comité de Prestadores de Servicios Turísticos de la Bahía de La Paz, B.C.S. por su colaboración en la ejecución de este proyecto.

A Tiburón Ballena México por brindarme datos clave para sustentar este proyecto.

A mis padres, mi hermana Danae, mi primo favorito Alan y mi mejor amiga y comadre Sara, por ser mi soporte y mi más grande red de apoyo.

A mis compañeros de Maestría: Víctor, Jahdai, Eloy y Memo, gracias por compartir tiempo, espacio y risas en el trayecto.

A los tiburoncitos ballena por ser mi tótem.

Y, por último, pero no menos importante, a Aitanita la luz de mi vida.

Sin el apoyo de este equipo multidisciplinario, esta tesis no sería posible. ¡Infinitas gracias!

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Descripción de la operatividad	5
2.2 Capacidad de carga	8
2.3 Capacidad de carga física (CCF)	8
2.4 Capacidad de carga real (CCR)	9
2.5 Capacidad de carga efectiva (CCE)	10
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. HIPÓTESIS	13
5. OBJETIVOS	14
5.1 Objetivo general	14
5.2 Objetivos particulares	14
6. MATERIAL Y MÉTODOS	15
6.1 Área de estudio	15
6.1.1 Área de Refugio Bahía de La Paz	15
6.1.2 La Bahía de La Paz	15
6.2 Caracterización espaciotemporal de las unidades de esfuerzo involucradas en la actividad de nado con el tiburón ballena 2020 a 2023	17
6.3 Propuesta de modelo para estimar la capacidad de carga dinámica de la actividad de observación y/o nado con tiburón ballena	18
6.3.1 Capacidad de carga física (CCF)	19
6.3.2 Capacidad de carga real (CCR)	20
6.3.3 Capacidad de carga efectiva (CCE)	22
6.3.4 Comparación con capacidad de carga 2023	23
7. RESULTADOS	24
7.1 Caracterización espaciotemporal de las unidades de esfuerzo involucradas en la actividad de nado con el tiburón ballena 2020 a 2023	24
7.2 Caracterización del cálculo de capacidad de carga	35
7.2.1 Capacidad de carga física (CCF)	35
7.2.2 Capacidad de carga real (CCR)	39
7.2.2.1 Factor de corrección de las anomalías de la temperatura superficial del mar	39
7.2.2.2 Factor de corrección de las anomalías de la concentración de clorofila-a	41
7.2.3 Capacidad de carga real (CCE)	42
8. DISCUSIÓN	44
8.1 Unidades de esfuerzo	44

8.2 Modelo de estimación de la Capacidad de carga	46
8.3 Estrategias de operación en la flota	50
9. CONCLUSIONES	52
9.1 Recomendaciones	52
10. LITERATURA CITADA	54
11. ANEXOS	58
Anexo A. Distancia de observación a bordo (5 m) y distancia de espera (50 m) para embarcaciones que realizan la actividad de observación y nado con Tiburón Ballena (<i>Rhincodon typus</i>), (SEMARNAT, 2019).....	58
Anexo B. Distancia a la embarcación para la realización de la actividad de nado con Tiburón Ballena (<i>Rhincodon typus</i>), (SEMARNAT, 2019).....	59
Anexo C. Distancias de nado con relación al Tiburón Ballena (<i>Rhincodon typus</i>), (SEMARNAT, 2019).....	60

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del Área de Refugio Bahía de La Paz para <i>Rhincodon typus</i> con su zonificación	15
Figura 2. Número de pasajeros por mes en la actividad de observación y nado con tiburón ballena por temporada dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.	26
Figura 3. Número mínimo, promedio y máximo de pasajeros registrados por embarcación y agrupadas mes y temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.	27
Figura 4. Variación mensual de pasajeros por embarcación y agrupadas mes y temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz. Línea horizontal = mediana; Caja = Primer y tercer cuartil, respectivamente; líneas horizontales = Mínimos y máximos, respectivamente en ausencia de valores extremos (puntos).	28
Figura 5. Número total de pasajeros diarios por mes y temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la Bahía de La Paz.	29
Figura 6. Número total de embarcaciones promedio por mes que operaron en la zona I por temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.	30
Figura 7. Número de viajes promedio por día y mes en la temporada 2020-2021 realizados por embarcaciones dedicadas a la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de la Bahía de La Paz.	31
Figura 8. Número de viajes promedio por día y mes en la temporada 2021-2022 realizados por embarcaciones dedicadas a la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de la Bahía de La Paz.	31
Figura 9. Número de viajes promedio por día y mes en la temporada 2022-2023 realizados por embarcaciones dedicadas a la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de la Bahía de La Paz.	32
Figura 10. Número de viajes totales de las embarcaciones autorizadas por temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.	33
Figura 11. Distribución espacial de la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de las temporadas 2020-2023 en la Bahía de La Paz.	35
Figura 12. Aplicación de la ecuación de capacidad de carga física usando diferentes valores de r y y . La proporción tiburones embarcaciones fue definida como 2:1. Los asteriscos rojos representan modelos con proporciones menores a 1:1, los asteriscos en negro representan proporciones mayores a 1:1.	37
Figura 13. Comparación del modelo de capacidad de carga física estimada con 3 valores del parámetro Y	38
Figura 14. Modelo de regresión lineal empleado para describir el efecto de las anomalías de la temperatura del mar y la abundancia de tiburones ballena en el periodo 2004–2024.	40
Figura 15. Modelo de regresión lineal empleado para describir el efecto de las anomalías de la concentración de clorofila- a (C $_{la}$) y la abundancia de tiburones ballena en el periodo 2004 – 2024.	41
Figura 16. Comparación del modelo de capacidad de carga efectiva estimada con 2 valores de los parámetros % Lesiones y % Excesos de velocidad.	43

Lista de tablas

Tabla 1. Zonas del área de refugio de tiburón ballena en La Bahía de La Paz.	6
Tabla 2. Descripción de la actividad para el aprovechamiento no extractivo de tiburón ballena en la Bahía de La Paz para la temporada.....	7
Tabla 3. Descripción de las diferentes unidades de esfuerzo a evaluar.	18
Tabla 4. Inicio, fin, duración (días) de las temporadas de observación y nado con tiburón ballena en la Bahía de La Paz.	24
Tabla 5. Unidades de esfuerzo medidas en la actividad de observación y nado con tiburón ballena por temporada en la Bahía de La Paz.	25
Tabla 6. Porcentaje de ocupación de la zona de observación y nado con tiburón ballena en la zona I para las temporadas 2020-2023.....	34
Tabla 7. Capacidad de carga física estimada con 3 valores del parámetro γ . TB = Abundancia del tiburón ballena.	39
Tabla 8. Factor de corrección para las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM).40	
Tabla 9. Factor de corrección para las anomalías de la clorofila-a (ACLA).....	42

1. INTRODUCCIÓN

El tiburón ballena (*Rhincodon typus*) es el pez más grande del mundo (Cárdenas *et al.*, 2019), con longitudes que pueden alcanzar hasta 20 metros. Su alimentación es por método de filtración, se alimentan de zooplancton, copépodos y quetognatos (Whitehead *et al.*, 2020). Esta especie de tiburón es epipelágica, la cual realiza migraciones extensas en busca de áreas con alta productividad biológica. Su distribución es cosmopolita, habitando la mayoría de los océanos (Sequeira *et al.*, 2012).

El tiburón ballena es una especie bajo protección internacional por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), que la clasifica como especie "Amenazada" en su Lista Roja. También está protegida por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) bajo el Apéndice II, y en México se encuentra catalogada como Amenazada por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

A nivel nacional, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) considera al tiburón ballena una especie prioritaria, y la NOM-171-SEMARNAT-2018 establece disposiciones para su aprovechamiento no extractivo. Además, el Reglamento General de Vida Silvestre y la NOM-029-PESC-2006 implementan estrategias específicas para proteger a las especies vulnerables, incluyendo al tiburón ballena, prohibiendo su pesca directa y promoviendo la liberación de ejemplares capturados incidentalmente y regulando el uso bajo esquemas de no extracción de ejemplares y derivados.

En México el tiburón ballena se encuentra en el Caribe Mexicano, en lugares como el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano y la Reserva de la Biosfera Tiburón Ballena. En el Golfo de California, su presencia es registrada en la Reserva de la Biosfera Bahía de Los Ángeles, el Canal de Ballenas, Salsipuedes y el Área de Refugio del Tiburón Ballena en la Bahía de La Paz. Además, en el pacífico mexicano se registran avistamientos en San Blas, Nayarit, aunque no está asociado con un manejo formal, excepto por el permiso regulatorio de la SEMARNAT (Ramírez Macías *et al.*, 2016). Estas zonas representan importantes hábitats de alimentación y agregación estacional, muchas de las cuales se encuentran bajo

esquemas de manejo que promueven el aprovechamiento no extractivo y la conservación de la especie, con actividades como el turismo sustentable y el monitoreo biológico.

Tanto en el Caribe Mexicano como en el Golfo de California se realiza la actividad de aprovechamiento no extractivo, se ha convertido en una fuente significativa de ingresos para la economía local a través del turismo (Miranda-Torres *et al.*, 2021; Hernández Trejo *et al.*, 2021). Sin embargo, la alta demanda de esta actividad puede tener efectos negativos sobre la especie (Whitehead *et al.*, 2014). Es por eso por lo que se han implementado planes de manejo para asegurar tanto la protección de la especie bajo un aprovechamiento ordenado.

Específicamente en el Área de Refugio de Tiburón Ballena en la Bahía de La Paz, el plan de manejo se publicó inicialmente en 2005, y se actualiza anualmente, estableciendo una capacidad de carga fija desde 2015. Este plan permite la operación simultánea de 14 embarcaciones, de acuerdo con las recomendaciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La capacidad de carga fija se basa en factores como la abundancia del recurso, el porcentaje de lesiones, las condiciones climáticas (como el viento), el espacio disponible y el número de viajes por embarcación. Sin embargo, esta cifra fija no considera las variaciones estacionales en la abundancia del recurso, el cumplimiento de las normativas o cambios en las condiciones ambientales.

La implementación de una capacidad de carga dinámica busca como objetivo garantizar la sostenibilidad a largo plazo del recurso, mejorando las condiciones actuales para que el aprovechamiento se realice de manera más ordenada y equitativa para todos los involucrados, sin causar una sobrecarga en el recurso. Con este principio se busca adaptar y mejorar el manejo turístico a las variaciones estacionales en la abundancia del tiburón, así como en las alteraciones de las condiciones ambientales. De esta forma, se ajustará la cantidad de embarcaciones permitidas en función de parámetros específicos, lo que permitirá delimitar la presión turística, evitando la sobrecarga y mejorando la gestión sin comprometer a la especie.

Este estudio aborda el análisis de la capacidad de carga en el Área de Refugio de Tiburón Ballena en la Bahía de La Paz. Se describe la metodología utilizada para estimar la capacidad de carga dinámica de la flota de embarcaciones, considerando variables como la abundancia del tiburón, las condiciones ambientales y el cumplimiento de normativas. Además, se analizan los resultados obtenidos y se proponen estrategias de manejo para optimizar la gestión turística y garantizar la conservación del tiburón ballena.

2. ANTECEDENTES

En el año 2000, el tiburón ballena fue capturado con fines comerciales para consumo, lo que llevó a una sobreexplotación de sus poblaciones (Li *et al.*, 2012). Esta presión en la especie se reflejó en su incorporación a la lista roja de la UICN como especie vulnerable. Sin embargo, se inició un enfoque diferente hacia un uso sostenible del recurso, enfocándose en actividades como la observación y el nado.

En México, el tiburón ballena está protegido por la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la cual se prohíbe cualquier tipo de aprovechamiento extractivo (SEMARNAT, 2010). Sin embargo, se permite su aprovechamiento a través de actividades no extractivas como la observación y el nado. Estas prácticas están reguladas por la NOM-171-SEMARNAT-2018, la cual establece medidas para su protección y la conservación de su hábitat (SEMARNAT, 2019).

El tiburón ballena se distribuye particularmente en dos regiones:

- I. En el Caribe Mexicano, en Quintana Roo, se observa en: Isla Contoy, Holbox e Isla Mujeres. Los tiburones se agregan estacionalmente entre los meses de mayo y septiembre (SEMARNAT y CONANP, 2023), formando una de las más grandes concentraciones del mundo, con más de 1,100 individuos identificados (de la Parra Venegas *et al.*, 2011)
- II. En el Golfo de California, se avista tanto al norte de la península de Baja California, en Bahía de Los Ángeles, como en Baja California Sur, en la Bahía de La Paz, En Bahía de Los Ángeles, su presencia se registra de junio a diciembre, mientras que en la Bahía de La Paz se agregan de octubre a abril (Ketchum *et al.*, 2013). El Plan de Manejo para la Conservación y Aprovechamiento No Extractivo de *Rhincodon typus* a través de la observación y el nado en la Bahía de La Paz, B.C.S. (SEMARNAT, 2024a), ha establecido la actividad entre los meses de octubre y abril.

La Bahía de La Paz se caracteriza por su abundancia y productividad. Reconociendo su importancia, la SEMARNAT publicó un acuerdo en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 29 de noviembre de 2018, declarando a la Bahía de La Paz como un Área de Refugio para la protección del tiburón ballena (SEMARNAT, 2018). Esta área protegida abarca una porción del mar territorial en el estado de Baja California Sur, con una superficie total de 22,749.08 hectáreas (SEMARNAT, 2024a), la cual está dividida en tres zonas de aprovechamiento.

La temporada de observación y nado con tiburones ballena en la Bahía de La Paz tiene lugar del 1 de octubre al 30 de abril. La SEMARNAT, a través de la Dirección General de Vida Silvestre, es la entidad encargada de conceder los permisos requeridos para estas actividades. La Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es responsable de la administración del área, incluyendo los monitoreos biológicos previos al inicio de la temporada. Para que las actividades puedan comenzar, es necesario que se detecten al menos cinco tiburones (SEMARNAT, 2024a).

El número de permisos se limitaba a 83 operadores, pero esta restricción fue eliminada en la temporada 2018-2019, lo que resultó en un incremento en los permisos otorgados. Sin embargo, la limitación fue restablecida en la temporada 2022-2023 con el objetivo de controlar el número de operadores autorizados.

2.1 Descripción de la operatividad

La actividad de los permisionarios de la observación y nado con tiburón ballena en la Bahía de La Paz comienza a las 7:00 a.m., cuando se solicita turnos vía redes sociales en el horario deseado. Los mensajes se reciben y se asignan, esto se gestiona a través de un Excel en Google Drive. Una vez que esta información se hace pública y los permisionarios conocen su posición en la lista, coordinan la aproximación de sus embarcaciones al punto de inspección visual.

Las embarcaciones deben llegar al punto de inspección con el número total de pasajeros, capitán y guía autorizados, y con una bandera visible. Toda la tripulación debe portar chalecos salvavidas. El primer grupo tiene la revisión visual a las 8:00 a.m. y recibe autorización para ingresar al área. Durante todo el proceso, los monitores supervisan la velocidad y la distancia entre

embarcaciones. A medida que las embarcaciones terminan sus actividades, lo informan por radio y emprenden su salida, preferiblemente por el límite más cercano del área.

El siguiente grupo se aproxima para realizar la revisión visual y esperar autorización para ingresar conforme salen las embarcaciones anteriores. Se da preferencia de ingreso a aquellas embarcaciones que estén más próximas al límite por razones logísticas. Este proceso se repite con los grupos subsecuentes a lo largo del día.

En el área de refugio de tiburón ballena, se divide en tres zonas descritas en la Tabla 1.

Tabla 1. Zonas del área de refugio de tiburón ballena en La Bahía de La Paz.

Zonas	Descripción
Zona I:	Es el área destinada para el desarrollo de la actividad de aprovechamiento no extractivo para observación y nado con tiburón ballena. Velocidad permitida: 7 nudos (12.96 km/h).
Zona II:	Es un área de conservación por lo cual no está permitido realizar actividades de observación y nado.
Zona III:	Es un área de tránsito de embarcaciones, donde se prohíbe realizar actividades de observación y nado tiburón ballena. Velocidad permitida: 7 nudos (12.96 km/h).
Actividades prohibidas:	Uso de motos acuáticas, canoas, inflables, sumergibles, bananas, kayaks, dinguis, botes salvavidas, jet ski, yates (para los prestadores de servicios turísticos y visitantes) y otro tipo de embarcaciones no autorizadas, así mismo queda prohibido la colecta, captura, pesca y transporte de ejemplares, partes, y derivados de especies de vida silvestre marina (SEMARNAT, 2024a).

Tabla 2. Descripción de la actividad para el aprovechamiento no extractivo de tiburón ballena en la Bahía de La Paz para la temporada.

Pasos	Descripción
1	6:30am: Descripción de la dinámica del día por parte de las autoridades mediante una plataforma electrónica (Grupo para permisionarios y personal autorizado a través de la aplicación de WhatsApp).
2	7:00 am: Prestadores de servicio solicitan sus turnos al horario deseado el # de pasajeros, # folio capitán y # folio guía, # de bandera y el nombre de la embarcación. *turnos: 1er turno a las 8:00 am a 11:00, 2do turno de 11:00 a 13:00, 3er turno de 13:00 a 15:00, y 4to turno de 15:00 a 17:00.
3	Se permite la entrada de 14 embarcaciones por cada turno, siendo el máximo de 56 embarcaciones por día.
4	Los estados de las 14 embarcaciones en la zona 1 se pueden ir observando, en Google Drive, durante la actividad, modificando su estado de la siguiente manera: En espera, (En espera de ser llamados vía radio VHF 08, conforme se mueve la lista) Revisión visual, Autorización e ingreso, En actividad, Terminó, Tránsito de salida, y Salida de Zona I.
5	La embarcación en la zona I una debe tener una velocidad crucero de 7 nudos o 12.96 km/hr. Una vez encontrado el ejemplar, cada embarcación tiene 30min y las otras embarcaciones deben tener una distancia entre ellas de 50m. Las especificaciones oficiales para el acercamiento se pueden ver en el anexo 1.
6	Para el nado, solo se permiten 5 personas nadando, se debe realizar la actividad con guía certificado en la inmersión, y la distancia de separación con el organismo es 2m de la cabeza y 3m de la aleta caudal.

2.2 Capacidad de carga

La capacidad de carga turística es un concepto fundamental en la gestión sostenible del turismo (Castillo *et al.*, 2023). Se refiere al número máximo de visitantes que un sitio puede recibir sin comprometer su recurso natural, cultural, social y económico a largo plazo. Este concepto abarca varios aspectos, incluyendo la capacidad física, biológica, espacial, de gestión del recurso, así como la capacidad cultural y social (Sayan y Atik, 2011), siendo esencial para garantizar que el turismo sea sostenible y beneficioso tanto para el recurso, los visitantes, el entorno y la comunidad local.

La adecuada gestión de la capacidad de carga turística es fundamental para preservar los recursos naturales y culturales, así como para mantener la calidad de la experiencia turística a largo plazo. Esto implica tomar medidas para regular el flujo de visitantes, establecer límites de acceso, implementar prácticas de manejo adecuadas y fomentar la participación del gremio en la toma de decisiones relacionadas con el turismo.

La capacidad de carga física está dada por la relación entre el espacio disponible y la necesidad de espacio por visitante, la capacidad de carga real se determina sometiendo a la capacidad de carga física a una serie de factores de corrección particulares de cada sitio, según sus características; y la capacidad de manejo de la administración del área (Cifuentes, 1992).

Se consideran tres niveles de capacidad de carga:

1. Capacidad de carga física (CCF)
2. Capacidad de carga real (CCR)
3. Capacidad de carga efectiva o permisible (CCE) (Cifuentes, 1992).

2.3 Capacidad de carga física (CCF)

Es el límite máximo de visitas que puede hacerse a un sitio con espacio definido, en un tiempo determinado (Cifuentes, 1992). Puede expresarse con la siguiente formula:

$$CCF = v/a \times s \times t \quad (1)$$

Donde:

CCF = Capacidad de carga física

v/a = visitantes / área ocupada

s = superficie disponible para uso público

t = tiempo necesario para ejecutar la actividad

2.4 Capacidad de carga real (CCR)

Es el límite máximo de visitas determinado a partir de la CCF de un sitio, luego de someterla a los factores de corrección definidos en función de las características particulares del sitio (Cifuentes, 1992). Los factores de corrección se obtienen considerando variables físicas, ambientales y ecológicas, sociales y de manejo. La CCR puede expresarse con la fórmula general siguiente:

$$CCR = (CCF - FC_1) - \dots - FC_n \quad (2)$$

CCR = Capacidad de carga real

CCF = Capacidad de carga física

FC = Factor de corrección

La fórmula de cálculo sería la siguiente:

$$CCR = CCF \times \frac{100 - FC_1}{100} \times \frac{100 - FC_2}{100} \times \frac{100 - FC_n}{100} \quad (3)$$

Los factores de corrección se expresan en términos de porcentaje y para calcularlos se usa la fórmula general:

$$FC = \frac{Ml}{Mt} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

FC = factor de corrección

Ml = magnitud limitante de la variable

Mt = magnitud total de la variable

2.5 Capacidad de carga efectiva (CCE)

Es el límite máximo de visitas que se puede permitir dada la capacidad para ordenarlas y manejarlas y se obtiene comparando la CCR con la Capacidad de Manejo (CM) de la administración del área protegida (Cifuentes, 1992). Es necesario conocer la capacidad de manejo mínima indispensable.

La fórmula general de cálculo es la siguiente:

$$CCE = CCR \times \frac{CM}{100} \quad (5)$$

Donde:

CCE = Capacidad de carga efectiva

CCR = Capacidad de carga real

CM = Capacidad de manejo mínima.

La CM se define como la suma de condiciones que la administración de un área protegida necesita para poder cumplir a cabalidad con sus funciones y objetivos (Cifuentes, 1992).

En la Gran Barrera de Coral, Australia, es un ejemplo icónico de cómo el turismo masivo afecta los ecosistemas marinos. Los estudios de capacidad de carga en esta área evalúan la cantidad de buceadores y visitantes que el ecosistema puede soportar sin sufrir daños significativos (MacGillivray *et al.*, 2014). Las investigaciones suelen centrarse en el impacto del turismo en la biodiversidad y en el manejo de la capacidad de carga para evitar la degradación de los ecosistemas marinos. Se han estudiado zonas específicas como sitios de buceo y áreas de anidación (MacGillivray *et al.*, 2014). En el Parque Nacional Marino de Galápagos los estudios en capacidad de carga suelen centrarse en el impacto del turismo en la biodiversidad y en el manejo de la capacidad de carga para evitar la degradación de los ecosistemas marinos. Se han estudiado zonas específicas como sitios de buceo y áreas de anidación (Gálvez-Izquieta y Mendoza-Tarabó, 2020).

En California, el Santuario Marino de Monterey Bay ha sido objeto de estudios sobre la capacidad de carga, enfocados en el tráfico de embarcaciones turísticas y sus efectos en la vida marina, incluyendo mamíferos marinos (Hoenow, 2020). En las Islas Canarias, las investigaciones sobre capacidad de carga en áreas marinas protegidas y zonas de buceo suelen incluir modelos de simulación para medir el impacto del turismo en especies vulnerables (Bauzá Martorell, 2019). En Cozumel, México, se han realizado estudios para entender los efectos del turismo en los arrecifes de coral, midiendo tanto los límites físicos como los ecológicos de visitantes diarios (Lara-Pulido *et al.*, 2021).

Finalmente, en la Bahía de La Paz, México, existen investigaciones sobre la capacidad de carga en áreas de refugio del tiburón ballena, enfocadas en el equilibrio entre turismo y conservación (García-Baciero *et al.*, 2025).

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a que la capacidad de carga turística calculada para la actividad de observación y nado con tiburón ballena en La Paz, fue definido como un valor constante y estimado a partir de factores como el viento, lesiones y abundancia de tiburón ballena del año 2015, se considera que pudiera tener un impacto negativo en la especie y en la actividad si no se consideran los cambios temporales en la abundancia de la especie y en el esfuerzo turístico aplicado dentro de la temporada vigente. Por lo tanto, el esfuerzo de este estudio es proponer metodologías para estimar la capacidad de carga de la actividad de observación y nado con el tiburón ballena de manera dinámica, basada en estimaciones de abundancia de la especie, el esfuerzo turístico y condiciones ambientales registradas durante la temporada de avistamiento que se esté realizando.

4. HIPÓTESIS

Hacer dinámica la capacidad de carga de la actividad de observación y nado con el tiburón ballena permitirá un manejo más sustentable de la especie, ajustándose a su abundancia en cada mes y/o temporada, promoviendo un beneficio sostenible a los prestadores de servicios turísticos.

5.OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Proponer un modelo de capacidad de carga dinámica de las embarcaciones autorizadas en el aprovechamiento no extractivo del tiburón ballena, considerando la variación histórica de la abundancia estacional del tiburón ballena, sus relaciones con las variables ambientales y factores de manejo que inciden en el desarrollo de la actividad.

5.2 Objetivos particulares

1. Caracterización espacial y temporal de las unidades de esfuerzo involucradas en el desarrollo de las temporadas de avistamiento del tiburón ballena 2020 a 2023.
2. Elaboración de un modelo para estimar la capacidad de carga dinámica de la flota de embarcaciones autorizadas en la actividad de observación y/o nado con tiburón ballena.
 - 2.1. Estimación de la capacidad de carga física con relación a la abundancia estacional histórica del tiburón ballena en la zona de avistamiento o zona I.
 - 2.2. Estimación de la capacidad de carga real considerando como factores de corrección la relación entre la abundancia del tiburón ballena con las variables de la temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila-a (Cla).
 - 2.3. Estimación de la capacidad de carga efectiva considerando los factores de manejo de la flota basados en los excesos de velocidad y las lesiones en los tiburones.
3. Determinar las estrategias de operación para la flota turística orientadas hacia una mayor o menor presión turística sobre la especie y su hábitat.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

6.1.1 Área de Refugio Bahía de La Paz

El estudio se desarrolla dentro del Área de Refugio Bahía de La Paz para *Rhincodon typus* (Tiburón Ballena) abarcando una superficie de 22,749.08 hectáreas (DOF: 29/11/2018). El Área de Refugio presenta una zonificación compuesta por tres zonas: Zona I: destinada al desarrollo de la actividad de aprovechamiento no extractivo para observación y nado con *Rhincodon typus*; zona II: destinada a la conservación y no está permitida la actividad de aprovechamiento; y zona III: área exclusiva al tránsito de las embarcaciones (SEMARNAT, 2024a) (Fig. 1).

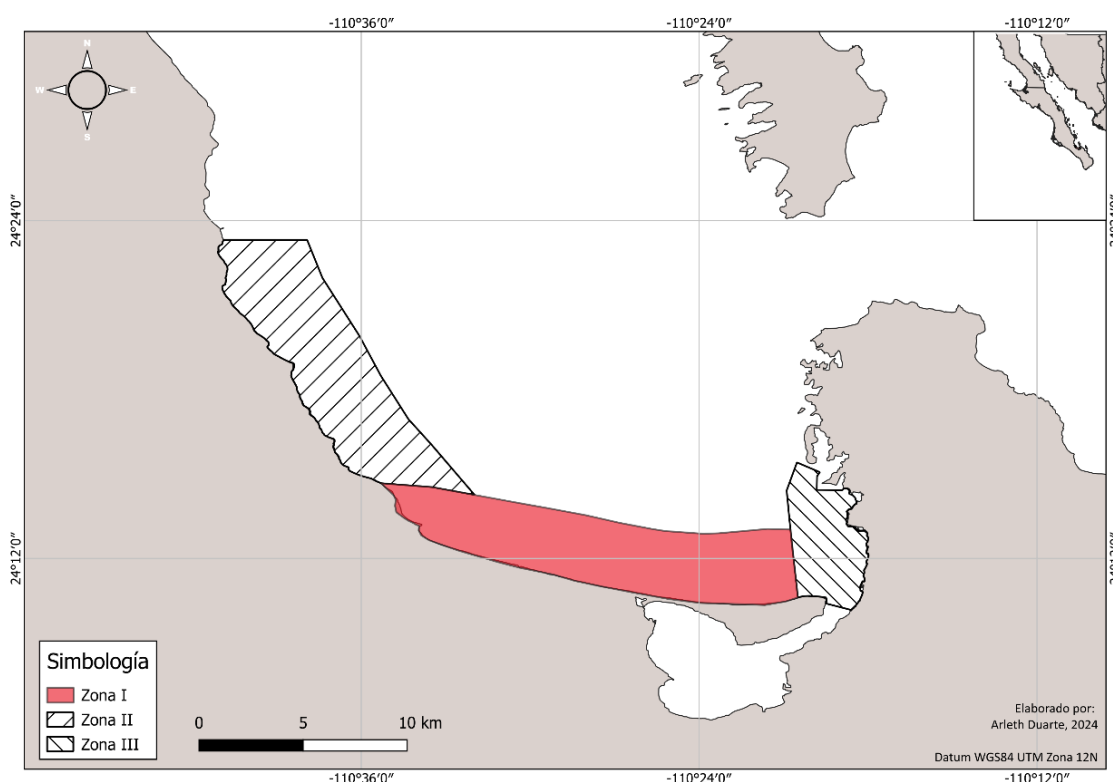


Figura 1. Ubicación del Área de Refugio Bahía de La Paz para *Rhincodon typus* con su zonificación

6.1.2 La Bahía de La Paz

La Bahía de La Paz se ubica en el estado de Baja California Sur siendo un importante cuerpo de agua del Golfo de California (Fig. 1). Bajo el contexto nacional, se ubica en la región del noroeste, presentando una forma semicircular y rodeado por la Isla Espíritu Santo, la Isla Partida, y la isla

San José, siendo que las primeras dos pertenecen a las áreas naturales protegidas Parque Nacional Zona Marina del Archipiélago de Espíritu Santo y Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California.

La Bahía presenta una complejidad oceanográfica estacional (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008), acompañada de una alta productividad que genera una alta biodiversidad que da soporte a actividades productivas como las pesquerías, la acuacultura, y las turísticas. La temperatura en la Bahía de La Paz varía significativamente a lo largo del año, influenciada por factores como la radiación solar, los vientos y fenómenos climáticos como El Niño. Dentro de un ciclo estacional anual, se distinguen dos estaciones principales (verano e invierno) y dos transicionales (primavera y otoño) (SEMARNAT, 2024a), con temperaturas máximas promediando $28.13 \pm 0.91^{\circ}\text{C}$ durante el verano boreal (agosto - octubre) y mínimas de $19.96 \pm 0.95^{\circ}\text{C}$ en el invierno (enero - marzo). La dinámica atmosférica de la Bahía está dominada por vientos predominantes del noroeste en invierno y del sureste en verano la zona poco profunda y por las mareas en la mayor parte de su extensión (Herrera-Cervantes *et al.*, 2017). En los veranos, la bahía está dominada por la ausencia de una capa de mezcla y la presencia de una termoclina bien desarrollada (Cárdenas *et al.*, 2019). Además, eventos como El Niño pueden causar un aumento de la temperatura en toda la columna de agua, con incrementos de hasta 2°C durante el verano (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008).

La estacionalidad de los vientos define las condiciones hidrográficas en la Bahía de La Paz. (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008) observaron una capa de mezcla profunda en invierno, cuando los vientos persistentes y fuertes del noroeste dominaron la región. En contraste, durante el verano, identificaron una estratificación térmica en la capa superficial, resultado de la intensa radiación solar y vientos leves, intercalados con recurrentes periodos de calma. Los datos de corrientes revelaron que el agua entraba a la Bahía a lo largo de la costa oriental de la península, frente a Cabeza de Mechudo, y salía por el lado poniente, delante del complejo insular Espíritu Santo-La Partida, describiendo una circulación ciclónica (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008).

La productividad primaria en la Bahía de La Paz está estrechamente relacionada con la dinámica estacional de la columna de agua y su estratificación, que son influenciadas por el flujo de calor

derivado de la radiación solar. Durante el verano, la estratificación es máxima, lo que limita la mezcla vertical y reduce el aporte de nutrientes a las capas superficiales, resultando en una disminución de la productividad primaria. En contraste, durante el invierno, la pérdida de calor en las capas superficiales provoca convección vertical, favoreciendo la homogeneización y el enriquecimiento de la columna de agua con nutrientes, lo que incrementa la productividad. Además, en primavera, condiciones favorables como el aumento de la radiación solar permiten un repunte en la productividad primaria y una mayor estratificación en las capas superficiales (Reyes-Salinas *et al.*, 2003).

6.2 Caracterización espaciotemporal de las unidades de esfuerzo involucradas en la actividad de nado con el tiburón ballena 2020 a 2023

Para la evaluación espaciotemporal de las unidades de esfuerzo se utilizaron las bases de datos provenientes de las bitácoras para las temporadas 2020-2021, 2021-2022 y 2022-2023 obtenidas a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Estas bitácoras incluían los campos de fecha, nombre de la embarcación, número de pasajeros, hora de entrada y hora de salida.

Por otro lado, cada embarcación autorizada en la actividad de aprovechamiento no extractivo para observación y nado con tiburón ballena cuenta con un chip que proporciona la posición geográfica de las embarcaciones, construyendo una base de datos de geoposicionamiento a través de la plataforma digital Zeek GPS. Esta base de dato se compuso de los campos: nombre de la embarcación, fecha, hora (en unidades de minuto a minuto) y coordenadas latitud y longitud en grados decimales.

Las unidades de esfuerzo y sus respectivas unidades evaluadas para las temporadas disponible se observan en la tabla 3. Estas unidades se midieron y fueron descritas mensualmente cada temporada. Las unidades se agruparon mensualmente por cada temporada y se obtuvieron sus valores promedio y la desviación estándar.

Tabla 3. Descripción de las diferentes unidades de esfuerzo a evaluar.

Unidades de esfuerzo	Unidades
Duración de los viajes	Horas
Número de pasajeros	Personas por embarcación
Número de viajes	Número total de viajes
Número de embarcaciones	Número total de embarcaciones
Tiempo dentro de la zona I	Horas

La caracterización espacial se basó en la ocupación relativa o porcentaje de ocupación de las embarcaciones en el área de observación (Zona I) por mes y por temporada. Esta fue estimada considerando el total del área abarcada por la flota en la zona I en el espacio y tiempo dividido por el área total de la zona I.

6.3 Propuesta de modelo para estimar la capacidad de carga dinámica de la actividad de observación y/o nado con tiburón ballena

El modelo base para la propuesta de la presente tesis se fundamenta en el modelo de capacidad de carga turística (CCT) terrestre elaborado por (Cifuentes, 1992). En resumen, la estimación de la CCT está compuesta por tres niveles consecutivos y jerárquicos, siendo la capacidad de carga física (CCF), real (CCR) y efectiva (CCR). Esta capacidad de carga está dada por la relación entre el espacio disponible total del área y el espacio vital por visitante, determinando el límite máximo de visitas en un área con espacio definido y tiempo determinado, sin causar un deterioro significativo del área (Cifuentes, 1992).

Para el presente estudio, se propone la modificación del modelo de capacidad de carga de Cifuentes (1992) aplicado en un contexto marino, donde el área terrestre se considera la superficie del tiburón ballena. De tal forma que la capacidad de carga de embarcaciones turísticas es determinada por la dinámica estacional de la abundancia del tiburón ballena. Para esto, se consideró la abundancia máxima histórica del tiburón ballena durante los meses de la temporada de avistamiento (octubre a abril) y la incertidumbre en el número de individuos disponibles por embarcación (agregaciones), para estimar una capacidad de carga física (CCF), modulada por

factores ambientales que regulan la abundancia de los tiburones en el tiempo obteniendo una capacidad de carga real (CCR), donde finalmente se aplican factores de manejo considerando los más importantes de la actividad, exceso de velocidad y lesiones de los tiburones, obteniendo la capacidad de carga efectiva (CCE).

6.3.1 Capacidad de carga física (CCF)

La capacidad de carga física en la actividad de observación y nado del tiburón ballena se determinó modificando la ecuación de Cifuentes (1992), integrando la dinámica de entrada de las unidades en función de la abundancia del tiburón ballena en el área. Esto se logró asumiendo una función logística que permite alcanzar una capacidad de carga en función de la abundancia (TB_i) y proporción de tiburones con respecto a las embarcaciones (TB_i/p). La ecuación tiene como unidades de manejo el número de embarcaciones en función de la abundancia de tiburones ballena.

El número de tiburones observados (TB) fue obtenido de los datos de abundancia determinados mensualmente de octubre a mayo para las temporadas de avistamiento de 2004 a 2024 (fuente de datos: ONG Tiburón Ballena México). La capacidad de carga máxima se establece como el número de tiburones máximo observado por mes o por periodo de 20 años (TB_{max}). Debido al comportamiento de agregación de los tiburones ballena, el supuesto que manejan las autoridades 1:1 (i.e., debe existir una embarcación por cada tiburón), posiblemente no siempre se cumpla y más en meses de mayor abundancia, por lo que se proponen tres escenarios de densidad relativa de TB por embarcación, considerada en las proporciones (p) 1:1, 1:2, y 1:3, establecida como (TB_{max}/p).

La ecuación propuesta en el presente estudio determina la capacidad de carga dinámica de embarcaciones (CCF_{TB}) en función de la abundancia y densidad de tiburones ballena (TB_{max}/p), determinado la entrada de embarcaciones a una velocidad (γ) y tasa de cambio (r) en función de la abundancia (TB_i) dada, establecida como:

$$CCF_{TB} = \frac{(TB_{max}/p)}{1 + \gamma * \exp(-r(TB_i))} \quad (6)$$

Donde, la capacidad de carga física (embarcaciones por tiburón, CCF_{TB}) es calculada por la velocidad de entrada (γ) y la velocidad de la tasa de cambio o pendiente (r) de las embarcaciones para alcanzar la capacidad de carga (TB_{max}/p). Tanto γ como r se calcularon mediante la estimación de parámetros empleando un optimizador numérico, y obedeciendo tres supuestos:

- 1) El número de embarcaciones por tiburón no puede ser mayor a la proporción 1:1 declarada en las reglas de operación, p26 (SEMARNAT, 2024a).
- 2) Solo se consideraron como parámetros potenciales aquellos donde se alcanzaba la capacidad de carga en función de la abundancia máxima de tiburones por periodo de tiempo.
- 3) No se plantearon restricciones en el valor mínimo para iniciar embarcaciones respecto a la abundancia del tiburón, respetando el 1:1 (punto 1).

6.3.2 Capacidad de carga real (CCR)

La estimación de la capacidad de carga real se basó en la relación entre la abundancia mensual de los tiburones ballena y dos variables ambientales: 1) las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (ATSM) y 2) las anomalías mensuales de la concentración de la clorofila-a (ACLA). Para evaluar la relación lineal entre las variables ambientales y la abundancia del tiburón ballena se utilizaron modelos de regresión lineal simple con datos del periodo de 2004 – 2024.

El modelo de capacidad de carga real (CCR) se puede representar con la siguiente fórmula:

$$CCR_i = CCF_{TB_i} \times FC_{TSM} \times FC_{CLA} \quad (7)$$

Donde CCR es la capacidad de carga real, CCF_{TB} es la capacidad de carga física, FC_{ATSM} es el factor de corrección calculado para las anomalías de la temperatura superficial del mar y FC_{ACLA} es el factor de corrección para las anomalías de la clorofila-a.

Las bases de datos ambientales para el periodo 2004-2024 se construyeron empleando imágenes de satélite para la zona. Los datos ambientales fueron descargados usando la plataforma del National Centers for Environmental Information (NCEI) (<https://www.ncei.noaa.gov/erddap/index.html>), utilizando como referencia el área del polígono para la observación y nado con el tiburón ballena. Los datos ambientales fueron descargados con una resolución temporal mensual y espacial de 1 km, correspondientes al periodo enero de 2004 a mayo de 2024.

Los datos de las variables mensuales fueron procesados utilizando el paquete terra (Hijmans, 2024) del lenguaje de programación R (R Core Team, 2024) obteniendo los valores promedio ($\bar{x}_i$) de TSM y CLA correspondientes al polígono de la zona I del área de refugio. Usando los datos promedio de temperatura y clorofila-a se calcularon sus anomalías mensuales con la siguiente formula:

$$a_{i,j} = \frac{(x_{i,j} - \bar{x}_i)}{DE_i} \quad (8)$$

Donde $a_{i,j}$ es la anomalía de la temperatura o clorofila-a del mes i y del año j , $x_{i,j}$ es el promedio del mes i y del año j , $\bar{x}_i$ es el promedio del i de todo el periodo de estudio y DE_i es la desviación estándar del mes i de todo el periodo de estudio.

Mediante el uso de regresiones lineales simples se calculó la proporción de la varianza de los datos que es explicada por las anomalías de TSM y CLA, medido mediante el coeficiente de determinación (R^2). Estos valores de R^2 fueron utilizados como los factores de corrección para las variables ambientales usando las siguientes ecuaciones:

$$FC_{ATSM} = 1 - R_{ATSM}^2 \quad (9)$$

Donde el FC_{ATSM} es el factor de corrección para las anomalías de la temperatura superficial del mar y R_{ATSM}^2 es el coeficiente de determinación del modelo lineal entre las anomalías de temperatura superficial del mar y la abundancia del tiburón ballena.

$$FC_{ACLA} = 1 - R_{ACLA}^2 \quad (10)$$

Donde FC_{ACLA} es el factor de corrección para las anomalías de la concentración de clorofila-a y R_{ACLA}^2 es el coeficiente de determinación del modelo lineal entre las anomalías de clorofila-a y la abundancia del tiburón ballena.

6.3.3 Capacidad de carga efectiva (CCE)

La capacidad de carga efectiva se relaciona a la capacidad de manejo de la administración (i.e., de Área de Refugio Bahía de La Paz). Para el presente estudio la capacidad de manejo se ejercerá mediante dos factores de corrección, los excesos de velocidad y las lesiones observadas en los tiburones ballena, cada uno es determinado de forma independiente por monitoreos de la autoridad. En el presente estudio se asume un 20% de lesiones y un 15% de excesos de velocidad.

El primer factor de corrección para el manejo ($FCM_{\%EV}$) con base en el porcentaje de infracciones se determina como el producto del porcentaje de excesos de velocidad estimados por la autoridad respecto a la capacidad de carga real por unidad de tiempo i , como se describe en la fórmula:

El primer factor de corrección para el manejo ($FCM_{\%EV}$) con base en el porcentaje de infracciones se determina como el producto del porcentaje de excesos de velocidad estimados por la autoridad respecto a la capacidad de carga real por unidad de tiempo i , como se describe en la fórmula:

$$FCM_{\%EV} = \%EV_i * CCR_i \quad (11)$$

El segundo factor de corrección de manejo es el porcentaje de lesiones observadas por temporada ($FCM_{\%L}$). A diferencia $FCM_{\%EV}$, debido a la controversia por el origen de las lesiones (dentro o fuera de la zona I), se optó por asignarle un valor ponderado del 20% ($Fp_{20\%}$) sobre el total de lesiones reportadas por la autoridad, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$FCM_{\%L} = \frac{(100 - \% Lesiones)}{100} * Fp_{20\%} \quad (12)$$

La integración de la fórmula de capacidad de carga efectiva con los factores de corrección de manejo se estimó como:

$$CCE_i = CCR_i \times FCM_{\%L} \times FCM_{\%EV} \quad (13)$$

Donde la capacidad de carga efectiva del mes i (CCE_i) será el producto entre la capacidad de carga real y los factores de capacidad de manejo por lesiones ($FCM_{\%L}$) y excesos de velocidad ($FCM_{\%EV}$).

6.3.4 Comparación con capacidad de carga 2023

Para la comparación del modelo con el manejo actual, se realizará una estimación de la capacidad de carga diaria a partir del modelo propuesto, bajo condiciones ambientales promedio por mes (CCR), y considerando un 20% de tiburones lesionados y un 15% de excesos de velocidad (CCE). Finalmente, las salidas se contrastarán con el valor constante de 14 embarcaciones por día por turno permitidas en el actual plan de manejo 2023, explorando comparativamente con los escenarios de manejo dinámico en función de la abundancia y proporcionalidad tiburón: embarcación propuestos.

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización espaciotemporal de las unidades de esfuerzo involucradas en la actividad de nado con el tiburón ballena 2020 a 2023

La temporada de la actividad de nado con el tiburón ballena se realizó anualmente de noviembre a abril en la zona I del plan de manejo plan tipo para la conservación y el aprovechamiento no extractivo de *Rhincodon typus* (tiburón ballena) en la bahía de La Paz, B.C.S., con una duración promedio de 115.33 ± 30.91 DE días y una abundancia (número de individuos de una especie en un área y un tiempo determinado (Begon & Townsend, 2021)) promedio de 161.66 ± 23.69 DE. El análisis de la duración de cada una de las temporadas de la actividad de nado con el tiburón ballena en el periodo enero 2020 abril 2023 (Tabla 4) sugiere una reducción en la duración (días), sin embargo, el inicio y fin de las tres temporadas ocurren en fechas similares, lo que implica que en la temporada 2022-2023 la actividad no se llevó a cabo por razones como patrones inusuales de viento, temperatura del agua extremadamente fría, factores que posiblemente afectaron la distribución de plancton en la zona.

Tabla 4. Inicio, fin, duración (días) de las temporadas de observación y nado con tiburón ballena en la Bahía de La Paz.

Temporadas	Inicio	Fin	Duración (días)	Abundancia (DE)
2020-2021	14-nov-20	15-abr-21	142	130
2021-2022	10- nov -21	13-abr-22	132	187
2022-2023	27- nov -22	16-abr-23	72	168

En la tabla 4, se observa que la duración de la actividad fue de 142 días en la temporada 2020-2021, disminuyendo a 132 días en 2021-2022 y reduciéndose a 72 días en 2022-2023. En cuanto a la abundancia, aumento de 130 ejemplares en la temporada 2020-2021 a 187 en 2021-2022 y descendió a 182 en 2022-2023.

En la tabla 5 se muestran datos del esfuerzo de la flota que realiza la actividad de nado con tiburón ballena por cada temporada analizada. Como se aprecia en esta tabla, la duración de los viajes aumentó año con año, mientras que el número de pasajeros fue mayor en la temporada 2021-2022.

Tabla 5. Unidades de esfuerzo medidas en la actividad de observación y nado con tiburón ballena por temporada en la Bahía de La Paz.

Unidad de esfuerzo	Temporada 20-21	Temporada 21-22	Temporada 22-23
Duración de los viajes	1.51 horas	1.55 horas	1.73 horas
Número de pasajeros	22,044	38,780	20,590
suma total			
Número de viajes	30.8	39.1	33.60
promedio			
Número de embarcaciones	4,887	5,488	2,675
suma total			
Tiempo promedio dentro del polígono	2.51 horas	2.58 horas	2.16 horas

En la Fig. 2 se muestra el número de pasajeros totales mensuales que realizaron la actividad de nado con tiburón ballena en la zona I por temporada analizada. Se observa una fluctuación en los valores mensuales con valores entre 500 y 10,00 pasajeros. En la temporada 21-22, diciembre fue el mes con mayor registro de pasajeros alcanzando casi los 10,00 pasajeros, mientras que la temporada 2022-2023 registro los valores mínimos con menos de 1,000 pasajeros. En comparación, la temporada 2020-2021 presento un comportamiento más equilibrado, con un número máximo cercano a 6,000 pasajeros. En general, la temporada 2021-2022 fue la que registro el mayor número de pasajeros en total, mientras que la temporada 2022-2023 mostro una disminución significativa en comparación con las anteriores.

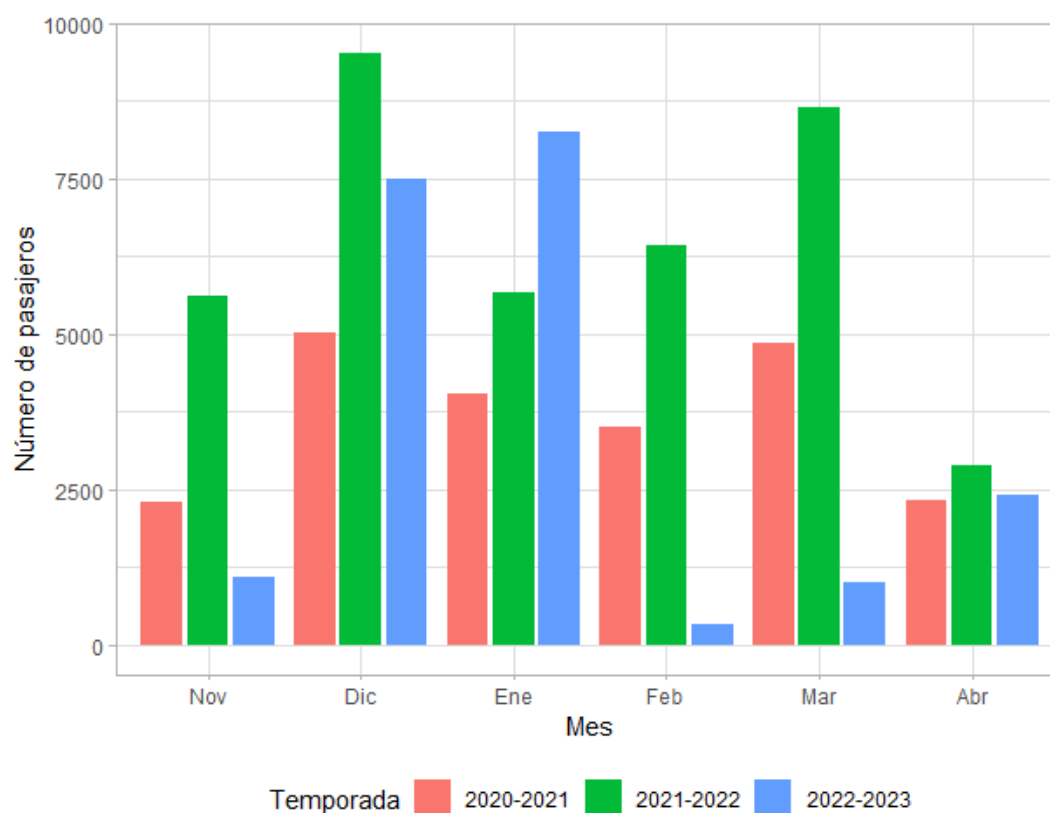


Figura 2. Número de pasajeros por mes en la actividad de observación y nado con tiburón ballena por temporada dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.

En la Fig. 3 se muestra el número mínimo, promedio y máximo de pasajeros mensuales por embarcación que realizaron la actividad de nado con tiburón ballena por temporada. De manera general se observa que la temporada 2022-2023 tuvo el máximo promedio de pasajeros ($\pm$ desviación estándar [DE]) y la temporada 2020-2021 el promedio mínimo (valor $\pm$ DE). Así mismo, para las temporadas 2022-2023 y 2021-2022 los primeros meses presentaron mayor número de pasajeros promedio, y para 2020-2021 hubo mayor número de pasajeros al final de la temporada.

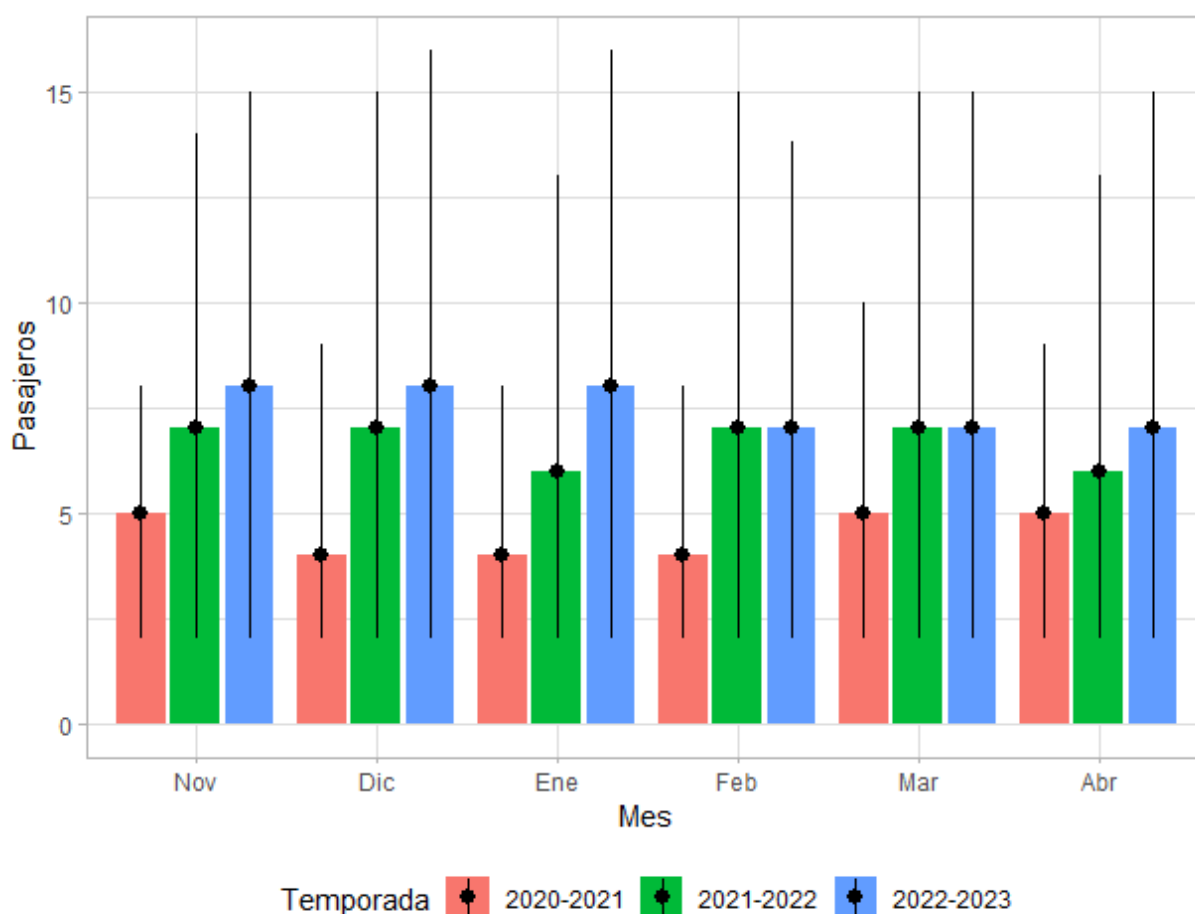


Figura 3. Número mínimo, promedio y máximo de pasajeros registrados por embarcación y agrupadas mes y temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.

En la Fig. 4 se muestra la variación mensual del número de pasajeros por temporada. En general, la temporada 2022-2023 registró una mayor afluencia con medianas más altas y mayor variabilidad, lo que destaca a diciembre como el mes con mayor actividad. En la temporada 2020-2021 se tuvo un menor número de pasajeros y una menor dispersión con datos más consistentes. Se observan valores atípicos, principalmente en las temporadas 2021-2022 y 2022-2023, lo que indica picos de demanda en días específicos. Los meses de febrero y marzo presentan una menor actividad en comparación con los otros meses.

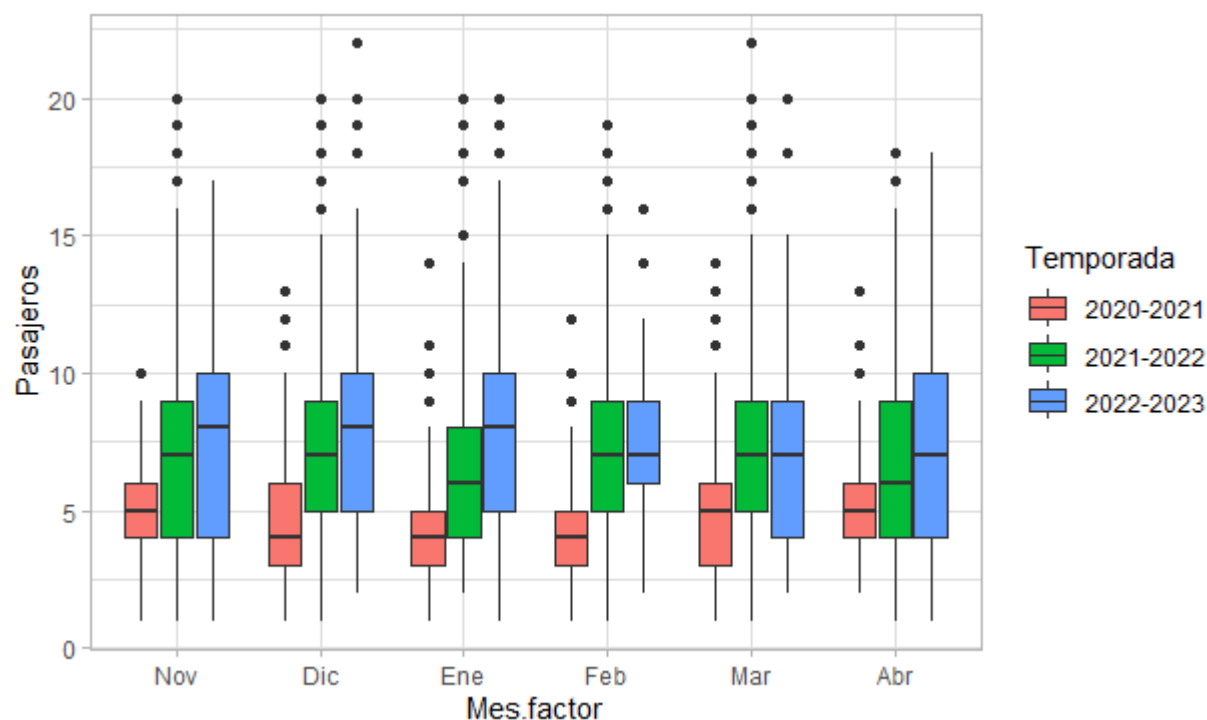


Figura 4. Variación mensual de pasajeros por embarcación y agrupadas mes y temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz. Línea horizontal = mediana; Caja = Primer y tercer cuartil, respectivamente; líneas horizontales = Mínimos y máximos, respectivamente en ausencia de valores extremos (puntos).

En la Fig. 5 se muestra el registro de pasajeros diarios por embarcación que realizaron la actividad de nado con tiburón ballena por temporada. De manera general se observa que la temporada 2021-2022 tuvo el registro máximo en el número de pasajeros y un mínimo en la temporada 2022-2023.

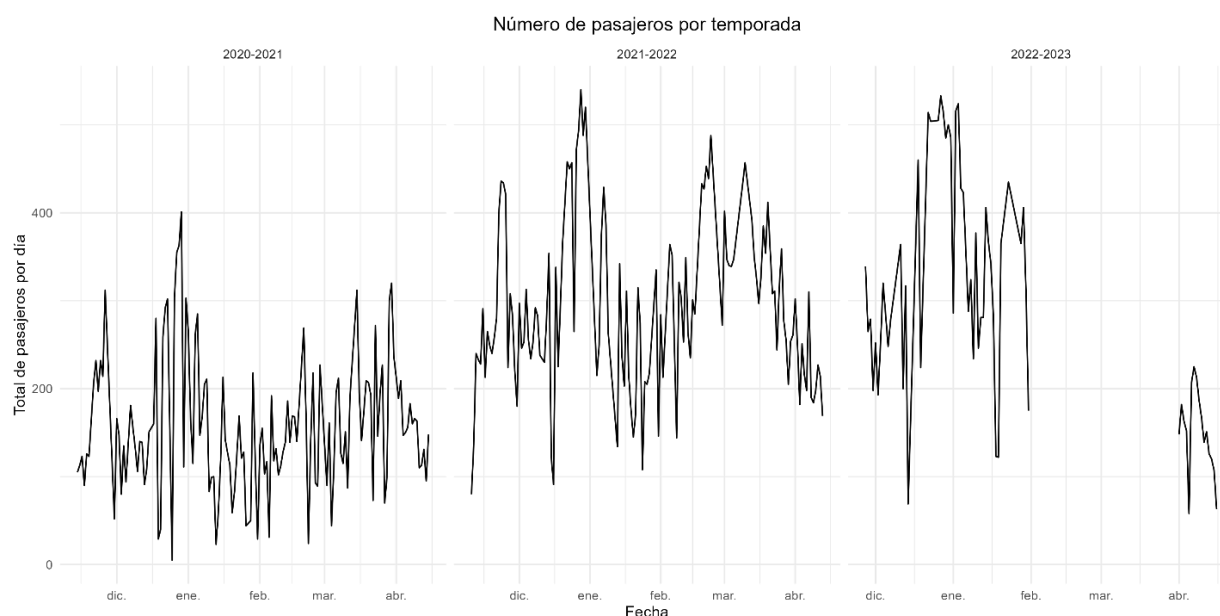


Figura 5. Número total de pasajeros diarios por mes y temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la Bahía de La Paz.

En la Fig. 6 se muestra el número de embarcaciones que realizaron actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro del polígono en la zona I durante las temporadas analizadas. Se observa que el mayor número de embarcaciones operando ocurrió en la temporada 2021-2022, con un incremento considerable en los meses de enero y febrero. En contraste con la temporada 2022-2023 hace notar una disminución significativa de la actividad, al igual que la temporada 2020-2021. La figura refleja los picos mensuales en cada temporada, destacando las diferencias en el uso de la zona I a lo largo del tiempo.

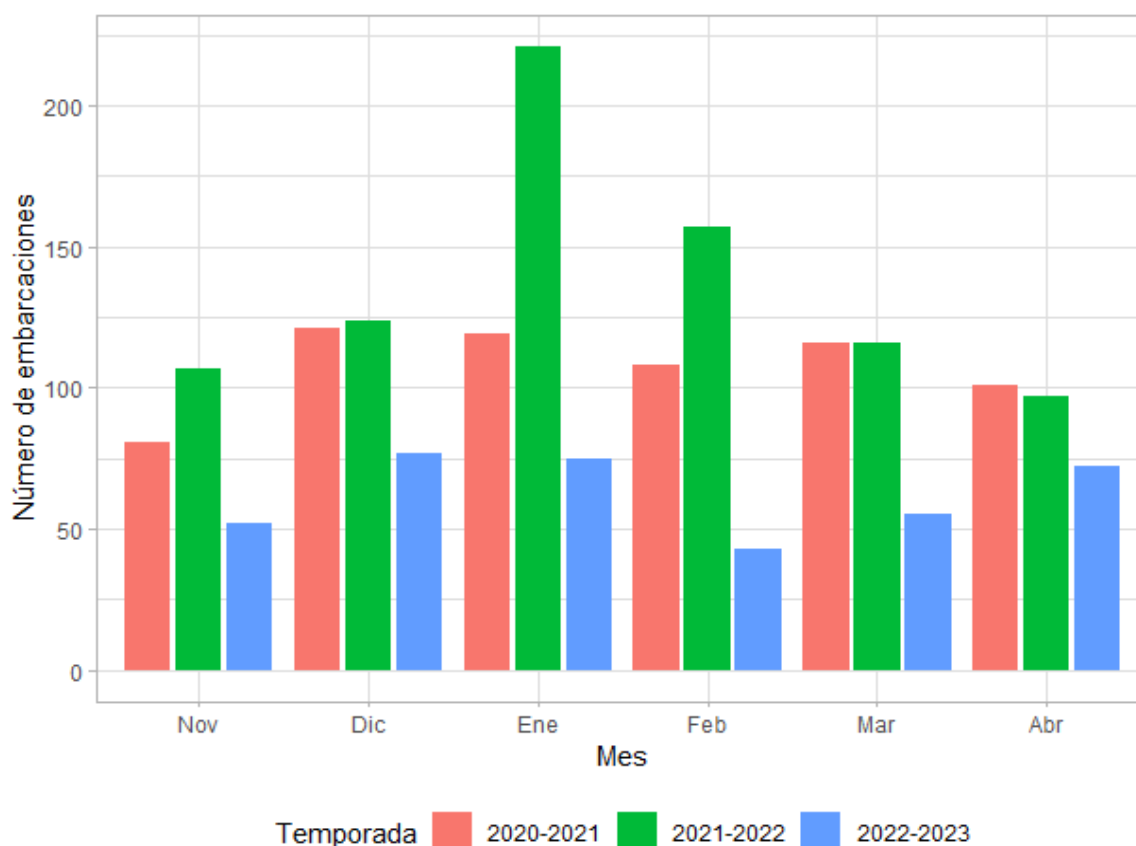


Figura 6. Número total de embarcaciones promedio por mes que operaron en la zona I por temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.

La temporada con el mayor número de viajes por día fue la 2021-2022, con un promedio de 39.1 viajes por día, mientras que la temporada 2020-2021 registró el valor más bajo, con un promedio de 30.8 embarcaciones por día (véase las Fig. 7, 8 y 9).

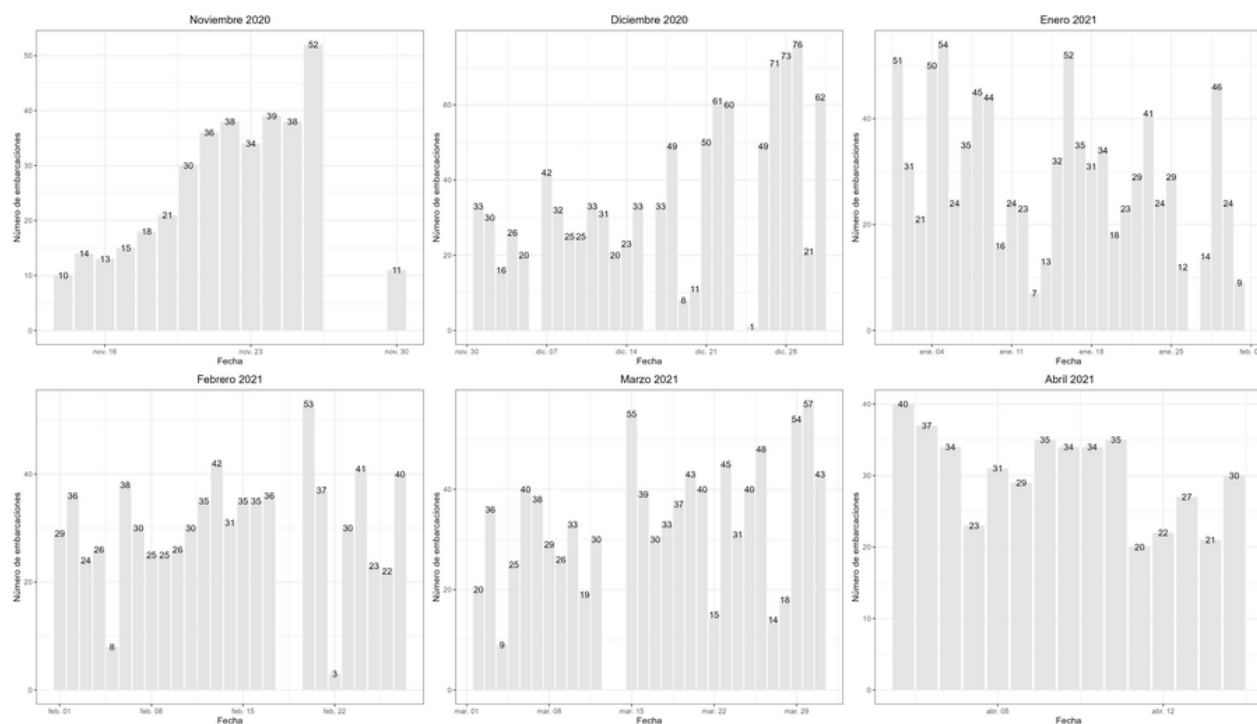


Figura 7. Número de viajes promedio por día y mes en la temporada 2020-2021 realizados por embarcaciones dedicadas a la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de la Bahía de La Paz.

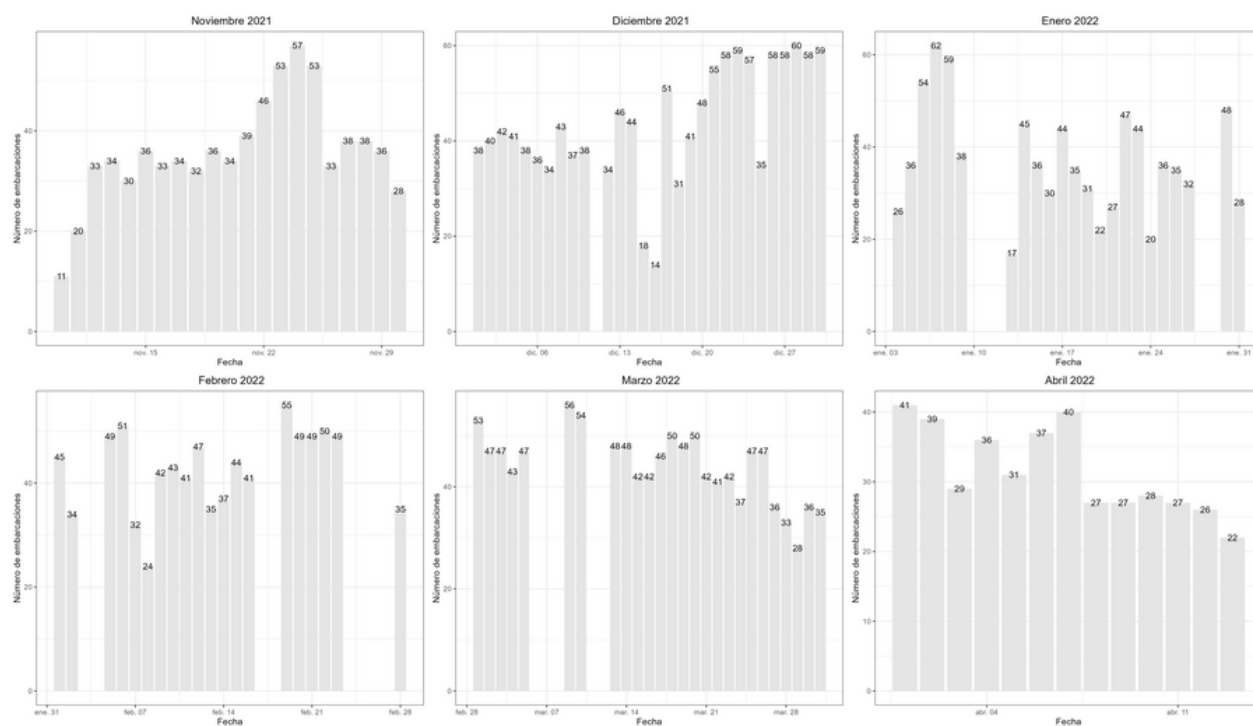


Figura 8. Número de viajes promedio por día y mes en la temporada 2021-2022 realizados por embarcaciones dedicadas a la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de la Bahía de La Paz.

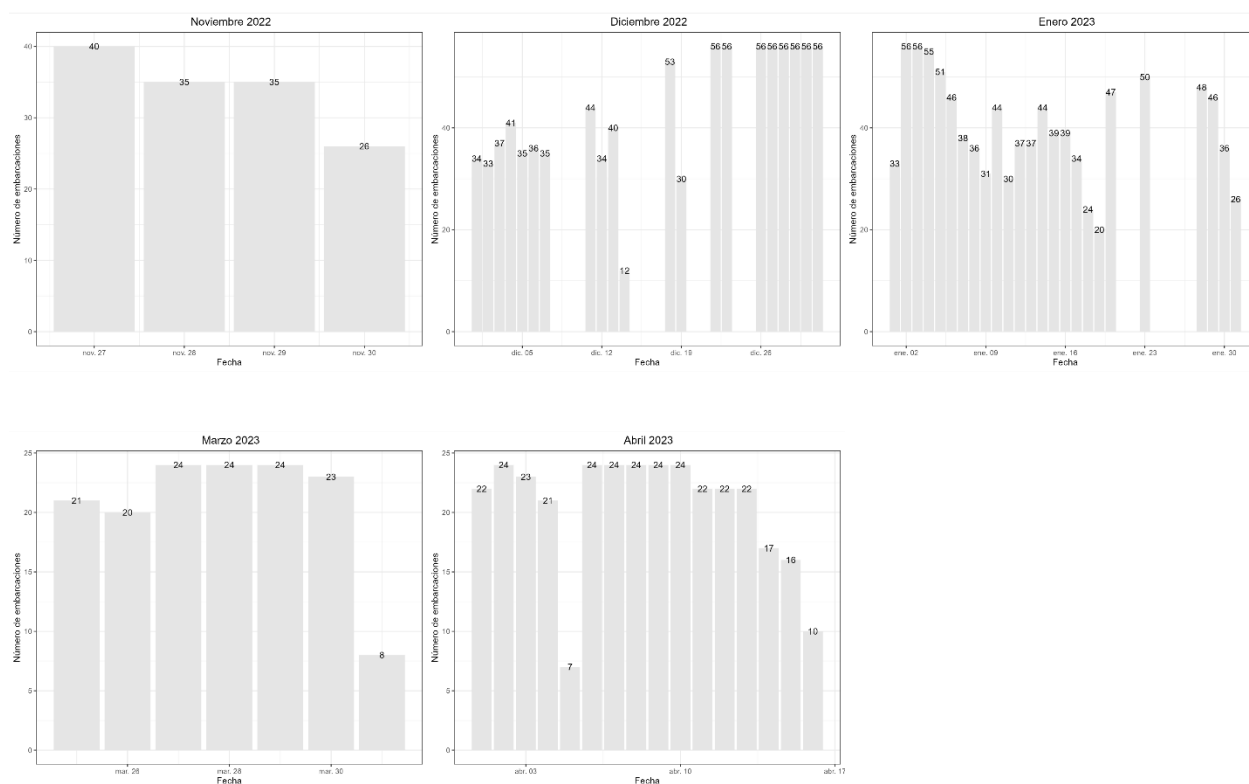


Figura 9. Número de viajes promedio por día y mes en la temporada 2022-2023 realizados por embarcaciones dedicadas a la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de la Bahía de La Paz.

La Fig. 10 muestra el número total de viajes mensuales por temporada. En términos generales, las temporadas 2020-2021 y 2021-2022 presentaron un patrón similar de viajes totales, donde destacan los meses de diciembre con más de 1000 viajes totales, y abril como los meses con menor número de viajes totales (~470 viajes), siendo la temporada 2021-2022 la que presentó el mayor número de viajes. La temporada 2022-2023 fue disímil al resto, con valores máximos de viajes en enero y diciembre (~1000 viajes) y menores a 150 viajes para el resto de los meses, exceptuando abril con ~ 326 viajes.

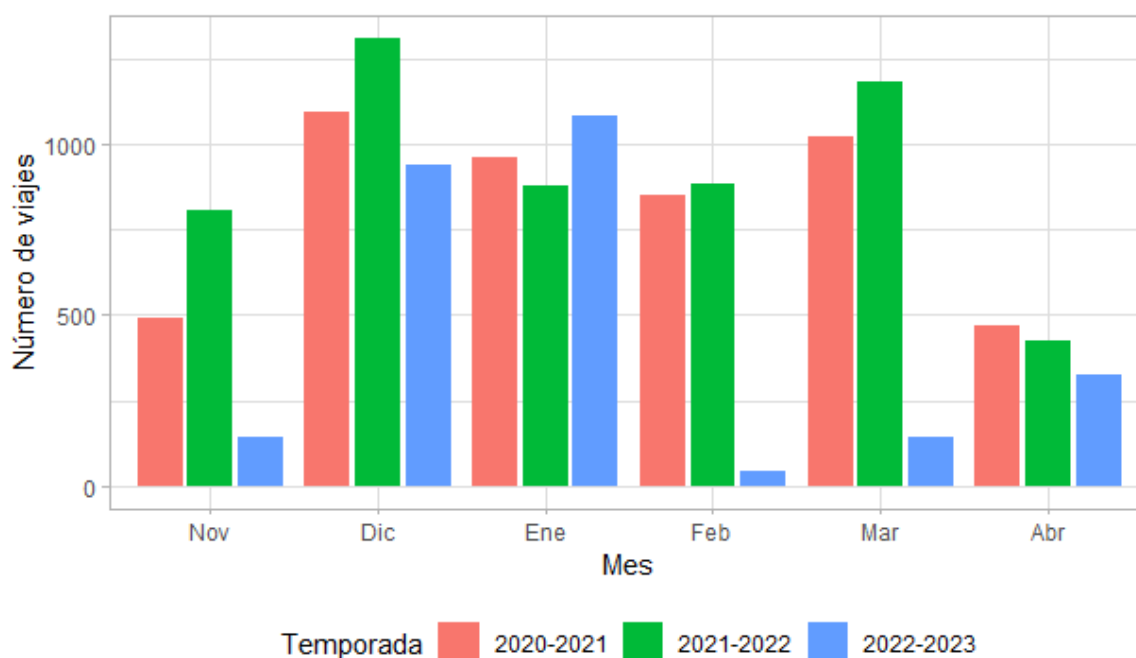


Figura 10. Número de viajes totales de las embarcaciones autorizadas por temporada en la actividad de observación y nado con tiburón ballena dentro de la zona I en la Bahía de La Paz.

En la Tabla 6 se muestra la ocupación promedio mensual de las embarcaciones en la zona I por temporada. El promedio de ocupación de la zona I de las tres temporadas fue del 60.38 ± 10.17 DE donde los valores más altos de ocupación se observan al final de las temporadas y los valores más pequeños a inicios de las temporadas, destacando que marzo y abril de la temporada 2020-2021 alcanzaron un máximo de ~75% de ocupación (Tabla 6).

Tabla 6. Porcentaje de ocupación de la zona de observación y nado con tiburón ballena en la zona I para las temporadas 2020-2023.

Mes	2020-2021 (%)	2021-2022 (%)	2022-2023 (%)
Noviembre	33.12	54.68	64.79
Diciembre	62.42	64.79	64.79
Enero	57.75	60.13	56.56
Febrero	47.26	56.09	-
Marzo	74.31	66.37	-
Abril	75.41	67.33	-

La distribución espacial mensual de la flota en la zona I se puede observar en la Fig. 6. De manera general, se puede observar como la flota aumenta el área de distribución desde noviembre de 2020, donde el área es la más reducida, hasta enero de 2023 donde el área es máxima. Así mismo, el área de distribución de la flota está siempre localizada cercana al área costera del mogote (sureste) donde tiende a agruparse el tiburón ballena (Fig. 11).

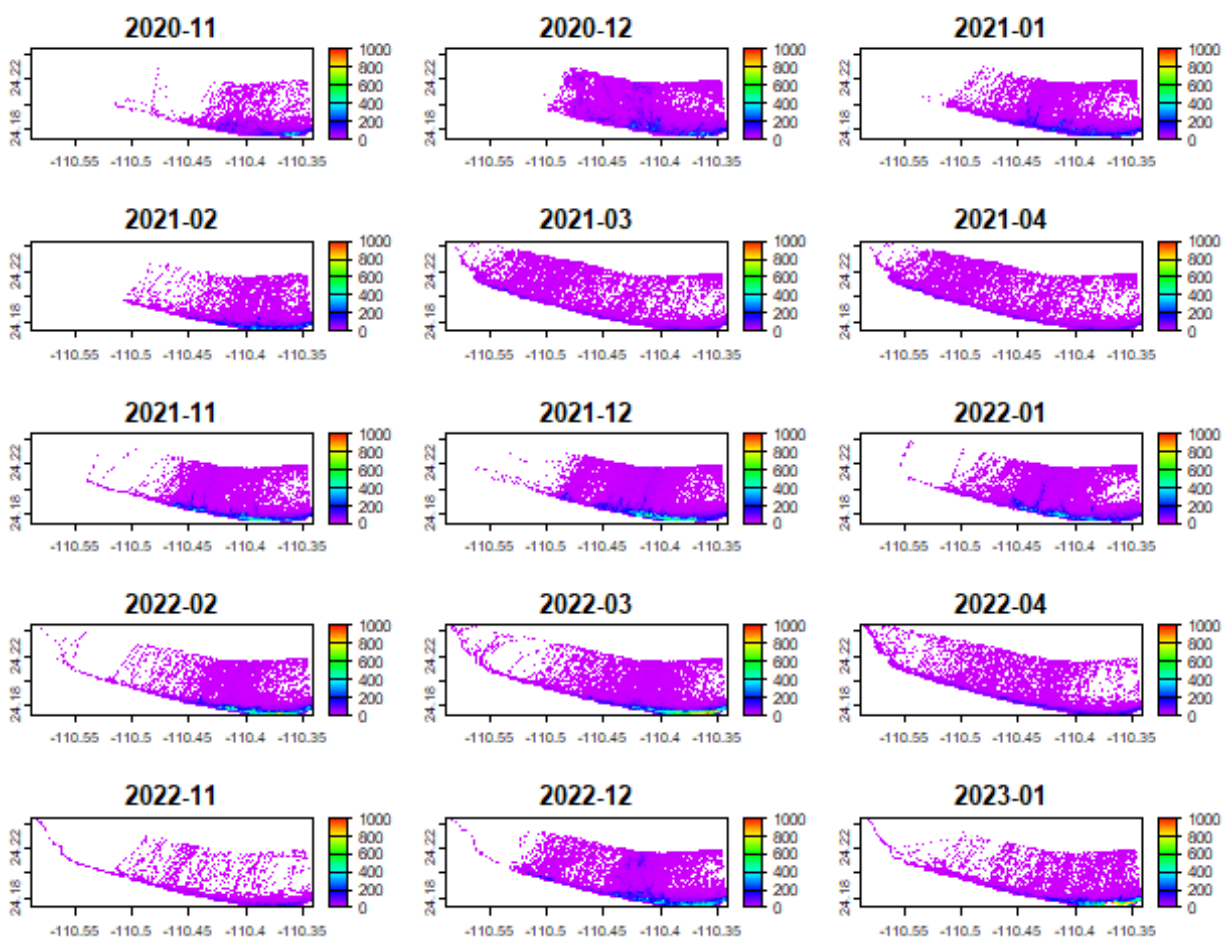


Figura 11. Distribución espacial de la actividad de observación y nado con tiburón ballena en la zona I de las temporadas 2020-2023 en la Bahía de La Paz.

7.2 Caracterización del cálculo de capacidad de carga

7.2.1 Capacidad de carga física (CCF)

La estimación de la CCF se basó en la ecuación 6 presentada en la sección 6.3.1, misma que involucra la abundancia del tiburón ballena como variable y como parámetros datos de la abundancia máxima histórica del tiburón ballena en la zona de avistamiento (Zona I), r (velocidad de entrada del número de embarcaciones) y γ (ajuste de entrada de embarcaciones al área). La Fig. 11 muestra diferentes combinaciones de estos parámetros cuando la proporción de tiburones es de 2:1, misma que resultó la más equilibrada en términos de aprovechamiento y protección del tiburón ballena.

Como se aprecia en la Fig. 11 un valor más alto de r implica un crecimiento más acelerado de la CCF (embarcaciones) con respecto a la abundancia del tiburón ballena, mientras que un valor más alto de γ implica un desfase el aumento de la CCF con respecto a la abundancia del tiburón ballena. Se considera que los valores más adecuados de los parámetros r y γ en la ecuación de la CCF son de 0.14 y 70, respectivamente. Estos valores podrían implicar un mejor equilibrio entre el aprovechamiento (esfuerzo turístico) y la protección de la especie.

Los resultados de la selección de las combinaciones de parámetros que se ajustaron a los supuestos planteados (no rebasar la proporción 1:1 y se debe alcanzar la capacidad de carga en función de TB_{max} ; se muestran sin asterisco en la Fig. 12, donde del 100% solo el ~ 14% cumple con los supuestos. Del ~14% los valores centrales y posiblemente más adecuados para la CCF fueron de $r = 0.14$ y $\gamma = 70$, respectivamente. Estos valores en los parámetros pudieran reflejar un equilibrio entre el aprovechamiento (esfuerzo turístico) y la protección de la especie.

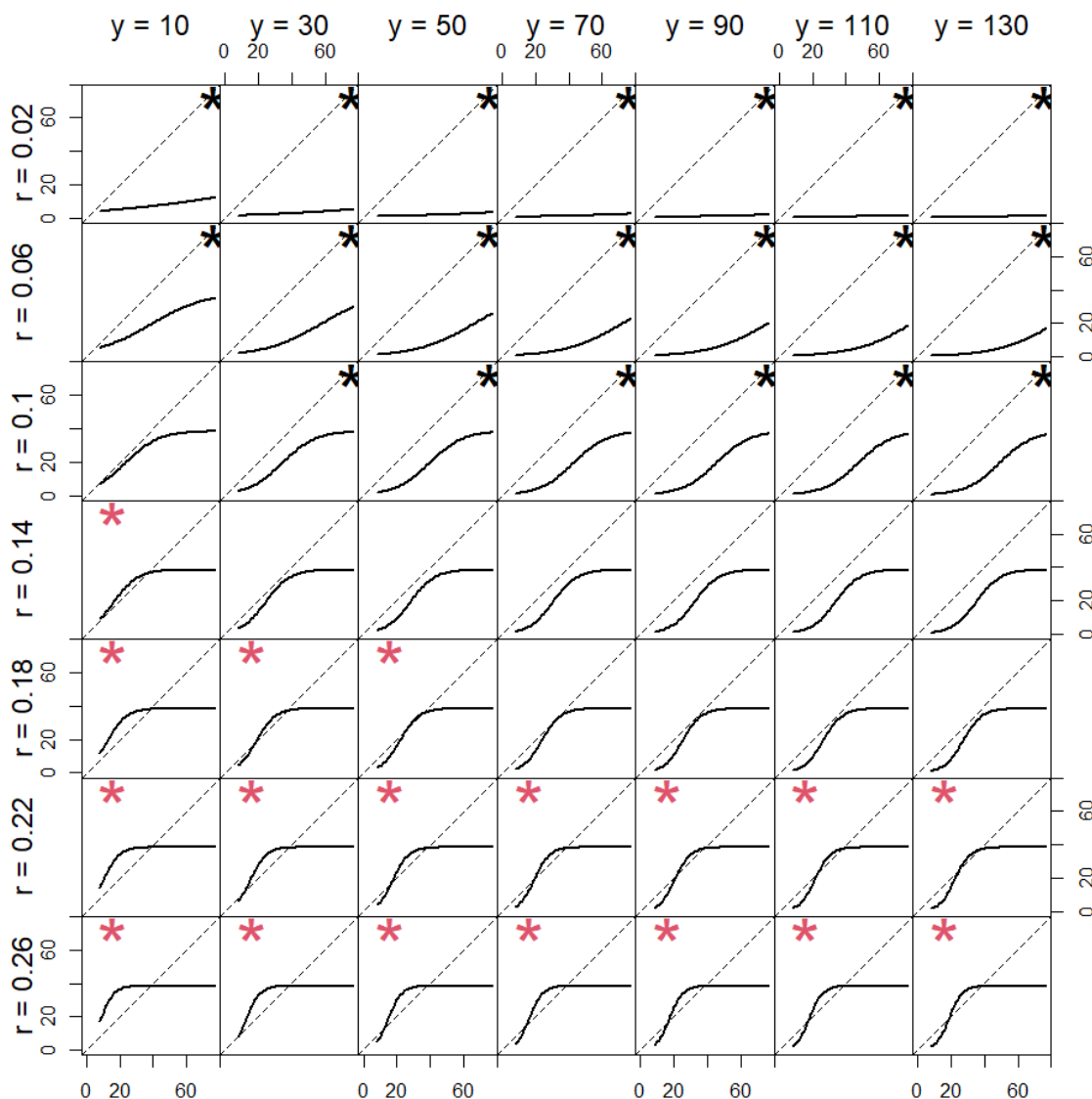


Figura 12. Aplicación de la ecuación de capacidad de carga física usando diferentes valores de r y γ . La proporción tiburones embarcaciones fue definida como 2:1. Los asteriscos rojos representan modelos con proporciones menores a 1:1, los asteriscos en negro representan proporciones mayores a 1:1.

En la Fig. 13 se muestra el comportamiento de la CCF con valores de r de 0.14 y tres valores de γ que generan un crecimiento rápido ($\gamma = 30$), moderado ($\gamma = 70$) y lento ($\gamma = 130$) en el aprovechamiento de la actividad de nado y observación del tiburón ballena. En la tabla 7 se muestran los valores de la CCF en estos escenarios.

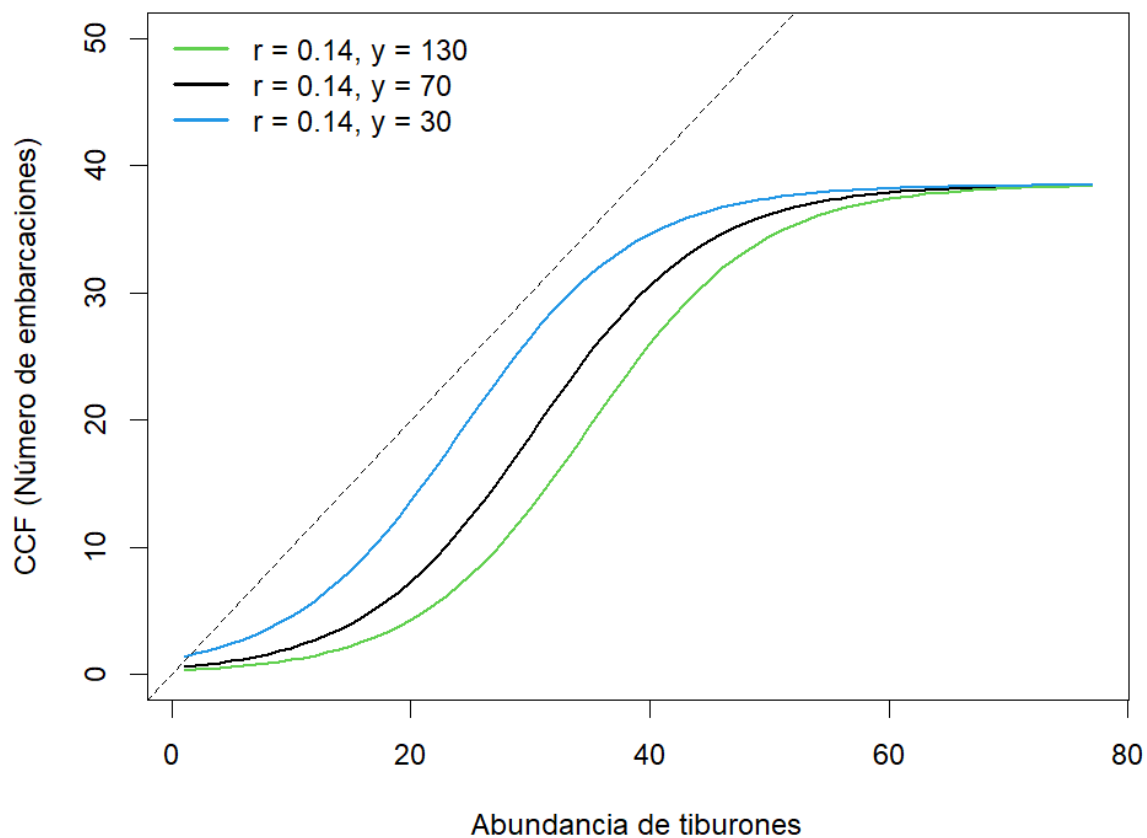


Figura 13. Comparación del modelo de capacidad de carga física estimada con 3 valores del parámetro Y.

Tabla 7. Capacidad de carga física estimada con 3 valores del parámetro γ . TB = Abundancia del tiburón ballena.

	Embarcaciones					Embarcaciones					Embarcaciones			
TB	$\gamma = 130$	$\gamma = 70$	$\gamma = 30$	TB	$\gamma = 130$	$\gamma = 70$	$\gamma = 30$	TB	$\gamma = 130$	$\gamma = 70$	$\gamma = 30$			
10	1	2	4	30	13	18	26	50	34	36	37			
11	1	2	5	31	14	20	27	51	34	36	37			
12	1	2	5	32	15	21	28	52	35	36	37			
13	1	3	6	33	16	22	29	53	35	36	37			
14	1	3	7	34	18	24	30	54	36	37	37			
15	2	4	8	35	19	25	31	55	36	37	37			
16	2	4	9	36	20	26	32	56	36	37	38			
17	2	5	10	37	22	27	32	62	37	38	38			
18	3	5	11	38	23	28	33	63	37	38	38			
19	3	6	12	39	24	29	34	64	37	38	38			
20	4	7	13	40	26	30	34	65	37	38	38			
21	4	8	14	41	27	31	35	66	38	38	38			
22	5	9	16	42	28	32	35	70	38	38	38			
23	6	10	17	43	29	32	35	71	38	38	38			
24	6	11	18	44	30	33	36	72	38	38	38			
25	7	12	20	45	31	34	36	73	38	38	38			
26	8	13	21	46	31	34	36	74	38	38	38			
27	9	14	22	47	32	35	36	75	38	38	38			
28	10	16	24	48	33	35	37	76	38	38	38			
29	11	17	25	49	33	35	37	77	38	38	38			

7.2.2 Capacidad de carga real (CCR)

La estimación de la CCR se basó en la ecuación 7 presentada en la sección 6.3.2, misma que involucra la estimación de los factores de corrección de las anomalías de la temperatura superficial del mar FC_{ATSM} y anomalías de la concentración de clorofila-a FC_{ACLA} .

7.2.2.1 Factor de corrección de las anomalías de la temperatura superficial del mar

Para estimar el FC_{ATSM} se utilizó un modelo de regresión lineal en donde la variable respuesta es la abundancia mensual de tiburón ballena registrada en el periodo noviembre 2004 – mayo 2024 y las anomalías de temperatura para el mismo periodo. En la Fig. 14 se aprecia que existe una relación lineal y positiva entre la abundancia del tiburón ballena y las anomalías de temperatura del mar, sin embargo, el coeficiente de determinación ($R^2=0.13$) sugiere que la variabilidad de la

abundancia de la especie solo puede ser explicada en un 13%, por lo tanto, se sugiere que FC_{ATSM} solo puede tomar valores entre 0.87 y 1, es decir, que en condiciones con anomalías positivas mayores a 2°C este factor tomará valores de 1, mientras que en condiciones con anomalías negativas menores a -2°C tomará valores de 0.87. En la tabla 8 se muestran diferentes valores de anomalías de temperatura y el valor resultante de FC_{ATSM} .

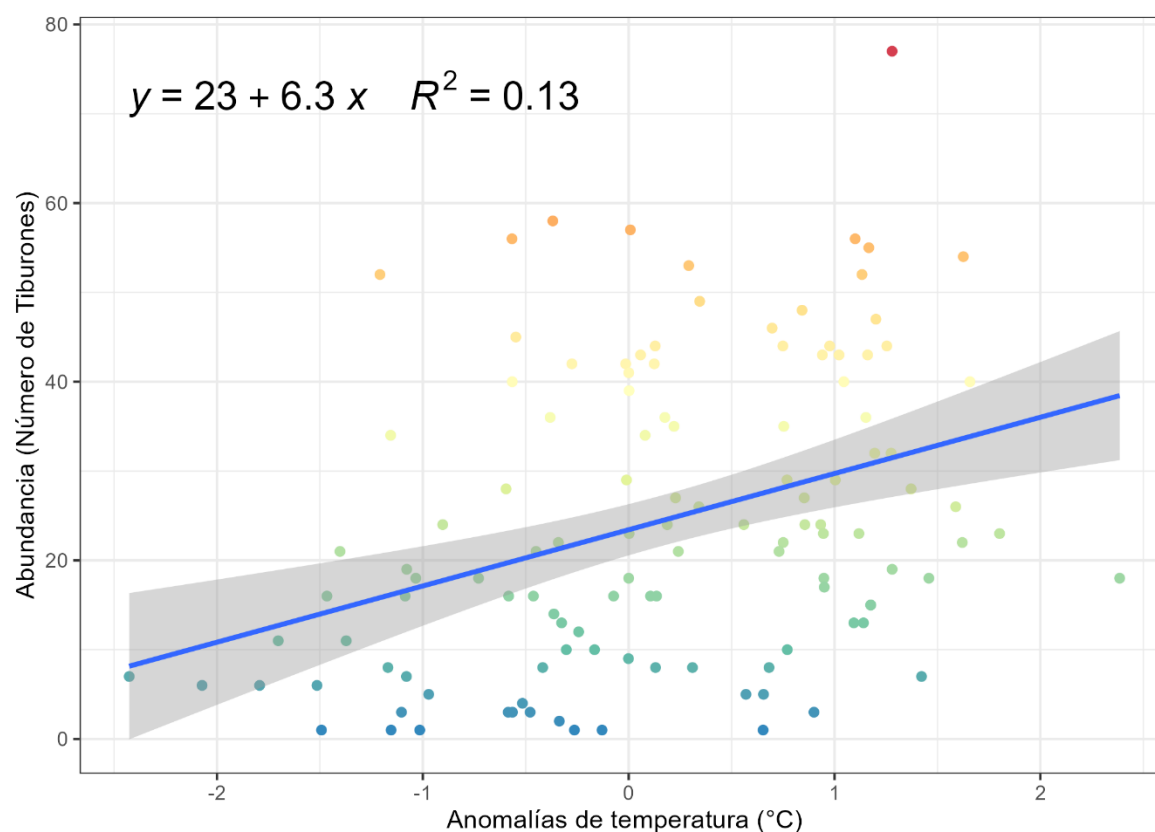


Figura 14. Modelo de regresión lineal empleado para describir el efecto de las anomalías de la temperatura del mar y la abundancia de tiburones ballena en el periodo 2004–2024.

Tabla 8. Factor de corrección para las anomalías de la temperatura superficial del mar (ATSM)

ATSM	FC_{ATSM}	ATSM	FC_{ATSM}	ATSM	FC_{ATSM}
-2.40	0.87	-0.60	0.92	1.00	0.96
-1.90	0.88	-0.20	0.93	1.50	0.98
-1.50	0.89	0.10	0.94	1.90	0.99
-1.10	0.91	0.60	0.95	2.30	1.00

7.2.2.2 Factor de corrección de las anomalías de la concentración de clorofila-a

Para estimar el FC_{ACLA} se utilizaron modelos de regresión lineal en donde la variable respuesta es la abundancia mensual de tiburón ballena en el periodo noviembre 2004 – mayo 2024 y las anomalías de clorofila-a para el mismo periodo. En la Fig. 15 se aprecia que existe una relación lineal y negativa entre la abundancia del tiburón ballena y las anomalías de temperatura del mar, sin embargo, el coeficiente de determinación ($R^2=0.047$) sugiere que la variabilidad de la abundancia de la especie solo puede ser explicada en un 4.7%, por lo tanto, se sugiere que FC_{ACLA} solo puede tomar valores entre 0.953 y 1, es decir, que en condiciones con anomalías positivas mayores a 3 mg m^{-3} este factor tomará valores de 0.953, mientras que en condiciones con anomalías negativas menores a -1.5 mg m^{-3} tomará valores de 1. En la tabla 9 se muestran diferentes valores de anomalías de clorofila y el valor resultante de FC_{ACLA} .

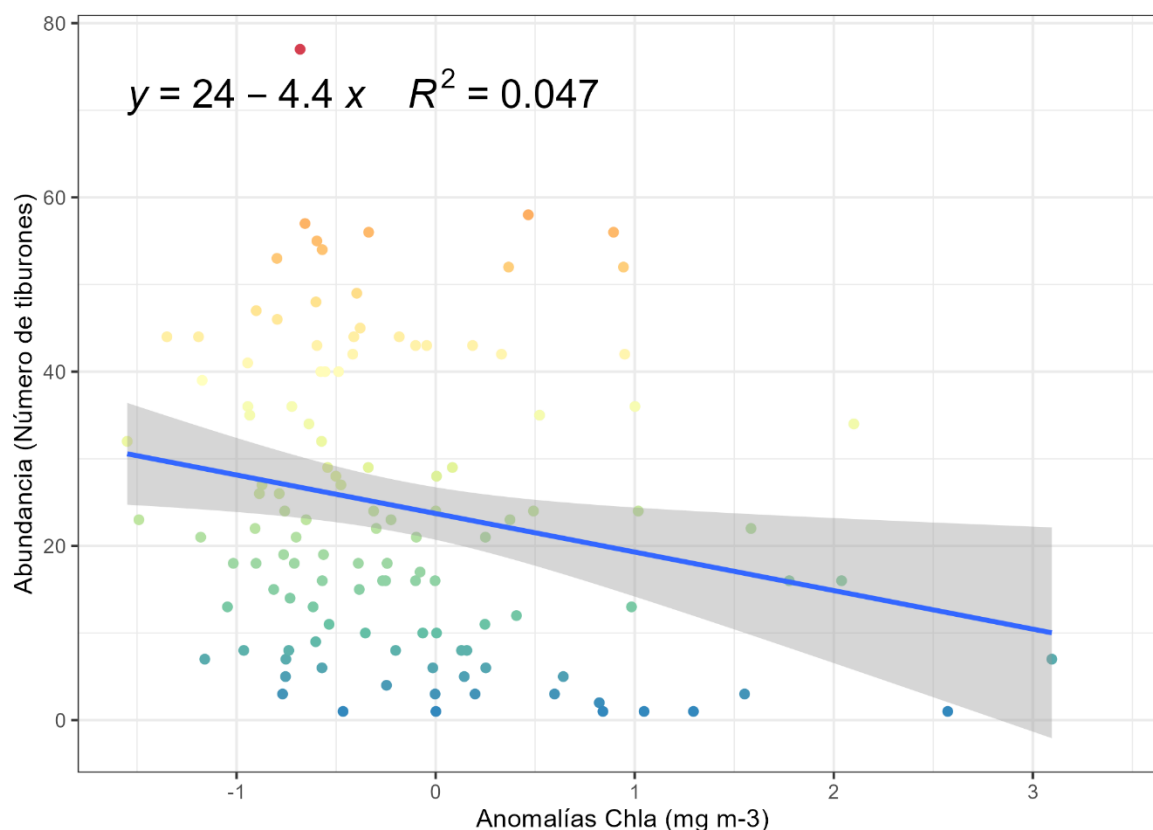


Figura 15. Modelo de regresión lineal empleado para describir el efecto de las anomalías de la concentración de clorofila-a (Cla) y la abundancia de tiburones ballena en el periodo 2004 – 2024.

Tabla 9. Factor de corrección para las anomalías de la clorofila-a (ACLA)

ACLA	FC_{ACLA}	ACLA	FC_{ACLA}	ACLA	FC_{ACLA}
-1.50	0.95	0.20	0.97	2.00	0.99
-1.00	0.96	0.70	0.97	2.50	0.99
-0.60	0.96	1.10	0.98	2.90	1.00
-0.10	0.97	1.60	0.98	3.40	1.00

Los resultados muestran que la abundancia tiene una relación positiva con las anomalías de la temperatura superficial del mar, aunque con una baja capacidad explicativa $R^2=0.13$, lo que sugiere que otras variables podrían tener una mejor capacidad explicativa, por otro lado, la clorofila-a muestra una relación opuesta con un coeficiente de determinación de $R^2=0.047$, lo que arroja que la productividad no es tan determinante para su relación con la abundancia como se creía. La reestructuración del modelo de capacidad de carga y la modificación periódica de los factores de correlación ajustará las variables en el modelo.

7.2.3 Capacidad de carga real (CCE)

La estimación de la CCE se basó en la ecuación 13 presentada en la sección 6.3.3, misma que involucra la estimación de los factores de corrección de las lesiones de los tiburones $CM_{\%L}$ y el factor de corrección de los excesos de velocidad $CM_{\%EX}$.

En la Fig. 16 se muestran tres escenarios de la CCE usando tres valores de diferentes valores de $CM_{\%L}$ (0, 40 y 80%) y de $CM_{\%EX}$ (0, 5 y 15%), los valores de FC_{ATSM} y FC_{ACLA} se dejaron fijos considerando un año “normal”, es decir, con anomalías de 0.

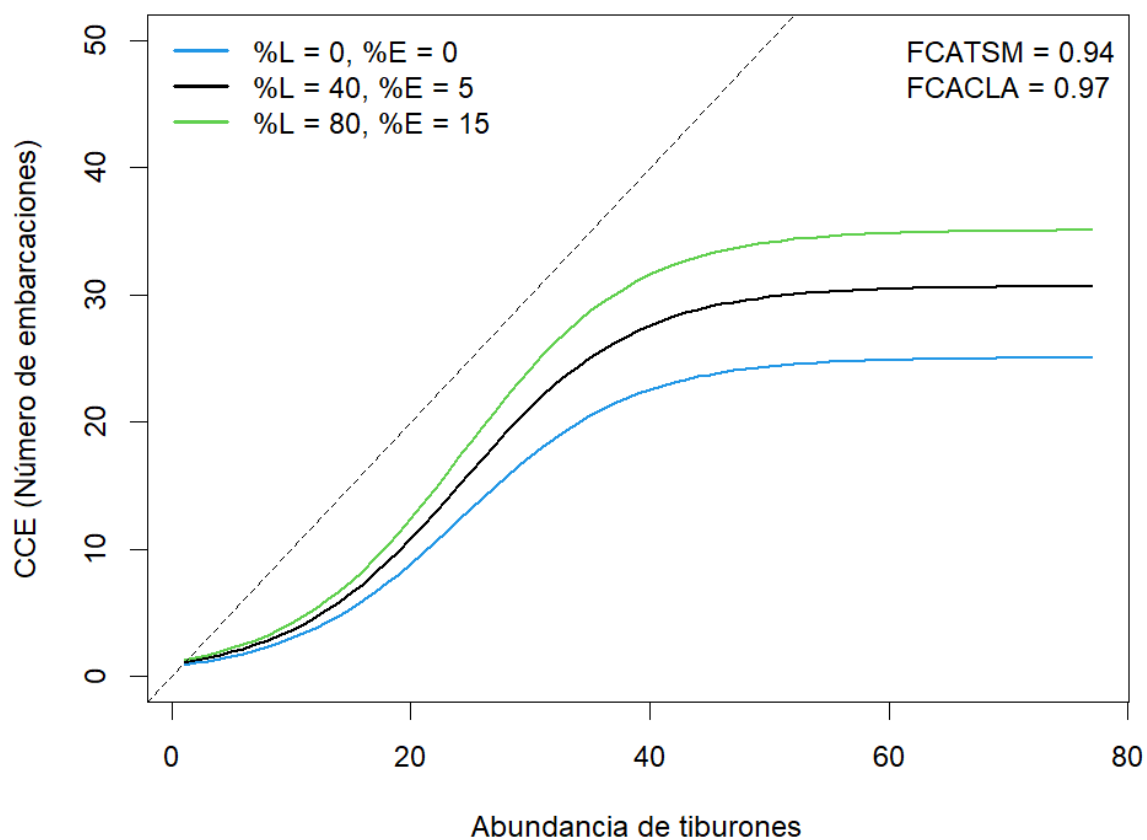


Figura 16. Comparación del modelo de capacidad de carga efectiva estimada con 2 valores de los parámetros % Lesiones y % Excesos de velocidad.

8. DISCUSIÓN

8.1 Unidades de esfuerzo

Este estudio mostró como las unidades de esfuerzo comprobaron ser una herramienta importante para entender los efectos de la actividad turística sobre los recursos naturales (p.e., tiburón ballena) y en las comunidades involucradas. Para este estudio, la evaluación del esfuerzo turístico se midió a través de distintas variables de esfuerzo (Tabla 5) entre las que destacaron el número de pasajeros (Fig. 2) y número de embarcaciones (Fig. 6). Esta evaluación permitió identificar patrones en el aprovechamiento no extractivo en la actividad de observación y nado con tiburón ballena, donde la meta por parte de autoridades y usuarios es buscar un equilibrio entre la conservación de la especie, la viabilidad económica y el bienestar de la comunidad (Bertoni, 2008; SEMARNAT, 2024a).

Para el periodo 2020 a 2023, las tendencias durante las temporadas entre variables como la duración de los viajes (Tabla 5), número de pasajeros (Fig. 2), número de viajes (Fig. 7, 8 y 9), embarcaciones (Fig. 6), tiempo dentro del polígono (Tabla 5) y el porcentaje de ocupación en la Zona I (Tabla 6) reflejan una dinámica turística y operatividad de las embarcaciones afectada por factores externos e internos. En la bahía de La Paz se tiene un registro promedio de pasajeros por día de 392, mientras que en Yum Balam resulta en un total de 1,350 pasajeros por día de acuerdo con el estudio de capacidad de carga del área natural protegida (SEMARNAT y CONANP, 2014; SEMARNAT, 2024b). Específicamente, la temporada 2020-2021 se caracterizó por las restricciones operativas debido a factores externos como la pandemia por COVID-19. Esto causó una reducción en la actividad de observación y nado con tiburón ballena generando un aforo por embarcación de solo el 50% de su capacidad de pasajeros. Estas mismas restricciones de aforo se aplicaron simultáneamente en otras actividades de observación de megafauna en la región, como fue la actividad de observación de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en Bahía Magdalena, reportando una caída de más del 50% en la afluencia durante la pandemia (García-Castañeda *et al.*, 2024). Posteriormente en la temporada 2021-2022 ocurrió una recuperación post-covid (Fig. 5) donde los factores intrínsecos a la actividad, como el número de permisos entre años y la estacionalidad

en la abundancia de los tiburones, ha variado la capacidad de carga dentro de la temporada, reflejando diferencias entre años en las actividades (SEMARNAT, 2021).

La temporada 2022-2023 fue marcada por la ausencia de ejemplares en la zona de avistamiento que llevo a la suspensión de actividades (Méndez, 2023). Esto está asociado, entre otros factores, a la variabilidad estacional en la abundancia del tiburón ballena observado en todas las temporadas, donde usualmente los picos de abundancia se observan en diciembre y marzo (p.33 SEMARNAT, 2024b). La variabilidad en la abundancia será un elemento clave en la actividad por actuar como regulador en la duración de la temporada (Ketchum Mejía, 2003), así como el número de embarcaciones por día. Otro factor estacional observado en las tendencias de embarcaciones y pasajeros son los incrementos de unidades asociados a periodos vacacionales, como se observa en la Fig. 7, 8 y 9, en vacaciones decembrinas (diciembre-enero) y semana santa (marzo-abril).

El número de viajes o embarcaciones por día (asumiendo que un viaje = una embarcación) para la Bahía de La Paz (Fig. 7, 8 y 9) está condicionado a 56 viajes por embarcación de acuerdo con las reglas de operación de la Zona I (p28, SEMARNAT, 2023). Sin embargo, en la temporada 2020-2021 se observaron picos de viajes por embarcaciones de hasta 76 embarcaciones en el periodo vacacional de diciembre 2021 (Fig. 7), y para la temporada 2021-2022 hubo un máximo de 60 y 62 embarcaciones en diciembre y enero respectivamente. Donde para la temporada 2022-2023 el número de viajes se regularizó a 56 embarcaciones por día (esto es, 4 turnos de 14 embarcaciones por día).

La duración de los viajes (Tabla 5) se comportó de manera similar durante las temporadas 2020 a 2022 (1.5 horas/viaje), donde el tiempo de interacción o nado por individuo de tiburón ballena no debe de rebasar los 30 minutos y cinco nadadores (SEMARNAT, 2024b). Para la temporada 2022-2023 se observó un aumento del 13% (1.73 horas/viaje) posiblemente, asociado al tiempo de búsqueda por la baja densidad de ejemplares. En otras zonas de observación de tiburón ballena en México dentro de áreas naturales protegidas, como en la Zona Marina Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y de Salsipuedes, y Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, la regulación en tiempo e interacción de pasajeros a través del nado, con el tiburón ballena se regula

de manera similar al Área de refugio Bahía de La Paz, sin distinguir características particulares por región (NOM-171-SEMARNAT-2018, SEMARNAT, 2024a; SEMARNAT & CONANP, 2023). Sin embargo, es recomendable que la heterogeneidad de cada localidad (Área Natural Protegida) sea integrada en su respectivo plan de manejo.

El porcentaje de ocupación de las embarcaciones vario entre 33% (noviembre) a 75.41% (abril) en la Zona I (Fig. 11). Sin embargo, la mayor densidad espacial registrada de embarcaciones en el polígono de la zona I fue una pequeña zona ubicada al sureste de la Bahía de La Paz (área intermedia entre las localidades de “las casitas y dunas”), representando el área más utilizada por prestadores dentro del polígono de agregación del tiburón ballena en el área del Mogote. De acuerdo con algunos estudios en esa zona, la presencia de los tiburones se asocia a una alta concentración de zooplancton, particularmente copépodos (*Acartia* spp) y condiciones hidrográficas específicas, como la temperatura superficial del mar y salinidad superficial del mar (Ketchum2003; Hacoheñ Domené, 2007).

8.2 Modelo de estimación de la Capacidad de carga

La presente investigación propone una modificación del modelo original de capacidad de carga propuesto por (Cifuentes, 1992) diseñado para áreas naturales protegidas terrestres hacia su aplicación marina. Brevemente, el proceso para determinar la capacidad de carga efectiva (CCE) propuesto por el mismo autor, se basa como primer nivel en la determinación de una capacidad de carga física (CCF); después, como segundo nivel, define una capacidad de carga real (CCR), hasta llegar a un tercer nivel (o CCE) en función de la capacidad de manejo en la zona por la actividad (CM).

De acuerdo con Cifuentes (1992) se define a la capacidad de carga terrestre como el número máximo de visitantes que puede haber en un área determinada sin causar un deterioro en el ambiente y sin disminuir la calidad de la experiencia del visitante. En su aplicación metodológica en ecosistemas marinos, la CCF también considera un espacio físico (área/visitante) donde se desarrollaría la actividad de nado y observación. Por ejemplo, en la Isla Kish, en el Golfo Pérsico, la CCF se midió como el área disponible y número de visitantes en la zona de observación de

arrecifes de coral (Shokri y Mohammadi, 2021). Así mismo, en la Isla Guadalupe, en México, se determinó la CCF estimando el número de embarcaciones por área para observar al tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) (Santana-Morales et al., 2021).

Existen los casos donde la capacidad de carga física no es sobre un área, sino sobre un recurso como sucede con la megafauna marina. Este caso sucede en la actividad de observación y nado del tiburón ballena, donde los nadadores realizan la actividad alrededor del tiburón, es así como la CCF se estima directamente de la abundancia del tiburón ballena [p.e., Holbox, Quintana Roo: SEMARNAT & CONANP, 2014); La Paz (SEMARNAT 2024b; García-Baciero et al., 2025)].

El presente estudio propone una modificación al modelo de Cifuentes (1992) proponiendo un enfoque considerando una función sigmoideal (ecuación 6). Esto da la ventaja que permite establecer una CCF finita o número de embarcaciones operantes con relación al número de tiburones en un periodo dado, donde el numerador considera la abundancia total de los tiburones, y además permite considerar un factor de incertidumbre que considera el comportamiento gregario del tiburón, el parámetro p de ecuación 6, el cual es tomado por los trabajos anteriores considerando tiburones solitarios o una relación 1:1 (i.e., una embarcación por un tiburón ballena). Donde otros estudios reportan densidades de tiburones ballena de 4 (Bahía de La Paz: (Ketchum *et al.*, 2013) hasta 23 individuos (Caribe: de la Parra Venegas et al., 2011) por km^2 y algunos prestadores mencionan que observan que se pudieran agregarse entre 2 y 5 tiburones en zonas de observación, siendo un área de 0.007850 km^2 (comunicación personal). Adicionalmente, este comportamiento de agregación se observó indirectamente en la distribución espacial de la operación de las embarcaciones en La Paz, agrupándose cada temporada en una micro-región al sureste del Mogote donde se encuentran los tiburones (Fig. 10). El valor de densidad o agregación se desconoce o es incierto por parte de autoridades y prestadores de servicio (comunicación personal), por lo que se consideraron los escenarios exploratorios proporción embarcación: tiburón ballena de 1:1, 1:2 y 1:3, lo que disminuiría el área real de la superficie disponible de operación y nado al ser menos tiburones disponibles. Así mismo, el modelo explora los posibles valores de los parámetros para considerar una velocidad de entrada de las embarcaciones, el parámetro r , y un parámetro de ajuste de velocidad, denominado γ , en

función de la abundancia de los tiburones (ver ecuación 6), manteniendo el supuesto que dos o más embarcaciones usen un solo tiburón.

Para la capacidad de carga real (CCR) donde se aplicaron factores de corrección a CCF a partir de variables físicas, ambientales, ecológicas sociales y de manejo (Cifuentes, 1992) consideró factores de corrección de CCF como fue el brillo solar, precipitación, y erodabilidad, entre otros. Para el caso del entorno marino considerando al tiburón ballena, estudios previos usando la modificación de Cifuentes han considerado principalmente como factores de corrección el viento (SEMARNAT, 2023; García-Baciero *et al.*, 2025), o condiciones climáticas combinando vientos y mareas, incluyendo el número de tiburones ballena disponibles (SEMARNAT & CONANP, 2014). Para el caso de la CCR en arrecifes de coral, se consideran como factores de corrección al factor social, factor de fragilidad, factor de daño por contacto, factor de accesibilidad por viento (Shokri y Mohammadi, 2021).

Para el presente estudio, se propone explorar como factores de corrección de la CCF a la relación entre las variables ambientales, como temperatura superficial del mar (TSM) y la clorofila a (Cla), por su posible relación con la abundancia de los tiburones ballena. Sin embargo, el efecto de las variables ambientales como la TSM y Cla en la abundancia o preferencias del tiburón ha resultados variables. En el Océano Índico, se encontró que la TSM está relacionada estadísticamente con la idoneidad del hábitat entre rangos de temperatura de 26° C y 30°C para el tiburón ballena, así como la Cla y la profundidad (Sequeira *et al.*, 2012). En el océano Atlántico e Indico, la TSM fue un predictor importante para tiburón ballena, mientras que en el océano Pacífico no tuvo un efecto significativo, y la Cla no demostró tener éxito al momento de predecir la abundancia (Sequeira *et al.*, 2014). Sin embargo, otro estudio en el Pacífico mostró que los tiburones ballena muestran preferencia de residencia en hábitats en agua somera y caliente (>22°C) con probabilidad del 94% (Ryan *et al.*, 2017). En Bahía de los Ángeles, la predicción de la abundancia de tiburones ballena y su condición con variables ambientales interanuales, resultó en una mayor abundancia cuando la TSM superó los 19°C, y paralelamente, la Cla tiende a tener valores alrededor de 1.7-1.9 mg/m³ (Jaramillo-Gil *et al.*, 2023). Para el presente estudio, hubo una relación débil y proporcional entre la abundancia y la TSM ($R^2 = 0.13$) e inversa con la Cla ($R^2 = 0.04$). Pero mostró patrones generales

observados en otros estudios, como la predicción por TSM cálidas (Sequeira et al., 2012; Jaramillo-Gil et al., 2023), y valores entre 1 y 2 mg/m³ de Cla (Jaramillo-Gil et al., 2023). Esta baja capacidad explicativa en las variables sugiere la posibilidad que otras variables pudieran llegar a explicar más la abundancia estacional en la Bahía de La Paz (Fig.14 y 15).

En el tercer nivel de la estimación de la capacidad de carga, la CCE considera la capacidad mínima de manejo de acuerdo con la eficiencia de administración del área protegida. En las estimaciones de capacidad de carga efectiva en estudios previos de planes de manejo en bahía de La Paz (SEMARNAT, 2023), la capacidad de manejo ha integrado como factor de corrección al porcentaje de tiburones lesionados, siendo de 56% para la temporada 2015-2016 (SEMARNAT, 2024a). Así mismo, García-Baciero et al., (2025) además del porcentaje de lesiones de tiburones (calculado en un 55% estimado de la temporada 2022-2023) incluye como factor adicional a el nivel de vigilancia (comunitaria, gubernamental y científica), inspecciones y registro de lesiones. El presente trabajo, propone como factor de ponderación la combinación de las variables porcentaje de lesiones y porcentaje de excesos de velocidad, sin embargo, se considera la posibilidad que las lesiones no sean directamente causadas por el prestador de servicios, esto bajo el supuesto que existe en la zona I gran vigilancia entre los mismos prestadores durante la actividad de nado. Donde existe mayor riesgo de lesiones por colisiones de embarcaciones navegando a excesos de velocidad en la zona III o canal de navegación, donde no hay límite aparente de velocidad y existen antecedentes de colisiones. Existen reportes en los principales medios de comunicación reportando estos incidentes dentro del canal de navegación en bahía de La Paz, (BCSnoticias, 2016, 2018, 2024). Este problema de colisiones con megafauna es recurrente a nivel global donde interactúan embarcaciones con tiburones ballena, por mencionar algunos lugares: Golfo de México, Golfo de Panamá, Golfo Árabe, costa noroeste de Australia, Qatar en el Golfo Árabe, costa norte de Guinea (Schoeman et al., 2020; Womersley et al., 2025). Es por esto, que la CCE considera solo el 20% de responsabilidad a la actividad turística de nado con tiburón. Sin embargo, para el caso de excesos de velocidad, se considera el 100% del peso del factor por poner en riesgo al recurso y a los involucrados en la misma actividad.

8.3 Estrategias de operación en la flota

De acuerdo con el aprovechamiento no extractivo de la especie incluyendo las actividades de buceo, nado y observación de tiburón ballena, se define al aprovechamiento sustentable como la utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos por periodos indefinidos (SEMARNAT, 2024a). De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-142-SCFI-2008 referente a las actividades sustentables serán aquellas que garanticen la conservación y protección de la especie y su hábitat promoviendo la autorregulación de los prestadores de servicio interesados mediante la capacitación para realizar el aprovechamiento no extractivo del tiburón ballena de manera segura y responsable tanto para la especie y su hábitat como para los usuarios del servicio (Secretaría de Economía, 2008). Debido a que no hay un índice o medida sobre la sustentabilidad, se toma como aproximación a la actividad y sus lineamientos expuestos en las normas y plan de manejo, antes expuestos, especialmente considerando como límite sustentable que solo exista una embarcación por tiburón ballena sin alterar su comportamiento. El presente modelo considera una aproximación operativa a la sustentabilidad bajo el supuesto de cumplir mantener una embarcación por tiburón ballena (NOM-171-SEMARNAT-2018), adicionalmente pudiendo incluir un factor de corrección a la densidad observada (p) no incluido en el modelo (García-Baciero et al., 2025). Los resultados del modelo de capacidad de carga propuesto cumplen con este supuesto e inclusive operan por debajo de la proporción sustentable 1:1, cayendo en un posible principio precautorio (Fig. 13 y Fig. 16), definido como las acciones para reducir presión en el tiburón ballena asegurando la satisfacción de los usuarios. Este principio fue aplicado en el modelo de García-Baciero et al., (2025) al proponer para el inicio y final de la temporada una proporción de 40 embarcaciones totales por día y 23 tiburones, correspondiendo para un día con 4 turnos a 10 embarcaciones por turno, cuatro menos que lo estipulado por el plan de manejo (SEMARNAT, 2024b) y dando 1.6 tiburones por embarcación.

El inicio y final de temporada son las épocas de mayor vulnerabilidad de tiburones y falta de manejo (García-Baciero et al., 2025), porque se permitía operar a 14 embarcaciones para seis tiburones en 2023-2024 (SEMARNAT, 2023), y después se adaptó a seis tiburones y seis embarcaciones en 2024-2025 (SEMARNAT, 2024a). Por otro lado, el riesgo de no realizar la

actividad de forma sustentable podría causar estrés y una alteración en su comportamiento acompañados de acciones de evasión o abandono a otro hábitat, como sucedió en las actividades de observación en megafauna en Europa en las ballenas minke (*Balaenoptera acutirostris*), ballena sei (*Balaenoptera borealis*), ballena azul (*Ballena azul*), ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*), ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), y la ballena franca del Atlántico Norte (*Eubalaena glacialis*) (Isabel & Barón, 2019).

A partir de la modelación propuesta, se pudieran establecer tres escenarios de operación que representan distintos niveles de presión turística: precautorio, intermedio y operativo (Fig. 12). En el escenario precautorio (parámetro de ajuste de entrada de embarcaciones ($\gamma < 70$), donde se prioriza la protección del tiburón ballena, limitando al mínimo el número de embarcaciones permitidas en el área de observación. Este modelo sería más adecuado durante temporadas de baja abundancia o inicio o final de temporada como lo expresado por (García-Baciero *et al.*, 2025), para garantizar un impacto mínimo en la especie. Por otro lado, el escenario operativo ($\gamma > 70$) concede una mayor actividad turística más pegado a la proporción 1:1 de aprovechamiento sustentable, siendo más adecuado en temporadas de alta abundancia de tiburones. Y el escenario neutro es un punto intermedio entre los dos anteriores. Estos escenarios pudieran consensuarse entre autoridades y usuarios donde se determine en función del análisis por cada temporada que nivel operativo le conviene a la actividad del tiburón ballena.

Los resultados del modelo propuesto facilitan la identificación de límites operativos y condiciones ideales para una gestión sostenible de la actividad turística en función de la abundancia del tiburón ballena y nivel de manejo deseado. Esto resalta la importancia de aplicar estrategias adaptativas que se ajusten con el comportamiento del usuario, incluyan la variabilidad ambiental y abundancia/densidad del tiburón ballena, además de proporcionar las herramientas necesarias para tomar decisiones orientadas al bienestar del tiburón ballena (Womersley *et al.*, 2025). Considerar la parte social dentro de la toma de decisiones es importante para buscar el equilibrio entre la conservación y el desarrollo económico de la región (Prudnikov y Robles-Zavala, 2022).

9. CONCLUSIONES

- El esfuerzo turístico asociado a la actividad de nado y observación del tiburón ballena en La Paz, BCS presentó una alta variabilidad a lo largo de las tres temporadas analizadas. La temporada 2020-2021 experimentó una disminución significativa debido a las restricciones sanitarias impuestas por la pandemia de COVID-19. En contraste, la temporada 2021-2022 registró el mayor esfuerzo turístico, mientras que la temporada 2022-2023 se vio afectada por cambios en la abundancia de la especie, lo que llevó al cierre de la actividad en febrero de 2023.
- El modelo de capacidad de carga propuesto en este estudio considera la abundancia del tiburón ballena como un componente principal, modulable a través de su relación con variables ambientales como la temperatura y la concentración de clorofila-a. Asimismo, integra factores relacionados con el cumplimiento de buenas prácticas por parte de la flota dentro del polígono donde se lleva a cabo la actividad.
- El análisis de la capacidad de carga real sugiere que el ambiente tiene un efecto limitado sobre la abundancia de la especie. Por lo tanto, se recomienda que cualquier ajuste a la capacidad de carga en función de variables ambientales sea mínimo.
- El modelo propuesto también indica que el número de excesos de velocidad dentro del polígono debe penalizar proporcionalmente la capacidad de carga turística, reduciendo el número permitido de embarcaciones con el fin de mitigar posibles impactos negativos en la especie y su hábitat.

9.1 Recomendaciones

- Implementar estrategias con base en el modelo propuesto para controlar el número de embarcaciones en función de la abundancia.
- Capacitar continuamente a los actores involucrados en el desarrollo de prácticas sostenibles de la actividad.
- Mantener un monitoreo continuo del tiburón ballena en la Bahía de La Paz, en conjunto con las autoridades, comités científicos, guías y capitanes, así como con los prestadores de servicios turísticos autorizados.

- Para garantizar la efectividad a largo plazo del modelo, es importante implementar un sistema de monitoreo diario, (p.ej. utilizando drones) y que esto permita ajustar la capacidad de carga de acuerdo con la abundancia, densidad espacial, condiciones ambientales e implementaciones en la capacidad de manejo modificando la capacidad de carga efectiva en el área, buscando así la sostenibilidad de la actividad turística sin comprometer el recurso.
- Crear espacios de dialogo, retroalimentación y alianza entre investigadores, prestadores de servicios, comités y autoridades encargadas para mejorar la gobernanza en el recurso y el área.
- Evaluar la posibilidad de incorporar el modelo de estimación de la capacidad de carga en el desarrollo de la actividad.

10. LITERATURA CITADA

- Bauzá Martorell, F.J. (2019). Limitaciones territoriales y medio ambientales al turismo: capacidad de carga y capacidad de acogida. *Revista Española de Derecho Administrativo*, 189: 313-346
- BCSnoticias. (2016). Tiburón ballena fue lastimado en la bahía de La Paz, por embarcación a exceso de velocidad - BCS Noticias. Disponible en: <https://www.bcsnoticias.mx/tiburon-ballena-fue-lastimado-en-la-bahia-de-la-paz-por-embarcacion-a-exceso-de-velocidad/>. [consulta: 18 febrero 2025]
- BCSnoticias. (2018). Localizaron ejemplar de tiburón ballena con lesiones en la Bahía de La Paz - BCS Noticias. Disponible en: <https://www.bcsnoticias.mx/localizaron-ejemplar-tiburon-ballena-lesiones-la-bahia-la-paz/>. [consulta: 18 febrero 2025]
- BCSnoticias. (2024). Captan a embarcación pasando por arriba de un tiburón ballena, en La Paz - YouTube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=mHWuRZeT1X4>. [consulta: 20 febrero 2025]
- Begon, M. y Townsend, C.R. (2021). *Ecology: from individuals to ecosystems* Fifth edition ed. Hoboken, NJ. ISBN: 9781119279358
- Bertoni, M. (2008). Turismo sostenible: su interpretación y alcance operativo. *Revista Colombiana de Geografía*, 17: 155-163
- Cárdenas, N., Trujillo-Córdova, J. y Mimila-Herrera, E.A. (2019). Descifrando al misterioso tiburón ballena, el pez más grande del mundo. *Biodiversitas*, 143: 1-7. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/344332399>
- Castillo, R., Barcia, D. y Moreira, R. (2023). Capacidad de carga turística de las playas “Liguiqui” y “El Murciélago” del Cantón Manta, Ecuador. *CEDAMAZ*, 13(2): 132-139. doi: 10.54753/cedamaz.v13i2.2025
- Cifuentes, M. (1992). Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas. CATIE, Turrialba, Costa Rica. ISBN: 9977571295
- de la Parra Venegas, R., Hueter, R., Cano, J.G., Tyminski, J., Remolina, J.G., Maslanka, M., Ormos, A., Weigt, L., Carlson, B. y Dove, A. (2011). An unprecedented aggregation of whale sharks, *Rhincodon typus*, in Mexican coastal waters of the Caribbean sea. *PLoS ONE*, 6(4): 1-8. doi: 10.1371/journal.pone.0018994
- Gálvez-Izquieta, P.C. y Mendoza-Tarabó, A.E. (2020). Capacidad de carga turística como herramienta para el desarrollo sostenible de playas: Caso Montañita, provincia de Santa Elena, Ecuador. *Revista Empresarial*, 14(1): 1-7. doi: 10.23878/empr.v14i1.171
- García Barón, I. (2019). *Integrating marine megafauna into ecosystem-based management: a multidisciplinary approach applied to southern European waters*. PhD Thesis., University of the Basque Country, Spain.
- García-Baciero, A., Acevedo-Escobedo, K.M., Cruz-Castillo, M. y Ramírez-Macías, D. (2025). Moving towards sustainable whale shark-human interactions: A case study in Bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Marine Policy*, 174: 1-13. doi: 10.1016/j.marpol.2025.106606
- García-Castañeda, O., Vilorio-Gómora, L., Ávila-Foucat, V.S., Vega-Peña, E.V., Quintero-Venegas, G.J., Urbán R, J., Swartz, S. y Martínez-Meyer, E. (2024). Climate change stands as the new challenge for whale watching and North Pacific gray whales (*Eschrichtius*

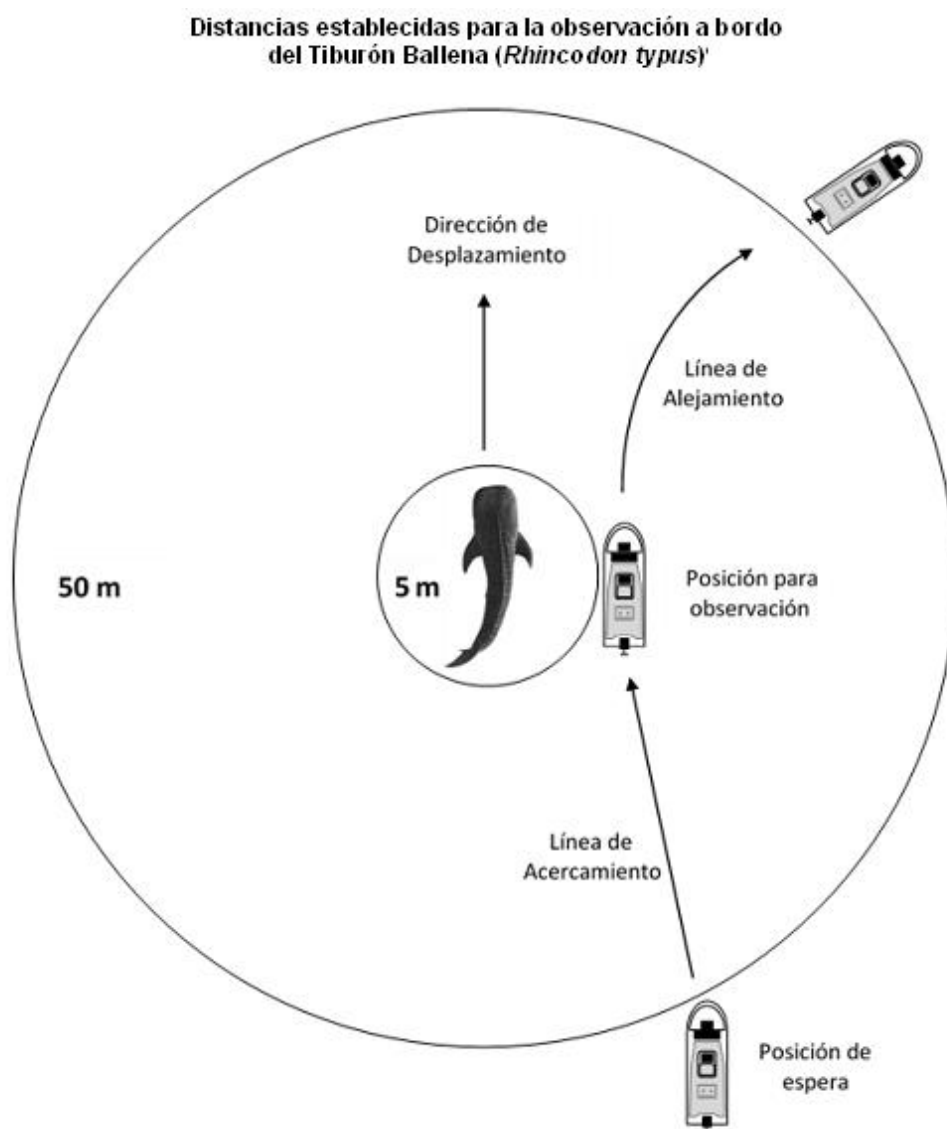
- robustus*) in Bahía Magdalena, Mexico, after their recovery from overexploitation. *Frontiers in Conservation Science*, 5: 1-20. doi: 10.3389/fcsc.2024.1397204
- Hacohen Domené, A. (2007). *Ecología alimentaria del tiburón ballena (Rhincodon typus, Smith 1828) en la Costa Occidental del Golfo de California, México. Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, México.
- Hernández Trejo, V., Moreno Gutiérrez, M. y Nezahualpilli Tovar Lee. (2021). Beneficios económicos de los servicios ecosistémicos recreativos del turismo de naturaleza con tiburón ballena en la Bahía de La Paz, México. *El Periplo Sustentable*, 41: 447-470
- Herrera-Cervantes, H., Beier, E. y Balart, E. (2017). Red de Monitoreo Ambiental para el estudio de la variabilidad Océano-Atmósfera en la Bahía de La Paz, B.C.S, México. *Recursos Naturales y Sociedad*. doi: 10.18846/renaysoc.2017.03.03.02.0003
- Hoenow, C.M. (2020). *Mpas and marine citizen science: Accessibility in the Monterey Bay National Marine Sanctuary. Master Thesis*. University of Rhode Island, USA
- Jaramillo-Gil, S., Pardo, M.A., Vázquez-Haikin, A., Bolaños-Jiménez, J. y Sosa-Nishizaki, O. (2023). Whale shark abundance forecast: The interannual hotspot effect. *Journal of Applied Ecology*, 60(6): 954-966. doi: 10.1111/1365-2664.14406
- Ketchum, J.T., Galván-Magaña, F. y Klimley, A.P. (2013). Segregation and foraging ecology of whale sharks, *Rhincodon typus*, in the southwestern Gulf of California. *Environmental Biology of Fishes*, 96(6): 779-795. doi: 10.1007/s10641-012-0071-9
- Ketchum Mejia, J.T. (2003). *Distribución espacio-temporal y ecología alimentaria del tiburón ballena (Rhincodon typus) en la Bahía de La Paz y zonas adyacentes en el suroeste del Golfo de California. Tesis de Maestría*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México.
- Lara-Pulido, J. A., Mojica, Á., Bruner, A., Guevara-Sanginés, A., Simon, C., Vázquez-Lavin, F., González-Baca, C. & Infanzón, M.J. (2021). A business case for marine protected areas: Economic valuation of the reef attributes of cozumel island. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8): 1-18. doi: 10.3390/su13084307
- Li, W., Wang, Y. y Norman, B. (2012). A preliminary survey of whale shark *Rhincodon typus* catch and trade in China: An emerging crisis. *Journal of Fish Biology*, 80(5): 1608-1618. doi: 10.1111/j.1095-8649.2012.03250.x
- MacGillivray, A.O., Mcpherson, C., McPherson, G., MacGillivray, A., McPherson, C., Izett, J., Gosselin, J., Li, Z. y Hannay, D. (2014). Modelling underwater shipping noise in the Great Barrier Reef Marine Park using AIS vessel track data. *Inter-noise 2014*, 1-10. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/270360977>
- Méndez, E. (2023). Suspenden nado con tiburón ballena en Bahía de La Paz, BCS. In: Excelsior. Disponible en: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/suspenden-hasta-nuevo-aviso-nado-con-tiburon-ballena-en-bahia-de-la-paz-bcs/1568201>. [consulta: 11 febrero 2025]
- Miranda-Torres, A., Revollo-Fernández, D.A., Beltrán-Morales, L.F. y Almendarez-Hernández, M.A. (2021). Valoración económica del servicio ecosistémico recreativo provisto por el tiburón ballena (*Rhincodon typus*, Smith, 1829) en la Bahía de La Paz, BCS, para la temporada de observación 2019-2020. *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 31: 1-27. doi: 10.24836/es.v31i58.1096
- Obeso-Nieblas, M., Shirasago-Germán, B., Gaviño-Rodríguez, J., Perez-Lezama, E., Obeso-Huerta, H. y Jiménez-Illescas, Á. (2008). Variabilidad hidrográfica en la Bahía de La Paz,

- Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 559-567.
- Prudnikov, E.K. y Robles-Zavala, E. (2022). La experiencia de nado con tiburón ballena *Rhincodon typus* en el Caribe Mexicano: Valoración económica y satisfacción del turista. *El Periplo Sustentable*, 43: 469-498
- Ramírez Macías, D., Murillo, R., Vázquez Haikin, A., Luja, V. y Mata, R. (2016). Monitoreo de tiburón ballena en Nayarit, Temporada 2014-2015. *Acta Pesquera*, 7-19.
- Reyes-Salinas, A., Cervantes-Duarte, R., Morales-Pérez, R.A. y Valdez-Holguin, 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*, 13(2): 103-110.
- Ryan, J.P., Green, J.R., Espinoza, E. y Hearn, A.R. (2017). Association of whale sharks (*Rhincodon typus*) with thermo-biological frontal systems of the eastern tropical Pacific. *PLoS ONE*, 12(8): 1-22. doi: 10.1371/journal.pone.0182599
- Sayan, M.S. y Atik, M. (2011). Recreation carrying capacity estimates for protected areas: A study of termessos national park. *Ekoloji*, (78): 66-74. doi: 10.5053/ekoloji.2011.7811
- Schoeman, R.P., Patterson-Abrolat, C. y Plön, S. (2020). A global review of vessel collisions with marine animals. *Frontiers in Marine Science*, 7: 1-25. doi: 10.3389/fmars.2020.00292
- Secretaría de Economía. (2008). NMX-AA-142-SCFI-2008. In: Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3507/seeco/seeco.htm>. [consulta: 22 febrero 2025]
- SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>. [consulta: 28 febrero 2025]
- SEMARNAT. (2019). NORMA Oficial Mexicana NOM-171-SEMARNAT-2018, Que establece las especificaciones para el desarrollo de actividades de aprovechamiento no extractivo para la observación y nado con Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*), relativas a su protección y a la conservación de su hábitat. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579132&fecha=19/11/2019#gsc.tab=0. [consulta: 28 febrero 2025]
- SEMARNAT. (2024a). Plan de manejo tipo para la conservación y el aprovechamiento no extractivo *Rhincodon typus* (Tiburón ballena) a través de la conservación y nado en la Bahía de La Paz, B.C.S. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- SEMARNAT. (2018). Acuerdo por el que se establece con el nombre de Bahía de La Paz el Área de Refugio para la protección de la especie que se indica, la porción del mar territorial que se señala localizada en el Estado de Baja California Sur. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545315&fecha=29/11/2018#gsc.tab=0. [consulta: 28 febrero 2025]
- SEMARNAT. (2024b). Plan de manejo tipo de *Rhincodon typus* (Tiburón ballena) para la conservación y aprovechamiento no extractivo a través de la observación y nado en el Caribe Mexicano y el Golfo de México. Disponible en: www.gob.mx/semarnat

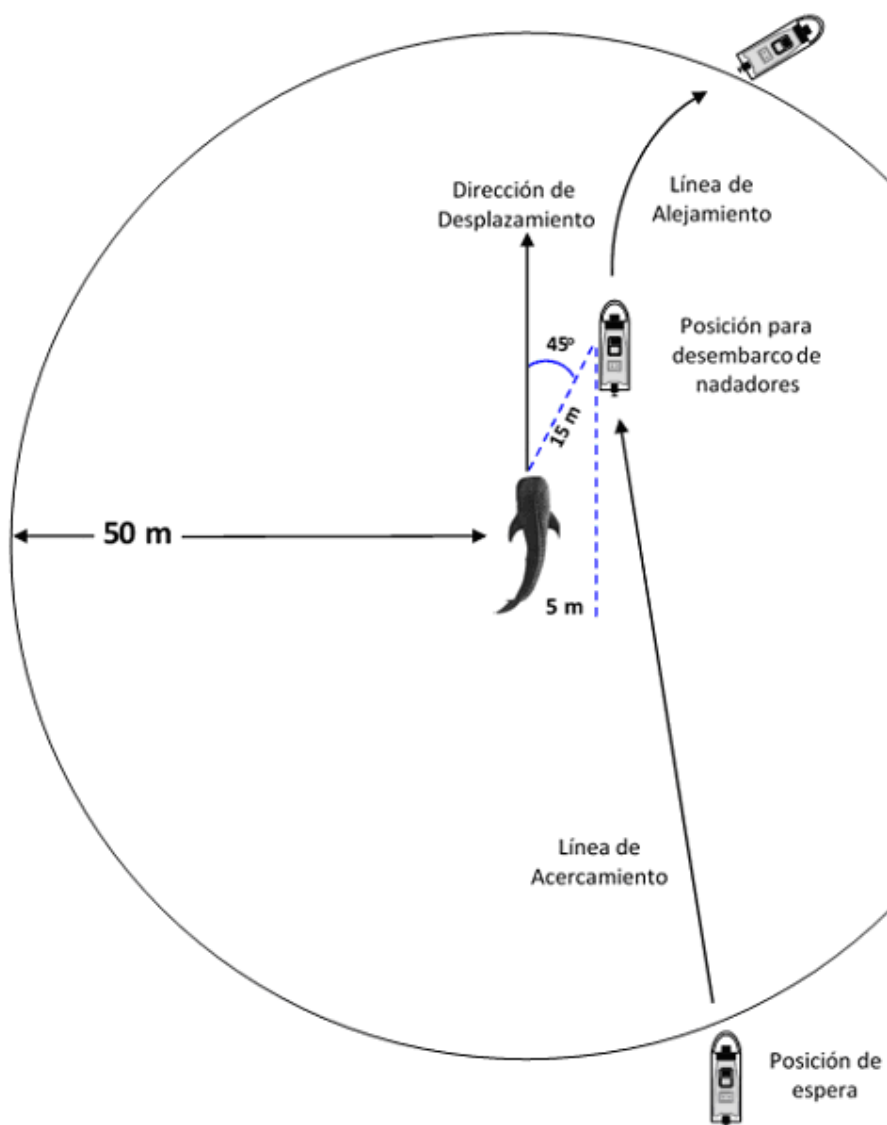
- SEMARNAT. (2021). Plan de manejo para la conservación y aprovechamiento no extractivo de Tiburón ballena (*Rhincodon typus*) a través de la observación y nado en la Bahía de La Paz, B.C.S. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- SEMARNAT. (2023). Plan de manejo tipo para la conservación y el aprovechamiento no extractivo de *Rhincodon typus* (Tiburón ballena) a través de la observación y nado en la Bahía de La Paz, B.C.S. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- SEMARNAT. (2024c). Plan de manejo tipo para la conservación y aprovechamiento no extractivo de *Rhincodon typus* (Tiburón ballena) a través de la observación y nado en Bahía de Los Ángeles, Baja California. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- SEMARNAT. y CONANP. (2023). Plan de manejo tipo de *Rhincodon typus* (Tiburón ballena) para realizar aprovechamiento no extractivo a través de la observación y nado en la zona de concentración de tiburón ballena, ubicada entre Isla Mujeres, Puerto Juárez, Chiquilá e Isla Holbox, frente a los municipios de Lázaro Cárdenas, Benito Juárez e Isla Mujeres del estado de Quintana Roo. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- SEMARNAT. y CONANP. (2014). Estudio capacidad de carga de la actividad turístico recreativa de observación y nado con tiburón ballena en la Reserva de la Biosfera Tiburón ballena y en el Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam y sus zonas de influencia. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- SEMARNAT. y CONANP. (2022). Plan de manejo para la conservación y aprovechamiento no extractivo de *Rhincodon typus* (tiburón ballena) a través de la observación y nado en la temporada 2022-2023. Disponible en: www.gob.mx/semarnat
- Sequeira, A., Mellin, C., Fordham, D.A., Meekan, M.G. y Bradshaw, C.J.A. (2014). Predicting current and future global distributions of whale sharks. *Global Change Biology*, 20(3): 778-789. doi: 10.1111/gcb.12343
- Sequeira, A., Mellin, C., Rowat, D., Meekan, M.G. y Bradshaw, C.J.A. (2012). Ocean-scale prediction of whale shark distribution. *Diversity and Distributions*, 18(5): 504-518. doi: 10.1111/j.1472-4642.2011.00853.x
- Shokri, M.R. y Mohammadi, M. (2021). Effects of recreational SCUBA diving on coral reefs with an emphasis on tourism suitability index and carrying capacity of reefs in Kish Island, the northern Persian Gulf. *Regional Studies in Marine Science*, 45: 1-14. doi: 10.1016/j.rsma.2021.101813
- Whitehead, D.A., Edmonds-Brown, V. y Zukowski, P. (2014). *Establishing a quantifiable model of whale shark avoidance behaviours to anthropogenic impacts in tourism encounters to inform management actions*. Master Thesis. University of Hertfordshire, United Kingdom.
- Whitehead, D.A., Jakes-Cota, U., Pancaldi, F., Galván-Magaña, F. y González-Armas, R. (2020). The influence of zooplankton communities on the feeding behavior of whale shark in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91. doi: 10.22201/ib.20078706e.2020.91.3054
- Womersley, Freya C., Humphries, Nicolas E., Queiroz, N. y et. al. (2025). Global collision-risk hotspots of marine traffic and the world's largest fish, the whale shark. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119: 1-10. doi: 10.1073/pnas

11. ANEXOS

Anexo A. Distancia de observación a bordo (5 m) y distancia de espera (50 m) para embarcaciones que realizan la actividad de observación y nado con Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*), (SEMARNAT, 2019).



Anexo B. Distancia a la embarcación para la realización de la actividad de nado con Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*), (SEMARNAT, 2019).



Anexo C. Distancias de nado con relación al Tiburón Ballena (*Rhincodon typus*), (SEMARNAT, 2019).

