



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**



**FACULTAD DE CIENCIAS**

**MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS**

“Evaluación del uso de madrigueras artificiales y sistemas acústicos como herramientas para incrementar el éxito reproductivo de tres especies de aves marinas en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California, México”

TESIS

Para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

Presenta

JESSICA NOEMI TRUJILLO LÓPEZ

Ensenada, Baja California, México, a 05 de enero de 2024.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS,  
CAMPUS ENSENADA.



**“Evaluación del uso de madrigueras artificiales y sistemas acústicos como herramientas para incrementar el éxito reproductivo de tres especies de aves marinas en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California, México”**

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
Maestra en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

PRESENTA

Jessica Noemi Trujillo López

322747

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, emite los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

Dr. Gorgonio Ruiz Campos

DIRECTOR

Dr. Guillermo Romero Figueroa

SINODAL

Dr. Gonzalo De León Girón

SINODAL

M. en C. Alejandra Fabila Blanco

SINODAL

**“Por la Realización Plena del Ser”**

C.c.p.- Archivo  
C.c.p.- Minutario

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California.

A la Maestría en Ciencias en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas por la oportunidad.

A mi director de tesis Dr. Gorgonio Ruiz Campos, y a mi asesora externa M. en C. Alejandra Fabila Blanco, por el apoyo y seguimiento recibido durante todas las etapas del presente estudio. Así mismo a los miembros del comité Dr. Dr. Gonzalo De León Girón y Dr. Guillermo Romero Figueroa por las correcciones y sugerencias vertidas al documento de tesis.

Al Grupo de Ecología y Conservación de Islas, especialmente a la Dra. Yuliana Bedolla Guzman y M. en C. Alejandra Fabila Blanco, Directora y Coordinadora del Proyecto de Conservación de Aves Marinas la oportunidad de colaboración y su disposición en todo momento a brindarme su asesoría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca número 794327 otorgada durante el periodo del 1 de mayo de 2021 al 31 de agosto de 2022, en apoyo a mis estudios de maestría en ciencias y a la realización de la presente tesis.

A Alejandra y Alicia por el excelente y divertido trabajo conjunto en campo, y a Alfredo por ser el mejor capitán de panga.

A Laura, Zayra y Esme, mis mejores amigas y mis figuras femeninas más dignas de admiración, gracias por siempre animarme a dar lo mejor de mí, las amo.

A mis compañeros de generación, en especial a Karla por las porras mutuas que nos dimos durante el proceso final de nuestras respectivas tesis.

A mis suegros Rebeca y Marco, por su apoyo incondicional en cada etapa de este posgrado. Al igual a mi comadre Luz Quetzalli, por su apoyo y dedicación al cuidado de Meztli mientras me encontraba trabajando en la realización de esta tesis.

A mi novio Marco, por su paciencia y apoyo incondicional en mi desarrollo profesional y personal, te amo.

## DEDICATORIA

*A mi hija Meztli.*

*A mi mamá Alicia.*

## RESUMEN

En el Archipiélago de Todos Santos en Baja California, México, ha sido implementado desde 2008 un enfoque de conservación que utiliza madrigueras artificiales y sistemas acústicos para repoblar islas con aves marinas, después de eventos de erradicación de mamíferos invasores. Esta tesis aborda dos aspectos fundamentales: la eficacia de las madrigueras artificiales en el éxito reproductivo de aves marinas y el uso de sistemas acústicos y control de vegetación para garantizar la ocupación de las madrigueras. Tres especies de aves marinas pelágicas fueron estudiadas: el Paíño Cenizo (*Hydrobates homochroa*), la Alquita Oscura (*Ptychoramphus aleuticus*) y el Mergulo de Scripps (*Synthlyboramphus scrippsi*). Durante los años 2016 y 2017, se evaluó el éxito reproductivo y la ocupación de madrigueras artificiales y naturales por parte de la Alquita Oscura y el Mergulo de Scripps. Los resultados revelaron que no existe una diferencia significativa en el porcentaje de éxito reproductivo entre las madrigueras artificiales y naturales para ambas especies durante este período. Aunque el éxito reproductivo aumentó, hubo una leve disminución en la ocupación de madrigueras artificiales desde 2016, a diferencia de un aumento en las naturales. En el año 2020, las colonias con sistemas acústicos y control de vegetación fueron eficientes para ambas especies, mientras que las sin estos sistemas no tuvieron éxito. Las aves no dependen exclusivamente de reproducciones acústicas, ya que algunas ocupaban madrigueras antes de su instalación. Las madrigueras artificiales con control de vegetación y sistema acústico aumentaron significativamente el éxito reproductivo y supervivencia del polluelo. Para el Paíño Cenizo, abril y mayo mostraron la mayor actividad en las colonias en el año 2020. El análisis FODA se consideró complementario, instando a análisis estadísticos adicionales y consideración de factores como el índice de reproducción. En resumen, el estudio destaca la importancia de factores como la estandarización de datos y la implementación de sistemas acústicos para mejorar la reproducción y supervivencia de estas especies de aves marinas.

**Palabras clave:** Paíño cenizo, Alquita Oscura, Mergulo de Scripps, madriguera artificial, colonia, éxito reproductivo.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Problemática de las Aves Marinas en el Archipiélago de Todos Santos.....	3
2.2. Poblaciones históricas de las especies objetivo en el Archipiélago de Todos Santos. .....	4
Paíño Cenizo, ( <i>Hydrobates homochroa</i> ):.....	5
Alquita Oscura, ( <i>Ptychoramphus aleuticus</i> ):.....	6
Mérgulo de Scripps, ( <i>Synthlyboramphus scrippsi</i> ):.....	7
2.3. Madrigueras artificiales y sistemas de atracción en el Archipiélago de Todos Santos.....	7
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
4. HIPÓTESIS.....	8
5. OBJETIVO.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
11.1 Características físicas.....	9
11.2 Características biológicas.....	10
11.3 Sitios de reproducción.....	11
12 MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
12.1 Comparar el éxito reproductivo entre colonias artificiales y naturales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps.....	13
12.2 Comparación de dos colonias artificiales Tipo A y Tipo B.....	16

12.3	Caracterizar el comportamiento del Paño Cenizo en las colonias artificiales.....	18
12.4	Estandarizar un método de monitoreo de madrigueras artificiales para evaluar el éxito reproductivo del Paño Cenizo en islas del Pacífico Mexicano.....	19
13	RESULTADOS.....	21
	Comparar el éxito reproductivo de colonias reproductivas artificiales y naturales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps.....	21
	Comparación de dos colonias artificiales Tipo A y Tipo B.....	24
	Caracterizar el comportamiento del Paño Cenizo en las colonias artificiales.....	25
	Estandarizar un método de monitoreo de madrigueras artificiales para evaluar el éxito reproductivo del Paño Cenizo en islas del Pacífico Mexicano.....	29
14	HERRAMIENTAS DE MANEJO.....	31
	Análisis FODA del uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos..	31
	Matriz FODA Ponderado.....	32
15	DISCUSIÓN.....	33
16	CONCLUSIONES.....	36
17	RECOMENDACIONES DE MANEJO.....	38
18	BIBLIOGRAFÍA.....	39

## Índice de Figuras

Figure 1: <i>Hydrobates homochroa</i> , (Ainley, D.G. et al. 2021).....	5
Figure 2: <i>Hydrobates homochroa</i> , (Ainley, D.G. et al.,2020).....	6
Figure 3: <i>Hydrobates homochroa</i> , (Drost, C. A. and D. B. Lewis., 2020).....	7
Figure 4: Paisaje de la porción suroeste de la isla Todos Santos Norte.....	12
Figure 5: Mapa de Isla Todos Santos Norte y ubicación de colonias artificiales para aves marinas.....	13
Figure 6: Mapa de Isla Todos Santos Sur y ubicación de colonias artificiales para aves marinas.....	14
Figure 7: Preparación de Madrigueras Artificiales previa a temporada reproductiva de las especies objetivo.....	17
Figure 8: Madriguera artificial con dos huevos de Mergulo de script. Jessica Trujillo.....	18
Figure 9: Colonia artificial Tipo A, con control de vegetación invasora en el área de influencia y sistema de sonido.....	19
Figure 10: Colonia artificial Tipo B, sin control de vegetación invasora y sin sistema de sonido.....	19
Figure 11: Ejemplar de Alquita oscura incubando un huevo en madriguera artificial. Jessica Trujillo.....	20
Figure 12: Ejemplo de instalación directa de cámara trampa a una madriguera artificial para monitoreo durante temporada reproductiva. Jessica Trujillo.....	21
Figure 13: Comparación del porcentaje de éxito reproductivo de madrigueras artificiales y naturales del Mergulo de Scripps (SCMU) durante los años 2016 y 2017.....	23
Figure 14: Comparación del porcentaje de éxito reproductivo de madrigueras artificiales y naturales de Alquita Oscura (CAAU) durante los años 2016 y 2017.....	24
Figure 15: Comparativa de ocupación de madrigueras artificiales de Alquita Oscura (CAAU)	

y Mergulo de Scripps (SCMU) en la Isla de Todos Santos, Baja California, por tipo de colonia: “Tipo A” con control de vegetación invasora y sistema acústico. “Tipo B” Sin control de vegetación invasora, ni sistema acústico. Datos del año 2021.....	26
Figure 16: Frecuencia en porcentaje de actividad capturada en cámaras trampa de Paiño Cenizo en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.....	28
Figure 17: Mes con mayor frecuencia de actividad del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en la Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.....	28
Figure 18: Horario de mayor frecuencia de actividad por día, del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.....	29
Figure 19: Temperatura ambiente registrada durante la actividad del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.....	29
Figure 20: Comportamiento del Paiño Cenizo registrado en cámaras trampa dentro de las colonias artificiales de Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.....	30
Figure 21: Fase lunar de mayor frecuencia de actividad del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021. ....	30
Figure 22: Diagrama análisis FODA del uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos, Baja california. Elaboración propia.....	33

## Índice de Tablas

Table 1: Porcentaje de éxito reproductivo (%ER) de las colonias reproductivas naturales y artificiales de Alquita Oscura(CAAU) y Mérgulo de Scripps (SCMU), en Isla Todos Santos, Baja California. CR= Confirmada reproductiva o madriguera activa, V= Volantones totales o exitosa.....	23
Table 2: Tabla de contingencia del éxito reproductivo en madrigueras naturales y artificiales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps, del año 2016 y 2017 en Islas Todos Santos, Baja California. Prueba Ji-cuadrada ( $\chi^2$ ) y p valor de significancia.....	24
Table 3: Instrucciones de llenado y significado del formato de las celdas correspondientes. ....	30
Table 4: Matriz FODA Ponderado del uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California. Elaboración propia.....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aves marinas pelágicas son aves que pasan la mayor parte de su vida en el mar; viven y se alimentan ahí y solo se acercan a tierra firme para tener y criar a sus pollos, lo que les puede tomar de dos a tres meses al año. En este sentido, las aves marinas se reúnen en determinados lugares, formando agrupaciones llamadas colonias reproductivas o, simplemente, colonias. La mayoría de las colonias reproductivas se encuentran en islas porque ahí están a salvo de depredadores terrestres. Por esta misma razón las islas son de vital importancia para las aves marinas (Munilla, 2014).

Debido a que las aves marinas pelágicas se alimentan de peces, crustáceos, moluscos y otros animales marinos, y ser parte de las redes alimentarias presentes en los ecosistemas costeros y oceánicos, la biología moderna las considera como verdaderos organismos marinos y como indicadores del estado de conservación de los ecosistemas marinos, así como de las presas que éstas consumen (Munilla, 2014).

Las islas son hábitats críticos para aves pelágicas, ya que se distribuyen por miles de kilómetros en los océanos y dependen de ellas para reproducirse (Tershy y Breese, 1997). Pese a su importancia, los ecosistemas insulares han tenido un impacto antropogénico tan alto que las especies insulares son 40 veces más propensas a extinciones comparadas con las especies continentales (Johnson y Stattersfield, 1990).

Las especies introducidas o exóticas son las especies que se encuentran fuera de su área de distribución natural (DOF 2000). Mientras que las especies invasoras se definen como "aquellas que alcanzan un tamaño poblacional capaz de desplazar o eliminar a otras especies dentro de un hábitat o ecosistema, alterando la estructura, composición y funcionalidad de este" (SEMARNAT, 2001). Dentro de las herramientas disponibles para la restauración ecológica, se incluyen el control y la erradicación de especies no nativas. El control implica la regulación de la población problemática mediante un esfuerzo continuo y sostenible a lo largo de un período prolongado y la erradicación es la eliminación total de la especie no nativa (Aguirre Muñoz *et al.*, 2009).

Debido a su historia de desarrollo y al aislamiento en el que han evolucionado, las especies nativas y endémicas comparten su entorno con otras especies en un equilibrio dinámico y complejo a lo largo de procesos evolutivos muy extensos. Sin embargo, este equilibrio se rompe cuando se introducen especies que no han tenido contacto previo con el ecosistema. En el caso particular de las poblaciones insulares, su vulnerabilidad se acentúa al no coevolucionar con las especies invasoras, dado que no poseen mecanismos de defensa contra éstas (Primack, 2002). Los impactos de las especies exóticas invasoras pueden ser la restricción del reclutamiento, extinción de especies nativas y modificar la red trófica (Aguirre Muñoz *et al.*, 2009).

El estudio de las aves marinas representa un reto para los científicos, ya que implica diseñar logísticas en sitios muy lejanos y en algunos casi inaccesibles para el ser humano. Asimismo, algunas aves como los paíños, alquitas y mérgulos presentan hábitos nocturnos y anidan en madrigueras o cavidades, por lo que el reto es aún mayor en cuanto a la evaluación visual del tamaño poblacional (Sanz-Aguilar *et al.*, 2010).

Es por ello que se han desarrollado mecanismos para promover la atracción social de las aves marinas insulares, las cuales consisten en recrear colonias artificiales para atraer a individuos reproductores de las colonias de interés. En este contexto se utilizan señuelos, se construyen madrigueras artificiales y se reproducen vocalizaciones de las especies que se desean atraer. Con el tiempo, los individuos de estas especies reconocen el sitio como un lugar seguro para anidar y formar nuevas colonias (Jones y Kress, 2012).

En términos generales, las señales acústicas emitidas por los animales proporcionan información acerca de su presencia en un lugar y momento específico (Sousa-Lima *et al.*, 2013). Las madrigueras artificiales son estructuras artificiales que se emplean para especies de aves marinas que anidan en madrigueras u oquedades. Son elaboradas con diferentes materiales (concreto, madera, plástico, etc.) en forma de cajas, que se entierran o esconden entre rocas y pueden ir conectadas a la superficie con un tubo simulando un canal de madriguera natural. Dicha estructura cuenta con una puerta de fácil acceso en el área de la cámara de anidación, la cual sirve para que la toma de datos sea más sencilla.

El uso de madrigueras artificiales provee información útil como la frecuencia de visitas de prospección, inicio de la anidación, tiempo de incubación, número de huevos por puesta, tiempo del pollo en el nido, entre otros. Además, el uso de esta herramienta reduce el esfuerzo de observación del contenido de la cámara de anidación, lo que da al observador fácil acceso con disturbios mínimos (Bourgeois et al., 2015).

En virtud de lo anterior el presente estudio evalúa la efectividad del uso de madrigueras artificiales, sistemas acústicos y control de vegetación invasora como herramientas para incrementar el éxito reproductivo de tres especies de aves marinas en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California, México.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1. Problemática de las Aves Marinas en el Archipiélago de Todos Santos**

Las aves marinas se posicionan como uno de los grupos faunísticos más amenazados a nivel global. A nivel global, las aves representan uno de los grupos taxonómicos más afectados por extinciones, con un total de 150 especies desde 1500. Es importante destacar que el 90% de estas extinciones han tenido lugar en complejos insulares (Szabo *et al.*, 2012). El 29 por ciento de las especies de aves marinas figura en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) como amenazadas, comprendiendo las clasificaciones de Peligro Crítico, Peligro y Vulnerables.

Después de la pérdida de hábitat, las especies exóticas invasoras son la principal causa mundial de pérdida de biodiversidad (Courchamp *et al.*, 2003).

Las especies vegetales introducidas en el archipiélago como el “vidrillo” (*Mesembryanthemum* spp.) es una planta suculenta invasora que reduce la riqueza y la biomasa de las especies en las áreas que invade (Guerrero, 2020). Ha sido tan exitosa que se ha convertido en una de las plantas dominantes en algunas partes del archipiélago, así como en otras islas del Pacífico de Baja California, desplazando y compitiendo con especies nativas (Junak y Philbrick, 1994).

La problemática relacionada con las especies exóticas invasoras en aves marinas se centra en la mortalidad de individuos adultos y en la reducción del éxito reproductivo, originada por la depredación de las crías en las colonias de reproducción. El 75% del total de extinciones recientes de animales, pertenecen a especies insulares. En avifauna, el 85% de extinciones a lo largo de la historia ha ocurrido en islas (Steadman 1995).

Ejemplos positivos del uso de madrigueras artificiales ha sido reportado para la repoblación de aves marinas en las islas Todos Santos, Baja California (Bedolla-Guzmán et al., 2019). Actualmente se continúa con el monitoreo de poblaciones reproductoras y se sigue utilizando técnicas de atracción social. En la aplicación de esta técnica es recomendable un monitoreo continuo y a largo plazo para evaluar su éxito (Jones y Kress, 2012).

Por lo antes mencionado, en el año 1997 comienzan los programas de erradicaciones de fauna exótica en el Archipiélago de Todos Santos, mismos que terminan en 2004, erradicando a especies ferales como conejo, gato y burro, además del control de especies invasoras vegetales (Aguirre-Muñoz, 2013). Sin embargo, lamentablemente, cuando se implementaron estas medidas de erradicación, ya era demasiado tarde, y los gatos habían causado la extinción de algunas especies locales. Entre las víctimas se encontraban la rata cambalachera de Todos Santos (*Neotoma anthonyi*) y un ave endémica conocida como el zacatonero corona rufa de isla Todos Santos (*Aimophila ruficeps sanctorum*). Además, muchas especies de aves habían dejado de reproducirse en estas islas debido a la presencia de estos depredadores.

## **2.2. Poblaciones históricas de las especies objetivo en el Archipiélago de Todos Santos.**

En el Archipiélago de Todos Santos debido a la introducción de especies exóticas invasoras, disturbio antropogénico y contaminación, las colonias de aves marinas disminuyeron y al menos cinco fueron extirpadas; entre ellas el Mérgulo de Scripps y la Alquita Oscura. Por otro lado, no se tenía confirmado al Paíño Cenizo como reproductor en ninguna de las islas o islotes de este ecosistema (Bedolla-Guzmán et al., 2019).

A continuación, se describen las especies objetivo del proyecto y su distribución histórica respecto al Archipiélago de Todos Santos.

➤ **Paíño Cenizo, (*Hydrobates homochroa*):**

<b>Orden</b>	Procellariiformes	 <p><i>Figure 1: Hydrobates homochroa, (Ainley, D.G. et al. 2021).</i></p>
<b>Familia</b>	Hydrobatidae	
<b>Género</b>	<i>Hydrobates</i>	
<b>Especie</b>	<i>homochroa</i>	
<b>Nombre común</b>	Paíño Cenizo	
<b>Nombre común inglés</b>	Ashy Storm-Petrel	


El Paíño Cenizo (Ashy Storm-Petrel, ASSP por sus siglas en inglés) es un ave marina pequeña de color marrón hollín con una cola bifurcada, se encuentra en peligro de extinción según la NOM-059 2010 (SEMARNAT 2010) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (BirdLife International, 2018).

**Distribución de la especie**

Para México, solo se tenía registro histórico de una población reproductora de Paíño Cenizo en Islas Coronado (Ainey, 1995), aunque podrían haber sido extirpada en otros sitios hace mucho tiempo por depredación de gatos y ratas, antes de que alguien la hubiera registrado.

En el 2014, el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI) confirmó el primer nido activo, corroborando con captura y medición de adultos reproductores. Actualmente existe una colonia reproductiva de alrededor de 75 parejas en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California (Bedolla-Guzmán et al., 2019).

➤ **Alquita Oscura, (*Ptychoramphus aleuticus*):**


<b>Orden</b>	Charadriiformes	 <p>Figure 2: <i>Hydrobates homochroa</i>, (Ainley, D.G. et al., 2020).</p>
<b>Familia</b>	Alcidae	
<b>Género</b>	<i>Ptychoramphus</i>	
<b>Especie</b>	<i>aleuticus</i>	
<b>Nombre común</b>	Alquita Oscura	
<b>Nombre común inglés</b>	Cassin's Auklet	

La Alquita Oscura, (Cassin's Auklet, CAAU por sus siglas en inglés) es un ave marina pequeña de color gris oscuro (Aceh *et al.*, 2010) que se encuentra sujeta a protección especial de acuerdo a la NOM-059 SEMARNAT 2010.

**Distribución de la especie**

Se piensa que fue extirpada de las islas mexicanas, ya que dejó de llegar a reproducirse en casi todos sus sitios históricos de reproducción, a excepción de las islas San Jerónimo y San Benito. Actualmente, se reproduce nuevamente en todas las islas, incluyendo las del Archipiélago de Todos Santos y algunos islotes, excepto Coronado Norte, en donde históricamente se reportaban miles de parejas reproductoras (Osborn, 1909).

➤ **Mérgulo de Scripps, (*Synthlyboramphus scrippsi*):**

<b>Orden</b>	Charadriiformes	 <p><i>Figure 3: Hydrobates homochroa, (Drost, C. A. and D. B. Lewis., 2020).</i></p>
<b>Familia</b>	Alcidae	
<b>Género</b>	<i>Synthlyboramphus</i>	
<b>Especie</b>	<i>scrippsi</i>	
<b>Nombre común</b>	Mérgulo de Scripps	
<b>Nombre común inglés</b>	Scripps Murrelet	

El Mérgulo de Scripps, (Scripps Murrelet, SCMU por sus siglas en inglés) la cual no se encuentra enlistada en la NOM-059, pero se considera “Vulnerable”, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (BirdLife International, 2020).

**Distribución de la especie**

La mayoría de los registros de Mérgulo de Scripps provienen de sus sitios de reproducción, los cuales son cinco complejos insulares con registros históricos en Baja California, incluyendo el Archipiélago de Todos Santos (Kaeding, 1905; Bent, 1919; Jehl y Bond, 1975). Al igual que el Paíño, en el 2014 se registraron cuatro nidos activos y actualmente la población reproductiva de este archipiélago se encuentra en monitoreo anual (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2016).

**2.3. Madrigueras artificiales y sistemas de atracción en el Archipiélago de Todos Santos.**

A partir de las erradicaciones, la repoblación de las aves marinas resultó ser lenta de forma natural, por lo que en el 2008, el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A C. (GECI), con la colaboración de agencias gubernamentales, académicos, cooperativas pesqueras, entre otros (Aguirre-Muñoz, *et al.*, 2011, 2016, 2018), iniciaron el “Programa de Restauración de Aves Marinas”; con el objetivo de repoblar las islas con aves marinas

durante la época reproductiva, en paralelo con actividades de monitoreo, técnicas de atracción social con sistemas acústicos y aprovisionamiento de nidos artificiales de fácil acceso, eliminación de vegetación introducida y actividades de bioseguridad insular con residentes temporales, visitantes turísticos y personal que opera el faro de la isla norte (Aguirre-Muñoz *et al*, 2011, 2016).

Bedolla *et al.* (2019), menciona que en las islas ubicadas frente a la península de Baja California en el Pacífico, se ha registrado un aumento en la diversidad de especies que anidan en estas islas, así como en el número de colonias reproductoras. Además, se ha observado una tendencia positiva en la población de aproximadamente el 70% de estas colonias, a pesar de las anomalías ambientales registradas en los últimos años.

forma combinada, ¿Qué efecto tiene en la ocupación de madrigueras artificiales?

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Al implementarse la técnica del uso de madrigueras artificiales y sistemas de atracción acústica dentro del archipiélago de Todos Santo, Baja California, México desde el 2008, se plantearon las siguientes cuestiones para evaluar su efectividad así como promover el éxito reproductivo de aves marinas y coadyuvar a su conservación poblacional.

¿Qué efecto tiene el uso de madrigueras artificiales en cuanto al éxito reproductivo de las especies de aves marinas que allí anidan?

El uso de sistemas de sonido para atracción de aves y el control de vegetación invasora en forma combinada, ¿Qué efecto tiene en la ocupación de madrigueras artificiales?

### **4. HIPÓTESIS**

Las madrigueras artificiales, el control de vegetación invasora y el uso de sistemas de atracción acústicos son herramientas eficaces que, combinadas, tiene efecto positivo en el aumento poblacional y éxito reproductivo de tres especies de aves marinas (*Hydrobates homochroa* “Paiño Cenizo”, *Ptychoramphus aleuticus* “Alquita Oscura”; y *Synthliboramphus scrippsi* “Mérgulo de Scripps”) que anidan en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California.

## 5. OBJETIVO

### Objetivo general

Evaluar la efectividad del uso de madrigueras artificiales, control de vegetación invasora y sistemas de atracción acústica como herramientas para incrementar el éxito reproductivo de tres especies de aves marinas pelágicas en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California: *Hydrobates homochroa* (Paiño Cenizo), *Ptychoramphus aleuticus* (Alquita Oscura), y *Synthliboramphus scrippsi* (Mérgulo de Scripps).

### Objetivos específicos

- Comparar el éxito reproductivo entre colonias artificiales y naturales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps.
- Comparar dos colonias artificiales con diferentes condiciones: “Sitio A” óptimo (con control de vegetación invasora y sistemas de sonido) y “Sitio B” sin intervención (sin control de vegetación invasora y sin sistemas de sonido) para Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps.
- Caracterizar el comportamiento del Paiño Cenizo en las colonias artificiales.
- Estandarizar un método de monitoreo de madrigueras artificiales para evaluar el éxito reproductivo del Paiño Cenizo en islas del Pacífico mexicano.
- Identificar a nivel sistema de Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), las acciones de manejo y conservación de las aves marinas *Hydrobates homochroa* (Paiño Cenizo), *Ptychoramphus aleuticus* (Alquita Oscura), y *Synthliboramphus scrippsi* (Mérgulo de Scripps)

## 6. ÁREA DE ESTUDIO

El Archipiélago de Todos Santos forma parte de la Reserva de la Biosfera de las Islas del Pacífico de Baja California (DOF-2016).

### 11.1 Características físicas

El Archipiélago de Todos Santos está conformado por dos islas de origen continental llamadas Todos Santos Norte (32.33 ha) y Todos Santos Sur (89.40 ha), las cuales están ubicadas geográficamente en la zona UTM 11N (coordenadas 523,677.717501-3,512,752.808000) a 6.5 km de la costa, frente al municipio de Ensenada, Baja California,

cuentan con una altura máxima de 95 msnm (DOF-2016).

Estas islas están principalmente formadas de rocas ígneas y sedimentarias, por lo que ofrecen un hábitat rocoso perfecto para el Mérgulo de Scripps, la Alquita Oscura y el Paíño Cenizo. Presentan numerosos afloramientos rocosos en las laderas suaves de las colinas que están cubiertas de matorral, los cuales conducen a acantilados que van desde los 5 hasta los 60 metros de altura a lo largo de la costa.

### **11.2 Características biológicas**

Este Archipiélago se encuentra en una región que cuenta con una riqueza biológica marina derivada de la peculiaridad de las condiciones oceanográficas características del Sistema de la Corriente de California. La profundidad de sus aguas ricas en nutrientes dan lugar a una alta producción biológica que favorece a diversas pesquerías regionales, como la de abulón y langosta (DOF-2016).

Las islas del Archipiélago de Todos Santos pertenecen a la Provincia Florística de California, la cual ha sido catalogada como una isla ambiental ya que presenta un clima único de tipo mediterráneo. La vegetación dominante es el matorral marítimo suculento, que se encuentra influenciado por la presencia de niebla gran parte del año (Delgadillo, 1998).

En el Archipiélago habitan 147 especies de plantas vasculares, 1 anfibio, 7 reptiles y 2 mamíferos. Sin endemismos en flora, pero sí una especie de culebra y dos roedores, uno de ellos actualmente extinto (Vanderplank et al., 2017).



Figure 4: Paisaje de la porción suroeste de la isla Todos Santos Norte.

### 11.3 Sitios de reproducción

En el Archipiélago de Todos Santos se reproducen estas tres especies de aves pelágicas, con diferentes categorías de riesgo de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010; el Paíño Cenizo (*Hydrobates homochroa*), Alquita Oscura (*Ptychoramphus aleuticus*) y el Mérgulo de Scripps (*Synthliboramphus scrippsi*).

Dentro de la isla, a partir del 2013 se fueron instalando varios sitios o colonias reproductivas con madrigueras artificiales y sistemas acústicos, destinados a estas tres especies. Dichos sitios se localizan en diferentes zonas de las islas Todos Santos Norte (mapa 1) y Todos Santos Sur (mapa 2).



Figure 5: Mapa de Isla Todos Santos Norte y ubicación de colonias artificiales para aves marinas.

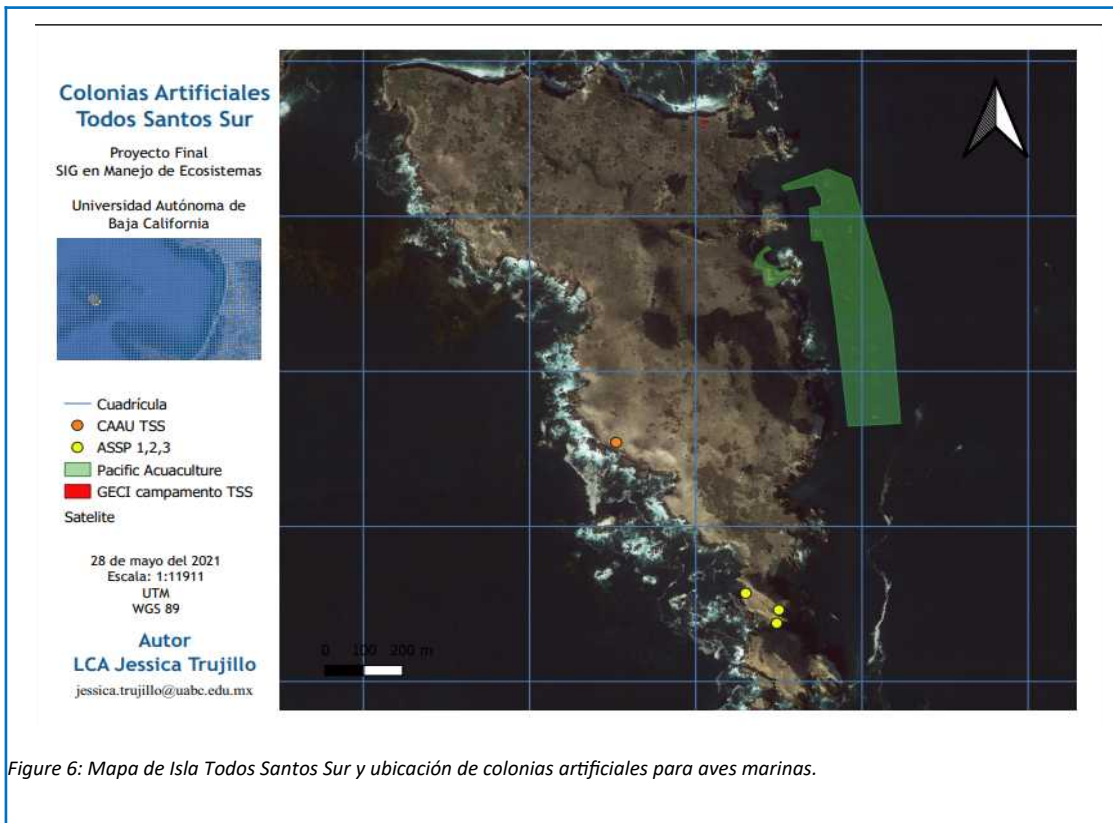


Figure 6: Mapa de Isla Todos Santos Sur y ubicación de colonias artificiales para aves marinas.

## **12 MATERIALES Y MÉTODOS**

La información utilizada para la realización de esta investigación fue obtenida de bases de datos proporcionadas por el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI) que comprende los años 2016 a 2021. Las salidas de campo fueron programadas de acuerdo a la temporada de anidación de cada una de las tres especies motivo de estudio, iniciando en febrero y terminando en octubre de los años antes referidos. El traslado al archipiélago se realizó en la embarcación “La Pardela”, que pertenece a la asociación GECI, con los debidos permisos y matrícula autorizada por la Secretaría de Marina de México.

### **12.1 Comparar el éxito reproductivo entre colonias artificiales y naturales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps.**

Para comparar la tasa de éxito reproductivo entre colonias artificiales y naturales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps. Se utilizaron datos de los años 2016 y 2017.

#### **12.1.1 Monitoreo de madrigueras naturales.**

La primera acción fue una búsqueda exhaustiva de nidos o madrigueras naturales en hábitats potenciales. Con ayuda de una lámpara de mano y/o boroscopio se inspecciona entre oquedades la presencia de alguna madriguera y se confirmó el contenido de la cámara de anidación. Si el contenido correspondió a un adulto incubando, un huevo o un polluelo, se colocó una placa con un número de identificación en la entrada de la madriguera (a simple vista), siendo fijada dicha placa a la roca utilizando pegamento a prueba de agua.

Este tipo de acción fue realizada cada año en la temporada reproductiva. La presencia de un adulto incubando, huevo o un polluelo fue registrado, además de su ubicación geográfica con un geoposicionador Garmin Etrex 20. Para localizar y distinguir las madrigueras en las que se registró ocupación, se colocó una placa metálica con el número de identificación de la madriguera. Al menos 30 madrigueras fueron seleccionadas para ser monitoreadas durante toda la temporada de cría y se revisaron al menos una vez por semana.

### **12.1.2 Monitoreo de madrigueras artificiales**

Para la instalación de colonias artificiales se colocaron de 10 a 30 madrigueras artificiales por colonia. En medio o en la orilla de la colonia se instalaron dos bocinas (TIC Omni Speakers® model GS3,  $89 \pm 3$  db, 100/200 W) que reprodujeron las vocalizaciones de las especies objetivo. Dicha bocina cuenta con un cable largo que conecta al sistema de reproducción y paneles solares que alimentan las baterías. Se programó el sistema para reproducir las vocalizaciones solo durante la noche (de 19:00 a 07:00 h).

Se programó el funcionamiento de las cámaras trampa y la reproducción del sistema acústico por lapsos de 19 horas (19:00 a 07:00 h), debido a que son especies de hábitos nocturnos y con el objetivo de capturar el inicio y el final de su actividad la programación de las cámaras se estableció desde que comienza a anochecer hasta que amanece.

Se ubicó la posición geográfica de cada madriguera artificial y cada semana se monitoreó el contenido de las cámaras de anidación. Se capturó la información en una base de datos con información histórica de las colonias y de cada madriguera artificial. Una vez generadas las bases de datos completas se procedió a obtener el éxito reproductivo por colonia y año, y posteriormente realizar los análisis estadísticos pertinentes.



Figure 7: Preparación de Madrigueras Artificiales previa a temporada reproductiva de las especies objetivo.

### 12.1.3 Análisis de datos

El éxito reproductivo se obtuvo de la revisión visual de madrigueras artificiales y naturales activas durante la temporada reproductiva de los años 2016 y 2017, cuyos registros históricos contaban con la cantidad adecuada para realizar el análisis. Se utilizó la ecuación propuesta por Raine et al. (2018) para cuantificar el porcentaje de éxito reproductivo (ER):

$$ER (\%) = [V/CR] * 100$$

Donde:

V = Volantones totales de la temporada reproductiva. En el caso del Mergulo de Scripps es el número de pollos.

CR = Confirmada reproductiva se refiere a una madriguera con la presencia de cualquiera de ellos, ya sea un adulto aparentemente incubando, un huevo o un pollo.

Para el análisis descriptivo de los datos de éxito reproductivo se utilizó el estadígrafo de Ji-cuadrada de tablas de contingencia utilizando el programa Past (Hammer et al., 2001) para comprobar la relación y/o asociación entre las variables categóricas. Se utilizó como variable dependiente la especie (Alquita y Mérgulo) y como variable independiente el tipo de madriguera (natural o artificial).



*Figure 8: Madriguera artificial con dos huevos de Mergulo de script. Jessica Trujillo.*

### **12.2 Comparación de dos colonias artificiales Tipo A y Tipo B.**

Para dos de las especies estudiadas, Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps, se comparó el uso de madrigueras en dos colonias artificiales con diferentes condiciones: “Tipo A” óptimo (con control de vegetación invasora y sistemas de sonido) y “Tipo B” sin intervención (sin control de vegetación invasora y sin sistemas de sonido). Es importante mencionar que el experimento realizado para lograr esta comparación fue realizado

durante la temporada reproductiva del año 2021.

Al inicio de la temporada reproductiva de 2021, se prepararon las colonias artificiales para la llegada del Mergulo de Scripps y la Aquita Oscura. Se consideraron dos tipos de tratamiento a las colonias artificiales por especie. Al menos una colonia artificial de cada especie, llamada de “Tipo B” fue mantenida bajo las mismas condiciones como se encontró este año, únicamente se limpió el canal y la cámara de anidación. Por su parte, la otra colonia (destinada a la misma especie) fue llamada “Tipo A”, a la cual se le removió la vegetación invasora del área y se instaló un sistema acústico de vocalizaciones de la especie. Ambos tipos de colonias artificiales fueron monitoreadas cada mes y se instalaron cámaras trampa para registrar la actividad nocturna durante toda la temporada reproductiva.

Se revisó el contenido de las madrigueras de estas colonias a lo largo de la temporada. La información obtenida se ingresó en una base de datos Excel para realizar los análisis estadísticos referentes a la efectividad del uso de sistemas de atracción social. Para la comparación se utilizaron las frecuencias de ocupación de las madrigueras artificiales durante la temporada reproductiva.

Ejemplo de colonia artificial “Tipo A”



Figure 9: Colonia artificial Tipo A, con control de vegetación invasora en el área de influencia y sistema de sonido.

Ejemplo de colonia artificial “Tipo B”



Figure 10: Colonia artificial Tipo B, sin control de vegetación invasora y sin sistema de sonido.

### 12.3 Caracterizar el comportamiento del Paíño Cenizo en las colonias artificiales.

Para obtener registro de actividad del Paíño Cenizo dentro de las colonias artificiales y/o madrigueras artificiales, se realizó un monitoreo de éstas durante la temporada reproductiva del año 2021. Con base en los resultados obtenidos se estandarizó el método de monitoreo para las consecuentes temporadas reproductivas.

#### *Actividad 1: Registro del Paíño Cenizo dentro de las colonias artificiales*

Se consideraron dos métodos: el primero fue la revisión directa mensual de las madrigueras artificiales y el segundo fue el monitoreo mediante cámaras trampa.

Revisión directa: Una vez al mes, se revisó el contenido de las cámaras de anidación de todas las madrigueras artificiales instaladas y se registró el contenido en una base de datos, dando seguimiento a cada madriguera, previamente identificada con un número de identificación y su posición geográfica.



Figure 11: Ejemplar de Alquita oscura incubando un huevo en madriguera artificial. Jessica Trujillo.

*Actividad 2: Caracterización de la actividad del Paíño Cenizo registrada en cámaras trampa*

Con base en los resultados de la actividad 1, se enlistó y mostró de forma gráfica las características de mayor actividad registrada del Paíño Cenizo dentro de las colonias artificiales.



*Figure 12: Ejemplo de instalación directa de cámara trampa a una madriguera artificial para monitoreo durante temporada reproductiva. Jessica Trujillo.*

**12.4 Estandarizar un método de monitoreo de madrigueras artificiales para evaluar el éxito reproductivo del Paíño Cenizo en islas del Pacífico Mexicano.**

Para estandarizar el método de monitoreo de madrigueras artificiales y evaluar el éxito reproductivo:

Basado en los resultados del objetivo 3, se elaboró una base de datos definitiva que será utilizada con información de los años siguientes, y de ese modo dar continuidad al

monitoreo estandarizado y ordenado de los datos. Todo esto fue con el propósito de obtener la mayor cantidad de información relevante, coadyuvando por un lado a las acciones de conservación del Paíño Cenizo, y por el otro evaluando el éxito de los sistemas de atracción a través del tiempo.

### **7.5 Análisis FODA**

Un análisis FODA para identificar a nivel sistema cuales son las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, donde las fortalezas son las características que proporcionan calidad al sistema, las oportunidades son situaciones favorables para que el sistema se mantenga o mejore, las debilidades son características que afectan o mantiene una escasa calidad al sistema y las amenazas son acciones que probablemente dañen la calidad del sistema e incluso su desaparición.

Por último, se utilizaron los resultados obtenidos del análisis FODA para realizar las propuestas de manejo a nivel sistema.

### 13 RESULTADOS

#### Comparar el éxito reproductivo de colonias reproductivas artificiales y naturales de Alquita Oscura y Mergulo de Scripps.

El Mergulo de Scripps obtuvo mayor porcentaje de éxito reproductivo en madrigueras naturales durante los años 2016 (82%) y 2017(68%) en comparación con las madrigueras artificiales que registraron valores de 50% en esos mismos años (Figura 1).

La Alquita Oscura obtuvo un mayor porcentaje de éxito reproductivo en madrigueras naturales durante el año 2016 (68%) en contraste con aquél de madrigueras artificiales (40%) (Figura 2). Sin embargo, en el año 2017, las madrigueras artificiales tuvieron mayor éxito reproductivo (57%) en comparación con las madrigueras naturales (46%) (Figura 2).

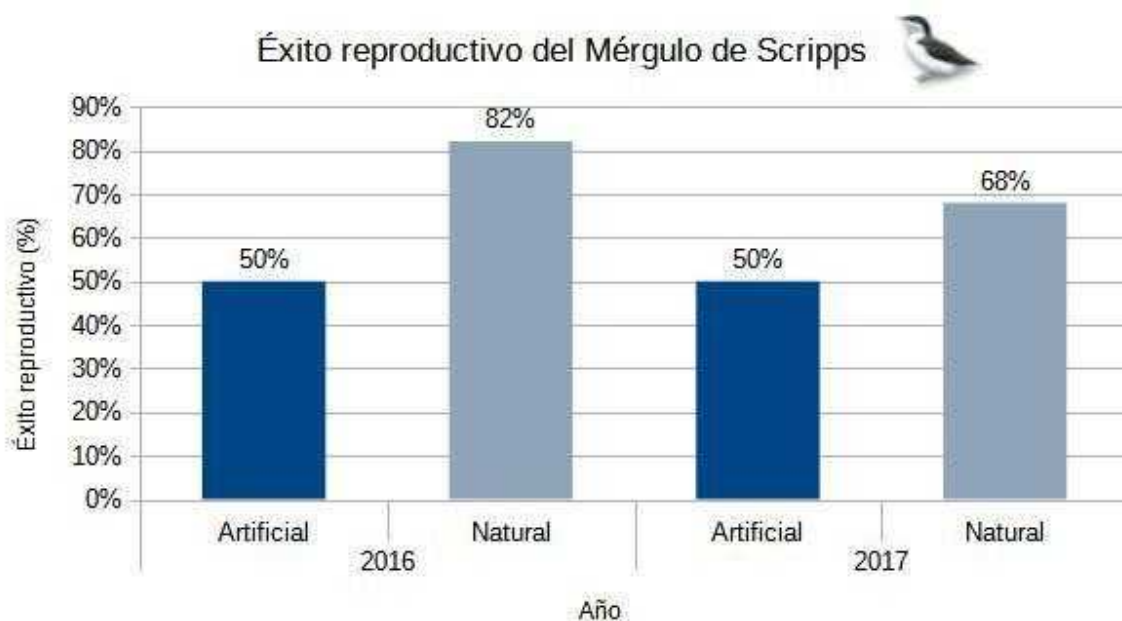


Figure 13: Comparación del porcentaje de éxito reproductivo de madrigueras artificiales y naturales del Mergulo de Scripps (SCMU) durante los años 2016 y 2017.



### Éxito reproductivo Alquita Oscura

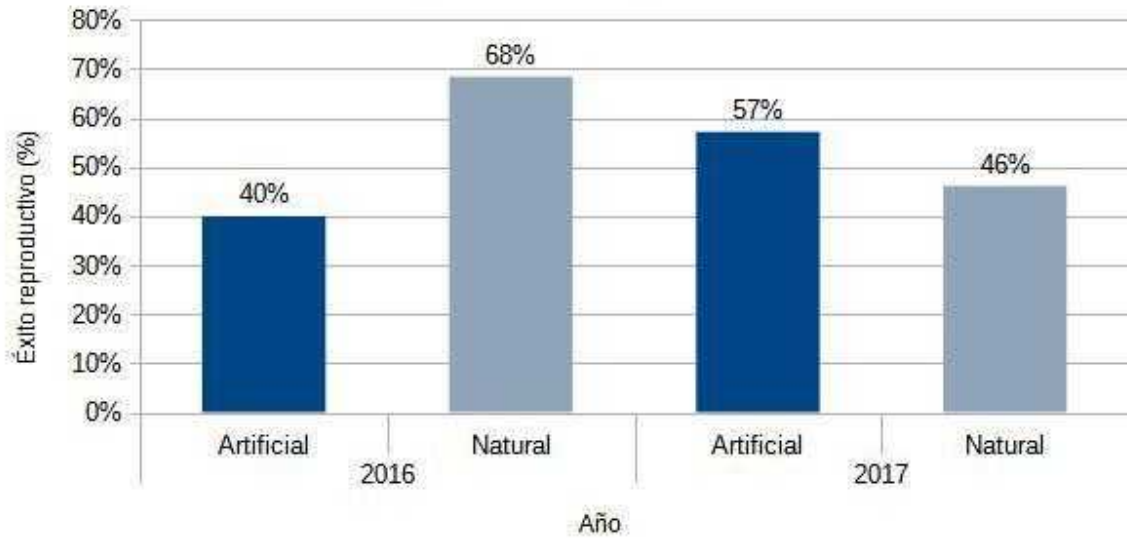


Figure 14: Comparación del porcentaje de éxito reproductivo de madrigueras artificiales y naturales de Alquita Oscura (CAAU) durante los años 2016 y 2017.

Tomando en cuenta que para la Alquita Oscura en el año 2016 se logró dar seguimiento de productividad a un total de 29 madrigueras, de las cuales 19 fueron naturales y 10 artificiales. En el año 2017 se logró monitorear 27 madrigueras, de las cuales 13 fueron naturales y 14 artificiales (Tabla 1).

Para el Mergulo de Scripps en el año 2016 se cuantificó un total de 97 madrigueras, de las cuales 95 pertenecen a madrigueras naturales y solo dos madrigueras artificiales fueron ocupadas por mergulos. En el año 2017, se identificaron 54 madrigueras de esta especie, de las cuales 50 fueron naturales y solo 4 artificiales (Tabla 1).

Table 1: Porcentaje de éxito reproductivo (%ER) de las colonias reproductivas naturales y artificiales de Alquita Oscura(CAAU) y Mergulo de Scripps (SCMU), en Isla Todos Santos, Baja California. CR= Confirmada reproductiva o madriguera activa, V= Volantones totales o exitosa.

Especie	Año	Colonia	CR	V	%ER
CAAU	2016	Natural	19	13	68.42

		Artificial	10	4	40.00
	2017	Natural	13	6	46.15
		Artificial	14	8	57.14
SCMU	2016	Natural	95	78	82.11
		Artificial	2	1	50.00
	2017	Natural	50	34	68.00
		Artificial	4	2	50.00

El análisis estadístico demostró que en ambos años no existió una relación significativa ( $p > 0.05$ ) entre el éxito reproductivo de la Alquita Oscura y el Mérgulo con el tipo de madriguera utilizada (Tabla 2). Lo anterior indica que el éxito reproductivo de la Alquita Oscura y el Mérgulo de Scripps no dependen del tipo de madriguera que ocupen (natural o artificial) durante la temporada de anidación en las Islas Todos Santos.

*Table 2: Tabla de contingencia del éxito reproductivo en madrigueras naturales y artificiales de Alquita Oscura y Mérgulo de Scripps, del año 2016 y 2017 en Islas Todos Santos, Baja California. Prueba Ji-cuadrada ( $X^2$ ) y  $p$  valor de significancia*

Año	Especie	Natural	Artificial	$X^2$	$p$
2016	CAAU	43.3	58.6	0.017957	0.8934
	SCMU	56.6	82.1		
2017	CAAU	17.8	23.5	3.7025	0.054
	SCMU	33.3	62.5		

### Comparación de dos colonias artificiales Tipo A y Tipo B.

Comparación de dos colonias artificiales con diferentes condiciones: "Sitio A" óptimo, y "Sitio B" sin intervención, para la Alquita Oscura y el Mérgulo de Scripps.

Se registró la ocupación de madrigueras artificiales bajo condiciones "Sitio A" para ambas especies. El Mérgulo de Scripps fue el que tuvo el mayor número de registros. En cambio, para las colonias con "Sitio B" no se registró la ocupación o actividad para ninguna de las dos especies (Figura 3).

Considerando la contundencia de los resultados obtenidos, no fue necesario realizar un análisis estadístico para la comparación de los tipos de tratamientos a las colonias artificiales, ya que el resultado es absoluto y cumple con lo esperado.

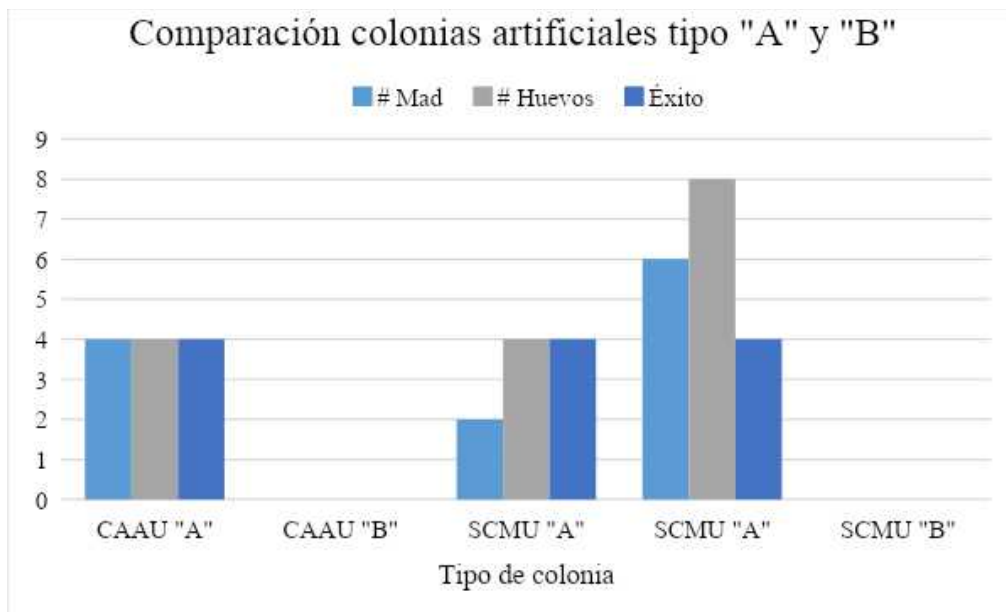


Figure 15: Comparativa de ocupación de madrigueras artificiales de Alquita Oscura (CAAU) y Mérgulo de Scripps (SCMU) en la Isla de Todos Santos, Baja California, por tipo de colonia: "Tipo A" con control de vegetación invasora y sistema acústico. "Tipo B" Sin control de vegetación invasora, ni sistema acústico. Datos del año 2021.

### **Caracterizar el comportamiento del Paíño Cenizo en las colonias artificiales.**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la actividad registrada dentro de las colonias durante la temporada reproductiva del año 2021.

El registro de la actividad del Paíño cenizo se obtuvo únicamente de los sitios “A”, los cuales contaban con sistemas acústicos y control de vegetación invasora dentro de la colonia.

Se obtuvo un total de 170 registros fotográficos y de video, siendo el video la fuente principal de captura de información con el 85% del total de registros (Figura 16). Se encontró también que el mes de mayor registro de actividad fue mayo con el 59%, seguido de abril con el 40%, y por último junio con el 1% (Figura 17).

La totalidad de la actividad registrada, se dio dentro del período de las 20:00 a 05:59 h, con un pico de actividad registrada a partir de las 02:00 a 03:59 h (Figura 18).

La temperatura ambiente durante los registros de actividad del Paíño Cenizo en las colonias artificiales osciló entre los 6 °C hasta los 15 °C. Sin embargo, la mayor frecuencia se registró a los 10 °C con 27% de los casos, 11 °C (24%) y 12 °C (31%), (Figura 19).

Se registraron diversos comportamientos dentro de las colonias artificiales, los cuales fueron clasificados en cinco categorías de actividad: 1- Volando sobre la colonia. 2- Volando entre madrigueras. 3- Caminando entre madrigueras. 4- Parado. 5- Echado. Obteniendo como resultado que el comportamiento más frecuente fue el vuelo entre madrigueras con 46% del registro total, seguido del vuelo sobre la colonia con 44%, y el menos frecuente fue caminando con 1% (Figura 20).

La fase lunar presente durante las noches de mayor registro de actividad corresponde a la “Luna Nueva” con 30% del registro total obtenido en cámaras trampa (Figura 21).



Figure 16: Frecuencia en porcentaje de actividad capturada en cámaras trampa de Paiño Cenizo en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.

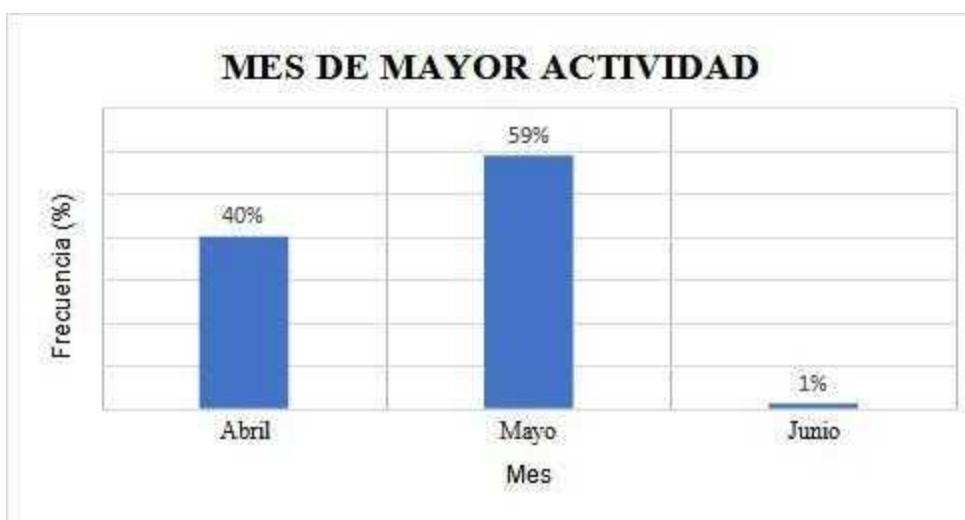


Figure 17: Mes con mayor frecuencia de actividad del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en la Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.

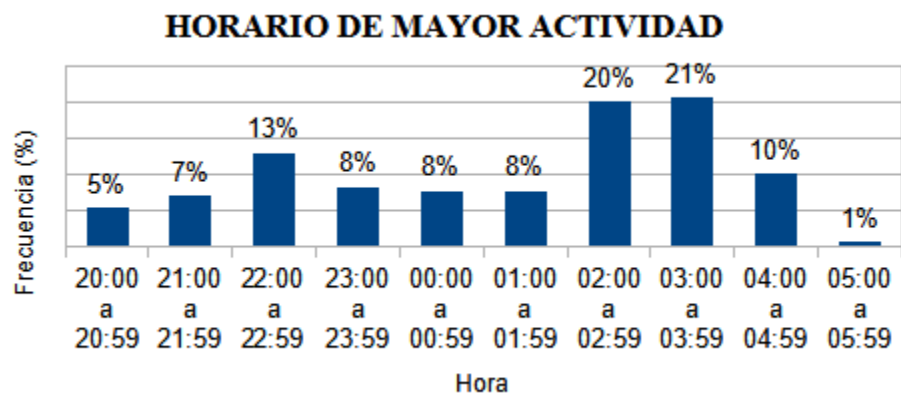


Figure 18: Horario de mayor frecuencia de actividad por día, del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.



Figure 19: Temperatura ambiente registrada durante la actividad del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.



Figure 20: Comportamiento del Paiño Cenizo registrado en cámaras trampa dentro de las colonias artificiales de Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.



Figure 21: Fase lunar de mayor frecuencia de actividad del Paiño Cenizo capturada en cámaras trampa en Isla Todos Santos Sur, Baja California. Temporada reproductiva 2021.

**Estandarizar un método de monitoreo de madrigueras artificiales para evaluar el éxito reproductivo del Paíño Cenizo en islas del Pacífico Mexicano.**

La base de datos propuesta para monitoreo a partir de la temporada reproductiva 2021 se elaboró en Excel.

En la Tabla 3 se muestran los metadatos. En ellos se indican las instrucciones de llenado, tomando en cuenta que los datos que se presentan en la primera columna corresponden a cada variable (filas en la base de datos). Seguido de las instrucciones de llenado y el formato, con el ejemplo correspondiente para cada columna. De esta forma, el personal encargado del muestreo y captura de datos no tendrá dificultad alguna para realizar esta actividad.

*Table 3: Instrucciones de llenado y significado del formato de las celdas correspondientes.*

<b>Nombre de la columna</b>	<b>Instrucciones</b>	<b>Significado</b>	<b>Código</b>
Isla	Nombre de la isla	Todos Santos Norte o Sur	<i>TSN, TSS</i>
Fecha	Fecha en que se registró la actividad.	Día/Mes/Año	<i>21/05/25</i>
Hora	Hora registrada en la captura fotográfica o video en formato 24 horas.	00:00 h a 23:59 h	<i>02:21:00</i>
Fase lunar	Fase lunar registrada en la captura fotográfica o video. Confirmar con calendario.	Luna Nueva, Luna Creciente, Cuarto Creciente, Luna Llena, Cuarto Menguante, Luna Negra.	<i>LN, LC, CC, LL, CM, N</i>
Temperatura	Temperatura ambiental registrada en cámara trampa al momento de la captura en grados Celsius.		°C

Visibilidad	Registrar el nivel de visibilidad de la cámara según percepción del observador, si es de mala a nula anotar en observaciones la causa (mal puesta, nubosidad, etc.).	Excelente, Buena, Regular, Mala o Nula	<i>E, B, R, M, N</i>
Vel. Viento	Anotar sólo cuando la velocidad del viento sea, al sentir del observador, fuerte. Puede repetirse la nota en el apartado de observaciones.	Alta, Muy Alta	<i>A, MA</i>
ID del Sitio	Nombre del sitio o colonia donde se colocó la cámara		
Sistema de sonido	Anotar si cuenta con sistema de sonido	Clave de la especie	<i>ASSP, SCMU, CAAU</i>
ID Cámara	Nombre o número asignado a la cámara en formato Sitio/Cámara	Sitio (A) Número de cámara (1)	<i>A1</i>
Latitud		UTM	<i>520094</i>
Longitud		UTM	<i>3517558</i>
Altitud		msnm	<i>6</i>
Instaló	Iniciales de la persona que programó e instaló la cámara	Jessica Trujillo López	<i>JTL</i>
Capturista	Iniciales de la persona que capturó los datos	Jessica Trujillo López	<i>JTL</i>
Observaciones	Notas adicionales que puedan ser de utilidad a la hora del análisis		<i>Formato libre</i>

## 14 HERRAMIENTAS DE MANEJO

### Análisis FODA del uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos

Mediante el análisis FODA se puede detectar y mostrar de forma visual los componentes internos: fortalezas y debilidades, y los componentes externos: Oportunidades y Amenazas de la aplicación de herramientas como lo son los sistemas de atracción social para aves marinas: madrigueras artificiales, control de vegetación invasora y sistemas acústicos.



Figure 22: Diagrama análisis FODA del uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California. Elaboración propia.

### Matriz FODA Ponderado

Esta matriz permite asignar valores ponderados utilizando una escala numérica a los factores enunciados, dando como resultado una perspectiva gráfica del balance entre fortalezas (F) y debilidades (D), oportunidades (O) y amenazas (A), que engloban el uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos (Tabla 4).

En este caso, las fortalezas y oportunidades tienen puntajes más altos que las debilidades y amenazas, así como los factores internos más altos que los externos, lo que indica que el uso de madrigueras artificiales para aves marinas en el Archipiélago de Todos Santos tiene un potencial favorable.

Table 4: Matriz FODA Ponderado del uso de madrigueras artificiales en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California. Elaboración propia.

FACTORES INTERNOS				FACTORES EXTERNOS				TOTAL
Peso	Calificación	Resultado Ponderado	Peso	Calificación	Resultado Ponderado			
<b>FORTALEZAS</b>			<b>OPORTUNIDADES</b>					
F1	0.5	4	2	O1	0.6	4	2.4	
F2	0.1	2	0.2	O2	0.1	2	0.2	
F3	0.1	3	0.3	O3	0.2	3	0.6	
F4	0.3	3	0.9	O4	0.2	2	0.4	
Subtotal del R.P.			<b>3.4</b>	Subtotal del R.P.		<b>3.6</b>	<b>7</b>	
<b>DEBILIDADES</b>			<b>AMENAZAS</b>					
D1	0.25	2	0.5	A1	0.5	4	2	
D2	0.5	3	1.5	A2	0.3	2	0.6	
D3	0.25	1	0.25	A3	0.2	1	0.2	
Subtotal del R.P.			<b>2.25</b>	Subtotal del R.P.		<b>2.8</b>	<b>5.05</b>	
<b>TOTAL</b>			<b>5.65</b>	<b>TOTAL</b>		<b>6.4</b>	<b>12.05</b>	

## 15 DISCUSIÓN

En el Archipiélago de Todos Santos, Baja California, las aves marinas: la Alquita Oscura y el Mérgulo de Scripps se han estado reproduciendo exitosamente en madrigueras artificiales desde la implementación de técnicas de atracción social efectuadas en el año 2013 (Bedolla *et al.*, 2019). En el presente estudio al analizar los datos de monitoreo de colonias artificiales y colonias naturales de estas aves marinas, durante los años 2016 y 2017, se encontró que no hay diferencia significativa entre el éxito reproductivo de ambos tipos de madrigueras. Este patrón ya ha sido reportado en otros estudios comparativos, como lo fue con el Petrel Europeo *Hydrobates pelagicus* (De León y Mínguez, 2023).

La Alquita Oscura (*Ptychoramphus aleuticus*) fue extirpada de las islas mexicanas (a excepción de Isla San Jerónimo), al dejar de reproducirse en casi todos sus sitios históricos de reproducción debido a las especies exóticas invasoras, específicamente debido a gatos, conejo y burros en el Archipiélago de Todos Santos. Y no fué hasta su erradicación en el 2004 que se comenzó a repoblar lentamente el archipiélago. Esto mismo ya había ocurrido en Isla Santa Bárbara, en donde las Alquitas eran tan abundantes que, en 1863 habían socavado casi toda la superficie suave y terrestre con sus madrigueras (Howell, 1917). Entre 1897 y 1908, se introdujeron gatos en la isla (Willet, 1912), y la antigua colonia de reproducción de estas aves estaba completamente abandonada. Dicho estudio concluyó que los gatos que infestaban la isla habían exterminado a las aves, (Hunt *et al.*, 1978 y Willet, 1912), confirmando el impacto que ocasionan las especies exóticas en las islas y sus poblaciones reproductoras de aves.

Por otra parte, en 1863 se informó que los Mérgulos de Xantus se habían reproducido moderadamente en la isla de Santa Bárbara, y en 1912 se encontró un solo huevo fresco en un agujero de la isla.

Según la investigación de Grubb (1973), se observó un incremento notable en la cantidad de Paños volando cerca de emisiones de sonidos amplificadas. Dato que se confirma en este caso de estudio con el Paño Cenizo en el resultado del objetivo dos, en el cual se

comparan colonias artificiales con diferentes tratamientos, siendo los sitios con emisión de vocalizaciones los que presentaron el 100% de la actividad registrada mediante cámaras trampa durante la temporada reproductiva 2021.

Buxton y Jones (2012), realizaron un estudio experimental de atracción social en dos especies de *Oceanodroma* con señales acústicas y olfativas, señalan que al utilizar una señal se ven atraídos, pero combinando las dos señales se ven muy fuertemente atraídos. Lo mismo ocurrió en el presente estudio al combinar el control de vegetación invasora y los sistemas acústicos, obteniendo así resultados positivos en la ocupación de las madrigueras artificiales en la Isla de Todos Santos, por las especies ya referidas.

Además, Buxton y Jones mencionan que las señales acústicas además de atraer a individuos de la misma especie, también atraen a otras especies, tal como lo fue en este caso, al obtener registros y ocupaciones de Mérculo de Scripps y Alquita Oscura en colonias con señales acústicas de Paíño Cenizo.

Respecto a la selección de hábitat, las aves coloniales aprovechan el éxito reproductivo de sus congéneres (Danchin *et al.* 1998), tales como ocurre con el Paíño Cenizo, la Alquita Oscura o el Mérgulo de Scripps.

Los factores asociados con la selección del sitio de nidificación incluyen aspectos físicos del ambiente como la estructura de la vegetación, la topografía o el tipo de suelo (Klopfer y Hailman 1965), mismos que se ven afectados por la cobertura vegetal que abarca el “vidrillo” en gran parte de los sitios de anidación de la Alquita oscura en el Archipiélago; así como, factores sociales como la vista y el sonido de sus congéneres (Darling 1938).

La hipótesis de facilitación social (Darling, 1938) indica que este tipo de aves, al intentar reproducirse por primera vez buscan sitios reproductivos activos de congéneres (Podolsky y Kress, 1989).

Un estudio en Isla Anacapa determinó la actividad acústica del Paíño cenizo entre las 21:00 h y las 04:59 h, con el pico de actividad entre la 01:00 h a las 3:59 h (Harvey *et al.*, 2016), en las Islas Todos Santos se registró la actividad por medio de grabaciones “video/sonido” dentro de las colonias artificiales desde las 20:00 h hasta las 04:59 h, una

hora más temprano que en Anacapa, con el pico de actividad entre las 02:00 a 03:59 h, una hora menos de actividad pico registrada únicamente dentro de las colonias artificiales.

McIver et al. (2016) demuestra la eficacia del uso de técnicas de atracción, como señales acústicas, y fomenta el uso de sitios artificiales para el Paíño cenizo en Isla Santa Cruz; por lo que, aunque no se ha logrado establecer una colonia artificial reproductiva en Isla Todos Santos, su actividad de prospección es alta y el pronóstico para futuras anidaciones es positiva.

## 16 CONCLUSIONES

- No existe diferencia significativa en el porcentaje de éxito reproductivo en madrigueras artificiales y naturales, durante los años 2016 y 2017 para la Alquita Oscura y el Mergulo de Scripps en el Archipiélago de Todos Santos, Baja California, México. Para realizar estudios comparativos con información de años anteriores se debe contar con la misma cantidad y calidad de información, por lo tanto la estandarización de los datos es esencial para análisis futuros de la información generada; y en consecuencia, de la toma de decisiones.
- La ocupación de madrigueras artificiales presenta una ligera tendencia a la baja en especies como Alquita Oscura y Mergulo de Scripps desde el año 2016 a la fecha, a pesar de que la tendencia en el porcentaje de éxito reproductivo va en aumento.
- Las ocupaciones de madrigueras artificiales de Alquita Oscura y Mergulo de Scripps han disminuido considerablemente desde el 2016 a la fecha, mientras que el número de madrigueras naturales ocupadas aumenta.
- Para ambas especies de aves marinas, las colonias artificiales que cuentan con sistemas acústicos y control de vegetación fueron eficientes, mientras que las colonias sin sistemas de atracción no obtuvieron resultados positivos.
- Estas especies de aves marinas han demostrado no depender de las reproducciones acústicas actualmente, ya que al llegar al campo en el mes de abril (antes de instalar el sistema acústico) algunos individuos ya se encontraban ocupando madrigueras artificiales.
- Las madrigueras artificiales con control de vegetación y sistema acústico aumentaron significativamente el éxito reproductivo y supervivencia del polluelo en Alquita oscura y Mergulo de Scripps en Isla Todos Santos Sur.
- En el 2020, los meses con mayor actividad de Paño Cenizo dentro de las colonias; ya sea dentro de madrigueras o volando bajo y caminando entre las madrigueras, fueron abril y mayo.

- Con respecto al resultado obtenido en el análisis FODA, a pesar de haber obtenido un potencial favorable respecto al uso de madrigueras artificiales en las islas Todos Santos, es importante recordar que esta matriz es solo una herramienta de evaluación complementaria, y que se deben realizar análisis adicionales estadísticos y considerar otros factores, como incremento o decremento del índice de reproducción, entre otros.

## 17 RECOMENDACIONES DE MANEJO

Dado los resultados alcanzados en este estudio y con el propósito de garantizar la eficacia continua del empleo de madrigueras artificiales y sistemas de atracción social en el Archipiélago de Todos Santos, a fin de lograr que las poblaciones reproductoras de las especies objetivo prosperen y se multipliquen, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda dar seguimiento al uso de madrigueras artificiales de concreto, así como dar el mantenimiento adecuado para el cumplimiento de los objetivos establecidos al inicio del proyecto.
- Es importante tomar en cuenta las condiciones ambientales del área de instalación de nuevas colonias artificiales, así como las ya instaladas para su reubicación. Para esto se recomienda la instalación de estaciones meteorológicas y/o “data loggers” que registren principalmente temperatura y humedad dentro de las madrigueras.
- Es necesario dar seguimiento a la base de datos elaborada con formato mostrado en Tabla 3 para estandarizar la información de manera que facilite realizar análisis estadísticos que nos brinden un mejor panorama de lo que ocurre con las aves marinas y establecer acciones de manejo para las aves marinas de las islas Todos Santos.
- Se recomienda usar los sistemas de atracción acústicos en todas las colonias artificiales para años posteriores y utilizar la base de datos propuesta. Así como, continuar realizando análisis estadísticos cada año para identificar tendencias poblacionales.
- El uso de cámaras trampa con programación a base de video resultó más eficiente para para la obtención de registros importantes del Paíño Cenizo, por lo que se recomienda no suspender dicha actividad.

## 18 BIBLIOGRAFÍA

- Aceh, kue tradisional khas, Rios, E. D. S., Donato, A. M., & Sprott, D. (2010). <https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/>
- Aguirre-Muñoz, A., Méndez Sánchez, F., De la Rosa Conroy, L., Latofski Robles, M., & Manríquez Ayub, A. (2013). Diagnóstico de especies exóticas invasoras en las 8 Reservas de la Biosfera y Áreas Naturales Protegidas (ANP) insulares seleccionadas, a fin de establecer actividades para el manejo de las mismas. 128. [www.islas.org.mx](http://www.islas.org.mx)
- Aguirre-Muñoz, A., Samaniego-Herrera, A., Luna-Mendoza, A., Ortiz-Alcaraz, M., Rodríguez-Malagón, Méndez-Sánchez, F., Félix-Lizárraga, M., Hernández-Montoya, J. C., González-Gómez, R., Torres-García, F., Barredo-Barberena, J. M., & Latofski-Robles, M. (2011). Island restoration in Mexico: ecological outcomes after systematic eradications of invasive mammals. *Island Invasives: Eradication and Management*, 250–258.
- Ainley, D.G. 1995. Ashy Storm-Petrel (*Oceanodroma homochroa*). In: POOLE, A. (Ed.) The Birds of North America Online. Ithaca, NY: Cornell Lab of Ornithology. [Available online at: <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/185>. Accessed 3 March 2016].
- Ainley, D. G., D. A. Manuwal, J. Adams, and A. C. Thoresen (2020). Cassin's Auklet (*Ptychoramphus aleuticus*), version 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.casauk.01>
- Ainley, D. G., W. Mclver, J. Adams, and M. Parker (2021). Ashy Storm-Petrel (*Hydrobates homochroa*), version 1.1. In *Birds of the World* (P. G. Rodewald, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.asspet.01.1>.
- Bedolla-Guzmán, Y., Méndez-Sánchez, F., Aguirre-Muñoz, A., Félix-Lizárraga, M., Fabila-Blanco, A., Bravo-Hernández, E., Hernández-Ríos, A., Corrales-Sauceda, M., Aguilar-Vargas, A., Aztorga-Ornelas, A., Solís-Carlos, F., Torres-García, F., Luna-Mendoza, L., Ortiz-Alcaraz, A., Hernández-Montoya, J., Latofski-Robles, M., Rojas-Mayoral, E., & Cárdenas-Tapia, A. (2019). Recovery and current status of seabirds on the Baja California Pacific Islands, Mexico, following restoration actions. *Island Invasives: Scaling up to Meet the Challenge*, 62, 531–538.
- BirdLife International. 2020. *Synthliboramphus scrippsi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T62101249A178995789. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T62101249A178995789.en>. Accessed on 03 February 2023.
- Buxton, R. T., & Jones, I. L. (2012). An experimental study of social attraction in two species of storm-petrel by acoustic and olfactory cues. *Condor*, 114: 733–743.

<https://doi.org/10.1525/cond.2012.110091>.

Courchamp, F.; Chapuis, J.L. and Pascal, M. 2003. Mammal invaders on islands: impact, control, and control impact. *Biological Reviews*, 78: 347-383.

Danchin, E., T. Boulinier, and M. Massot. 1998. Conspecific reproductive success and breeding habitat selection: implications for the study of coloniality. *Ecology*, 79: 2415–2428.

Darling, F. F., 1938, *Birds Flocks and the Breeding Cycle. A Contribution to the Study of Avian Sociality*, Cambridge University Press, Cambridge, England.

Dawson, W. L. 1911. Another fortnight on the Farallones. *Condor*, 13: 171–183.

Delgadillo J. 1998. *Florística y ecología del norte de Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.

De León, A. y Mínguez, E. (2003). Tasas de ocupación y éxito de anidación de petreles europeos que se reproducen dentro de cajas nido artificiales. *Scientia Marina*, 67: 109–112. <https://doi.org/10.3989/scimar.2003.67s2109>.

DOF, 2016. Decreto por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Islas del Pacífico de la Península de Baja California. *Diario Oficial de la Federación* a 7 de diciembre de 2016.

Drost, C. A. and D. B. Lewis (2020). Scripps's Murrelet (*Synthliboramphus scrippsi*), version 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole and F. B. Gill, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.xanmur2.01>

GRUBB, T.C. 1973. Colony location by Leach's Storm Petrel. *Auk* 90: 78-82.

Guerrero-Eloisa Oscar Sandino, Díaz-Segura Omar, Golubov Jordan & Mandujano María. “*Mesembryanthemum crystallinum* L. (Aizoaceae): la planta de hielo africana en el norte de México” 2020.

Guía básica de AVES MARINAS del Parque Nacional de las Islas Atlánticas de Galicia y de las Rías Baixas. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, 1--98. [https://www.parquenacionalillasatlanticas.com/documentos/guia\\_avesmarinas\\_es.pdf](https://www.parquenacionalillasatlanticas.com/documentos/guia_avesmarinas_es.pdf).

Hammer, Øyvind, Harper, David A.T., & Paul D. Ryan. 2001. *Past: Paleontological Statistics*

Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, issue 1, art. 4: 9pp., 178kb.  
[http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).

Harvey, A.L., Mazurkiewicz, D.M., McKown, M.W., Barnes, K.W. & Parker, M.W. 2016. Changing breeding status of the Ashy Storm-Petrel *Oceanodroma homochroa* on Anacapa Island, California. *Marine Ornithology*, 44: 93–97.

Howell, AB. 1917. *Birds of the Southern California Islands*. Eds. J. Grinnell and H. Swarth. Museum of Vertebrate Zoology, University of California. Cooper Ornithological Club Pacific Coast Avifauna No. 12. The Club. 127 pages.

Hunt, George L. Jr., R. L. Pitman, and H. Lee Jones. 1978. "Distribution and Abundance of Seabirds Breeding on the California Channel Islands." In: 2nd California Islands Multidisciplinary Symposium. 443-459.

Jones, H.P. and Kress, S.W. (2012). 'A review of the world's active seabird restoration projects'. *Journal of Wildlife Management* 76: 2–9.

Junak, S. A. y R. Philbrick, 1994a. The vascular plants of Todos Santos island, Baja California, Mexico. Pp. 407-428 en W. L. Halvorson y G. J. Maender (eds.), *The Fourth California Islands Symposium: Update on the State of Resources*. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, CA.

Kaeding, H.B. (1905). 'Birds from the west coast of Lower California and adjacent islands'. *Condor*, 7: 105–111.

Klopfer, P. H., & J. P. Hailman. 1965. Habitat selection in birds. *Adv. Study Behav.* 1: 279-303.

McIver, W.R., Carter, H.R., Harvey, A.L., Mazurkiewicz, D.M. & Mason, J.W. 2016. Use of artificial nest structures and vocalization broadcasting to restore Ashy Storm-Petrels at Orizaba Rock, Santa Cruz Island, California, in 2008–2011. *Marine Ornithology*, 44: 99–112.

Osburn, P.I. (1909). 'Notes on the birds of Los Coronados Islands, Lower California'. *Condor*, 11: 134–138.

Podolsky, R. H., and S. W. Kress. 1989. Factors affecting colony formation in Leach's Storm-

Petrel. Auk, 106: 332–336.

- Primack, R.B. 2002. Essentials of conservation biology. Sinauer Associates Press, Sunderland.
- Sanz-Aguilar, A., G. Tavecchia, E. Minguez, B. Massa, F. L. Valvo, G. A. Ballesteros, G. G. Barberá, J. F. Amengual, A. Rodriguez, M. McMinn et al. 2010. Recapture processes and biological inference in monitoring burrow-nesting seabirds. *Journal of Ornithology*, 151: 133–146.
- Sousa-Lima, R. S., Norris, T. F., Oswald, J. N. & Fernandes, D. P. (2013). A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. *Aquatic Mammals*, 39(1), 23-53. <https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2013.6683984>
- Steadman, D.W. 1995. Prehistoric extinctions of Pacific island birds: biodiversity meets zooarchaeology. *Science*, 267: 1123- 1131.
- Szabo, J. K., Khwaja, N., Garnett, S. T. y Butchart, S. H. M. 2012. Global Patterns and Drivers of Avian Extinctions at the Species and Subspecies Level. *PLoS ONE*, 7, e47080.
- Tershy, B.R., C.J. Donlan, B.S. Keitt, et al. 1997. Island conservation in northwest Mexico: A conservation model integrating research, education, and exotic mammal eradication. Pp. 293–300 in C.R. Veitch & M.N. Clout [Eds]. *Turning the Tide: The eradication of invasive species*. Gland, Switzerland, and Cambridge, UK: IUCN
- Vanderplank, S., A. Peralta-García, J.H. Valdez-Villavicencio, and C. De la Rosa. 2017. Plantas y animales únicos de las islas del Pacífico de Baja California/Unique Plants and Animals of the Baja California. *Pacific Islands. Sida, Bot. Misc.* 46. Botanical Research Institute of Texas, Fort Worth, Texas, USA. 134 p.
- Willett, G. 1912. Birds of the Pacific slope of southern California. Eds.J. Grinnell and H. Swarth. *Museum of Vertebrate Zoology, University of California. Cooper Ornithological Club Pacific Coast Avifauna No. 7. The Club.* 123p.