

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



# Diagnóstico de la población reproductiva de Pardela de Islas Revillagigedo (*Puffinus auricularis*) en Isla Socorro

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

ISELA CRISTAL HERNÁNDEZ MENDOZA

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, DICIEMBRE DE 2019





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14  
REP 2017

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de LA PAZ, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 18 del mes de Noviembre del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CICIMAR

para examinar la tesis titulada: "DIAGNÓSTICO DE LA POBLACIÓN REPRODUCTIVA DE PARDELA DE ISLAS REVILLAGIGEDO (*Puffinus auricularis*) EN ISLA SOCORRO"

por el (la) alumno (a):


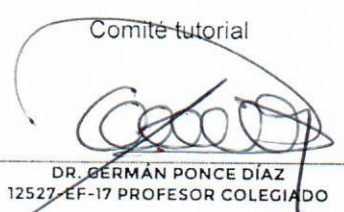



Apellido Paterno:	HERNÁNDEZ	Apellido Materno:	MENDOZA	Nombre (s):	ISELA CRISTAL
-------------------	-----------	-------------------	---------	-------------	---------------

Número de registro: A 1 8 0 4 2 8

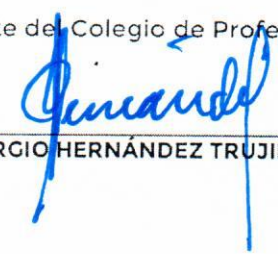
Aspirante del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de la lectura y revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **NO APROBAR**  la tesis, en virtud de los motivos siguientes: "SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VICENTES"

Comité tutorial

 <hr/> Dr. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO (Director de Tesis) 10937-EJ-15/6 PROFESOR COLEGIADO	 <hr/> DR. GERMÁN PONCE DÍAZ 12527-EF-17 PROFESOR COLEGIADO	 <hr/> DR. RODRIGO MONCAYO ESTRADA 12937-EE-17 PROFESOR COLEGIADO
 <hr/> M en C. YULIANA ROCÍO BEDOLLA GUZMAN PROFESOR - OTRA INSTITUCIÓN	 <hr/> M en C. FERNANDO SOLÍS CARLOS PROFESOR - OTRA INSTITUCIÓN	

Presidente del Colegio de Profesores

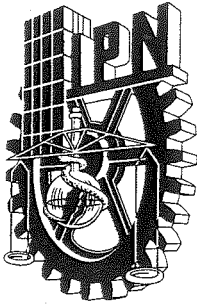
  


---

 DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.  
CICIMAR  
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes de Noviembre del año 2019

El (la) que suscribe BIÓL. ISELA CRISTAL HERNÁNDEZ MENDOZA Alumno (a) del Programa  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A180428 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO

y cede los derechos del trabajo titulado:

"DIAGNÓSTICO DE LA POBLACIÓN REPRODUCTIVA DE PARDELA DE ISLAS REVILLAGIGEDO

(*Puffinus auricularis*) EN ISLA SOCORRO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: cristal.hernandez.mendoza@gmail.com - strujil@ipn.mx -

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. ISELA CRISTAL HERNÁNDEZ MENDOZA

*Nombre y firma del alumno*

## **Agradecimientos**

A Dios por la vida, fortaleza y cuidado en todo momento de mi existencia.

A mis papás y hermanos que en todo momento me dieron su apoyo incondicional, palabras de aliento y muchas porras! Meny, gracias por todas tus sonrisas. Emmanuel, te extrañamos diariamente.

A mis amigos por los consejos, apoyo moral y toda la diversión que compartí durante la maestría, hicieron que mi estancia fuera más sencilla.

A mi Director de tesis, Dr. Sergio Hernández Trujillo y codirectores por su guía y paciencia durante el desarrollo y redacción de este documento, gracias por ayudarme a crecer profesionalmente.

A mi equipo de boliche de la liga CICIMAR *Spinbol*, Ricardo, Héctor y Enrique, por enseñarme todos sus trucos y por confiar en la novata.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), por las facilidades brindadas para llevar a término la maestría, a los docentes que cada uno en su disciplina me dejan una gran enseñanza.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para llevar a término esta maestría.

Al Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI), por el apoyo logístico y las facilidades otorgadas durante la maestría, gracias por la confianza para el desarrollo de este importante tema.

A las organizaciones que hicieron posible la realización de este proyecto: la Secretaría de Marina-Armada de México (SEMAR), así como al personal del Sector Naval en Isla Socorro; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y a la Secretaría de Gobernación (SEGOB). Agradezco el apoyo financiero de la Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, American Bird Conservancy, Fundación Packard, Marisla, National Fish and Wildlife Foundation y The Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund.

Al Dr. Victor Cruz, Dr. Javier Urcadiz y al M. C. Arturo del Pino, por guiarme en el proceso de Modelación de nicho ecológico.

A P., sin tí este logro no hubiera sido posible, gracias por cuidarme, darme ánimos en los momentos más difíciles y por tus consejos, los valoro mucho.



# Índice

<b>Índice de figuras</b>	<b>III</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>V</b>
<b>Glosario</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>Abstract</b>	<b>X</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Pardela de Islas Revillagigedo . . . . .	2
<b>2. Antecedentes</b>	<b>5</b>
2.1. Impactos de las especies exótica invasoras (EEI) . . . . .	5
<b>3. Hipótesis</b>	<b>8</b>
<b>4. Objetivo</b>	<b>8</b>
4.1. Objetivos particulares . . . . .	8
<b>5. Área de estudio</b>	<b>9</b>
<b>6. Materiales y Métodos</b>	<b>12</b>
6.1. Caracterización de las zonas de anidación . . . . .	12
6.1.1. Modelación de nicho ecológico . . . . .	13
6.2. Estimación de la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo . . . . .	14
6.2.1. Búsqueda y muestreo de madrigueras . . . . .	14
6.2.2. Toma de datos morfométricos . . . . .	16
6.2.3. Éxito reproductivo . . . . .	17
6.2.4. Fototrampeo . . . . .	17
6.2.5. Bioacústica . . . . .	18
6.3. Erradicación de gato asilvestrado . . . . .	19
<b>7. Resultados</b>	<b>22</b>
7.1. Caracterización las zonas de anidación . . . . .	22
7.1.1. Modelación de nicho ecológico . . . . .	26
7.2. Estimación de la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo . . . . .	27
7.2.1. Búsqueda y muestreo de madrigueras . . . . .	27
7.2.2. Toma de datos morfométricos . . . . .	29
7.2.3. Éxito reproductivo . . . . .	30
7.2.4. Fototrampeo . . . . .	30
7.2.5. Bioacústica . . . . .	31
7.3. Erradicación de gato asilvestrado . . . . .	33

<b>8. Discusión</b>	<b>35</b>
8.1. Caracterización de las zonas de anidación . . . . .	35
8.2. Estimación de la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo . . . . .	36
8.3. Erradicación del gato asilvestrado . . . . .	37
<b>9. Conclusiones</b>	<b>37</b>
<b>10. Recomendaciones</b>	<b>38</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>47</b>



## Índice de figuras

1.	Pardela de Islas Revillagigedo ( <i>Puffinus auricularis</i> ) . . . . .	3
2.	Ciclo de vida anual de la Pardela de Islas Revillagigedo ( <i>Puffinus auricularis</i> ). . . . .	4
3.	Extinciones a nivel mundial en el grupo de aves registradas desde el año 1500. Tomado de Baillie <i>et al.</i> (2004) . . . . .	6
4.	Causas de las extinciones en aves. Tomado de Baillie <i>et al.</i> (2004) . . . . .	7
5.	Localización de Isla Socorro en el Archipiélago de Revillagigedo. . . . .	9
6.	Matorral mixto que corresponde a: a) <i>Dodoneaea viscosa</i> , b) <i>Guettarda insularis</i> y c) <i>Pteridium caudatum</i> . . . . .	10
7.	Especies endémicas que habitan en Isla: a) <i>Puffinus auricularis</i> y b) <i>Urosaurus auriculatus</i> . . . . .	11
8.	a) MDE de Isla Socorro, b) asociaciones vegetales y c) asociaciones de suelos. . . . .	12
9.	a) Ubicación de los plots para confirmar presencia-ausencia, b) búsqueda de madrigueras y validación de vegetación y c) curvas de nivel de 20m. . . . .	14
10.	Zona potencial de anidación de la Pardela de Islas Revillagigedo, el área se muestra en rojo que es superior a los 800 msnm. . . . .	15
11.	a) Estructura interna de una madriguera de pardela, b) perro de muestra buscando madrigueras y c) utilización de boroscopio para observar el interior de una madriguera. . . . .	15
12.	a) Toma de medidas morfométricas y b) anillamiento de individuos . . . . .	17
13.	Instalación y modelo de trampas-cámara. . . . .	18
14.	a) Sitios donde fueron colocadas las grabadoras automáticas y b) modelo de grabadora automática. . . . .	18
15.	Espectrograma de la vocalización de pardela generado con Raven Pro. . . . .	19
16.	Ubicación de transectos de trampas-cámara. Tomado de Ortiz Alcaraz (2016). . . . .	20
17.	Ubicación de trampas cebo y letales. Tomado de Ortiz Alcaraz (2016). . . . .	21
18.	Ubicación de las madrigueras respecto a la altitud en Isla Socorro, las madrigueras se muestran en blanco. . . . .	22
19.	Porcentaje de madrigueras ubicadas en los 800 msnm y por encima de los 900 msnm. . . . .	23
20.	Imagen de la topografía en Isla Socorro y ubicación de las madrigueras (izquierda), donde se muestra como el 55 % de las madrigueras se encuentran con una orientación al Norte (derecha). . . . .	23
21.	Ubicación de las madrigueras de Pardela de Islas Revillagigedo respecto a la vegetación en la isla Socorro. Las madrigueras se muestran en color naranja. . . . .	24
22.	Ubicación de las madrigueras de Pardela de Islas Revillagigedo respecto a las asociaciones de suelos en la isla Socorro. Las madrigueras se muestran en color verde. . . . .	25

23. Dirección del viento en un año, muestra en promedio vientos provenientes del Norte. . . . .	25
24. Mapa que muestra el sitio potencial (1) donde se puede encontrar a la Pardela de Islas Revillagigedo. . . . .	26
25. Modelación de nicho ecológico para la Pardela de Islas Revillagigedo que indica que la altitud tiene la mayor contribución. . . . .	27
26. Zonas donde se ha buscado pardela (gris) dentro de la zona potencial de anidación. Tomado de Ortiz-Alcaraz <i>et al.</i> (2019). . . . .	29
27. Pardela incubando en madriguera artificial y pollo nacido en la madriguera. Imagen/GECI J.A. Soriano . . . . .	30
28. Frecuencia de visitas a la madriguera. Tomado de Ortiz-Alcaraz <i>et al.</i> (2019). . . . .	31
29. Vocalizaciones promedio por grabadora de la Pardela de Islas Revillagigedo durante la temporada 2018. . . . .	32
30. Tasa de vocalización por minuto de la Pardela de Islas Revillagigedo en Isla Socorro para la temporada 2018. Tomado de Ortiz-Alcaraz <i>et al.</i> (2019). . . . .	33

## Índice de tablas

1.	Comparación entre aves marinas y paserinas. Tomado de Schreiber y Burger (2001) . . . . .	1
2.	Criterios para designar el estatus de una madriguera de la Pardela de Islas Revillagigedo. . . . .	16
3.	Número de madrigueras de la Pardela de Islas Revillagigedo encontradas por año y su respectivo estatus. Tomado de Solís-Carlos (2019). . . . .	28
4.	Medidas morfométricas de la Pardela de Islas Revillagigedo en Isla Socorro. . . . .	29
5.	Frecuencia de interacciones fuera de la madriguera. Tomado de Ortiz-Alcaraz <i>et al.</i> (2019). . . . .	31
6.	Número de capturas de gatos por año en Isla Socorro. Elaborado a partir de datos no publicados de GECI (2012-2019) . . . . .	34



## Glosario

**Ave marina:** Grupo de aves que la mayor parte de su vida interacciona en el mar y utilizan la costa, islas o islotes para reproducirse. Este grupo se encuentra en distintas categorías de riesgo.

**Boroscopio:** Herramienta utilizada para la inspección visual en lugares inaccesibles para el ojo humano.

**Dimorfismo sexual:** Diferencias morfológicas y fisiológicas que caracterizan y diferencian a los dos sexos de la misma especie.

**Dinamómetro:** Instrumento para medir fuerzas o masa de los objetos.

**Especie:** Conjunto de individuos que son capaces de reproducirse entre sí y generar descendencia fértil, compartiendo rasgos fisionómicos, fisiológicos y conductuales. Unidad básica de clasificación taxonómica.

**Especie endémica:** Aquella especie cuyo ámbito de distribución natural se encuentra circunscrito únicamente a un área geográfica, adaptadas a su propio entorno y vulnerables a cambios en su entorno.

**Especies exóticas invasoras:** Son especies introducidas de forma artificial, accidental o intencionadamente, que después de cierto tiempo consiguen adaptarse al medio y colonizarlo.

**Especies insulares:** Especies que habitan en islas.

**Espectrograma:** Descripción gráfica del espectro de frecuencias de la emisión sonora.

**Filopátrico:** Especies que regresan a reproducirse a los sitios donde nacieron.

**GECI:** Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C.

**Guano:** Excremento de aves marinas.

**Hábitat:** El sitio específico en un medio ambiente físico, ocupado por un organismo, por una población, por una especie o por comunidades de especies en un tiempo determinado.

**UICN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

**Madriguera:** Túnel que un animal excava para obtener refugio o habitar en ella.

**Modelo digital de elevación:** (MDE), representación visual y matemática de los valores de altura respecto al nivel medio del mar.

**Morfometría:** Herramienta de análisis para investigar los cambios en forma y tamaño de individuos, a fin de evaluar patrones.

**Nicho:** Función o posición de un organismo en el medio, sus actividades y relaciones en la comunidad.

**Plot:** Área circular con un diámetro determinado. En ecología se utiliza para contabilizar todo lo que dicha área contenga.

**Población:** Conjunto de individuos de una especie silvestre, que comparten el mismo hábitat.

**Trampas cebo:** Método utilizado para la captura y contención de mamíferos.

**Vocalización:** Forma de comunicación a distancia que puede transmitir diversos mensajes a los miembros de su especie e incluso a los de otras especies en diversos contextos ecológicos, reproductivos, conductuales y evolutivos.

**Volantón:** Cría de aves que abandonaron el nido y que antes de abandonarlo cumplen con todas las características de un adulto.

**Vernier:** Instrumento de medición precisa considera desde centímetros hasta fracciones de milímetros.

## Resumen

Las aves marinas son un grupo importante porque vinculan el ambiente aéreo, terrestre y marino, por lo que funcionan como indicadores del estado de salud de los ecosistemas marinos. A pesar de ello, son de los grupos de aves más amenazados, tal es el caso de la Pardela de Islas Revillagigedo, especie endémica del Archipiélago de Revillagigedo que se encuentra En Peligro Crítico de Extinción debido a que su zona de anidación actual se restringe a la isla Socorro, en el Archipiélago de Revillagigedo donde ha sufrido depredación por gatos que fueron introducidos en 1957. La información disponible sobre la Pardela de Islas Revillagigedo es limitada desde que fue descubierta en 1890, y siendo que los registros históricos se realizaron con base en avistamientos o vocalizaciones, la cantidad de individuos reportada es variable. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo conocer diferentes aspectos de la biología reproductiva de la especie y su comportamiento así como los elementos que determinan la elección en los sitios de anidación en la isla. Con el fin de determinar dichos elementos, se utilizaron mapas de vegetación, suelo y un Modelo Digital de Elevación (MDE) que permitió extraer variables como la altitud, orientación y pendiente. Además, se utilizó el programa MaxEnt para modelar el nicho ecológico potencial y otras herramientas que permitieran conocer otros aspectos de vida y sus amenazas. En ese sentido, se encontró que la pardela, especie de hábitos nocturnos y que habita en madrigueras, prefiere sitios con matorral mixto y a una altitud superior a los 800 msnm, los cuales son sitios de difícil acceso. Cuantificar la población reproductiva resulta importante para proponer y realizar medidas de conservación. En este estudio se concluyó que en la zona de anidación habitan 21 parejas reproductivas, sin embargo, es importante continuar con la búsqueda y explorar en las otras islas del Archipiélago (Isla San Benedicto e Isla Clarión, parte del Archipiélago de Revillagigedo) para robustecer el estudio y conocimiento de la Pardela de Islas Revillagigedo.

**Palabras clave:** Conservación, Isla Socorro, Pardela de Islas Revillagigedo.

## Abstract

Seabirds are an important group because they link the aerial, terrestrial and marine environment, so they function as indicators of the health status of marine ecosystems. Despite this, they are among the most threatened bird groups, such is the case of the Townsend's shearwater, an endemic species of the Revillagigedo Archipelago that is in Critical Endangered due to its current nesting zone being restricted to Socorro Island, in the Revillagigedo Archipelago where it had predation by cats that were introduced in 1957. The information available on the Townsend's shearwater is limited since it was discovered in 1890, and since the historical records are based on sightings or vocalizations, the number of individuals reported is variable. In this context, the present study aims to know different aspects of the reproductive biology of the species and its behavior as well as the elements that determine the choice in the nesting sites on the island. In order to determine these elements, use maps of vegetation, soil and a Digital Elevation Model (DEM) to determine variables such as altitude, orientation and slope. In addition, there is the MaxEnt program to model the potential ecological niche and other tools that allow knowing other aspects of life and its threats. In that sense, it is found that the Townsend's shearwater, species with nocturnal habits and that inhabits in burrows, sites with mixed scrub and an altitude higher than 800 meters above sea level, which are places of difficult access. Quantifying the reproductive population is important for the proposed conservation measures. In this study it was concluded that in the nesting area there are 21 reproductive couples, however, it is important to continue the search and explore in the other islands of the Archipelago (San Benedicto Island and Clarion Island, part of the Revillagigedo Archipelago) to strengthen the study and knowledge of the Townsend's shearwater.

**Keywords:** Conservation, Socorro island, Townsend's shearwater



# 1. Introducción

Las aves marinas son organismos que viven en ambientes marinos, tales como islas, estuarios, humedales e islas oceánicas. La característica representativa de estas aves, es que se alimentan en sitios salinos, además son capaces de estar semanas, meses e incluso años en el mar (Schreiber y Burger, 2001). Existen diferencias notables entre las aves marinas y las terrestres, por nombrar algunas está que las aves marinas tienden a ser de mayor tamaño, presentan un plumaje poco colorido y algunas no presentan dimorfismo sexual, entre otras (Tabla 1).

**Tabla 1. Comparación entre aves marinas y paserinas. Tomado de Schreiber y Burger (2001)**

<b>Historia de vida</b>	<b>Aves marinas</b>	<b>Paserinas</b>
Edad de la primera puesta	2-9 años	1-2 años
Tamaño de la puesta	1-5 huevos	4-8 huevos
Periodo de incubación	20-69 días	12-18 días
Periodo en el nido	30-280 días	20-35 días
Vida máxima	12-60 años	5-15 años

Históricamente, varios autores han nombrado a las aves marinas como centinelas para monitorear la salud de los ecosistemas marinos y a través de ellas determinar los niveles de contaminación en los océanos, la estructura de los ecosistemas, además de cambios climáticos (Furness y Camphuysen, 1997; Schreiber y Burger, 2001; Velarde *et al.*, 2004; Wolf *et al.*, 2010; Lewison *et al.*, 2012; Cardoso *et al.*, 2014). Estas aves son organismos longevos que muestran una alta tasa de supervivencia como adultos y reclutamiento progresivo a la población reproductora (Schreiber y Burger, 2001). Debido a su longevidad, es que se han documentado los factores que provocan cambios en las poblaciones de aves marinas, por ejemplo, mortalidad incidental provocada por las pesquerías, contaminación, especies exóticas invasoras, cambios en la disponibilidad de alimento y cambios en las condiciones oceánicas (Lewison *et al.*, 2012). Las aves marinas son importantes indicadores del *estatus* de la estructura de ecosistemas marinos, debido a su amplio rango de distribución, ya que habitan en todos los océanos y son relativamente fáciles de monitorear en una escala espacio-temporal larga (Furness y Camphuysen, 1997).

Dentro del grupo de aves, las aves marinas son las que están mayormente amenazadas a nivel mundial (Croxall *et al.*, 2012). Por lo cual es importante evaluar sus

poblaciones. Sin embargo, el estudio de aves marinas es un reto mayor, ya que implica el diseño de la logística a sitios muy lejanos como las islas y en ocasiones lugares inaccesibles. Además, algunas aves tales como pardelas y petreles presentan actividad nocturna y anidan en madrigueras o cavidades, por lo que para esas especies se dificulta evaluar visualmente el tamaño de las poblaciones (Sanz-Aguilar *et al.*, 2010). Se han desarrollado algunas metodologías para estimar el tamaño poblacional de especies nocturnas; una de ellas es la captura-recaptura, donde se marca el mayor número posible de aves (Sanz-Aguilar *et al.*, 2010). Otras incluyen estimar la densidad de madrigueras en un área determinada (Pearson *et al.*, 2013; Lawton *et al.*, 2006; Whitehead *et al.*, 2014) y el uso de bioacústica donde de manera automática o manual se graban las vocalizaciones de aves (Oppel *et al.*, 2014; Goh, 2011; Roul, 2010). Estimar el tamaño de la población reproductiva de aves marinas es de importancia ecológica, porque las aves marinas desempeñan un papel importante en el funcionamiento de algunos ecosistemas terrestres ya que transportan grandes cantidades de nutrientes del mar a la tierra (Croxall *et al.*, 2012). Algunas especies no sólo desempeñan una función fundamental en el ecosistema, sino que son indicadores del estado de salud de estos porque son sensibles a la depredación, pérdida o degradación del hábitat o perturbación marina (Whitehead *et al.*, 2014). En consecuencia, algunas pardelas y petreles han mostrado disminución en sus poblaciones (Croxall *et al.*, 2012). Además de estimar el tamaño de la población reproductiva en aves marinas, es importante conocer las preferencias o características del hábitat en el cual se reproducen. En general, la selección de un sitio de anidación va a favorecer o asegurar el éxito reproductivo, pero la disponibilidad limitada de recursos puede condicionar la cantidad de individuos que se reproducen. Por ejemplo, la disponibilidad de sitios de anidación comúnmente limita las poblaciones de aves que anidan en madrigueras. Nilsson (1984) menciona que la disponibilidad de madrigueras de alta calidad pueden estar limitadas por la competencia de los individuos. La calidad de los sitios de anidación, a su vez, puede ser afectada por microclimas, disponibilidad de alimentos y depredación.

## 1.1. Pardela de Islas Revillagigedo

La Pardela de Islas Revillagigedo (*Puffinus auricularis*) es un miembro del orden Procellariiformes, un grupo de aves marinas conformado por pardelas, petreles y albatros (Figura 1).



**Figura 1. Pardela de Islas Revillagigedo (*Puffinus auricularis*)**

Es un ave marina pelágica y de hábitos nocturnos que pasa la mayor parte de su ciclo de vida en el mar y utiliza las islas únicamente como sitios de anidación. No presenta dimorfismo sexual, lo cual dificulta determinar visualmente el sexo; es una especie monógama, filopátrica y longeva, de acuerdo con otros estudios en otras especies de género *Puffinus* se conoce que viven al rededor de 35 años (Staab, 1998). Como se ha descrito en otros procelariformes la temporada reproductiva es larga, comprende del mes de noviembre a junio (Figura 2), pudiendo prolongarse hasta el mes de julio (Jehl, 1982). La puesta del único huevo ocurre en el mes de enero y la incubación dura aproximadamente 60 días. El desarrollo del pollo toma un poco más de 80 días. Después de abandonar la isla, los volantones alcanzan su madurez sexual a los 4 años y regresar al sitio en el que nacieron a reproducirse (Jehl, 1982).

Como su nombre lo indica, históricamente anidaba en las islas que conforman el archipiélago de Revillagigedo, sin embargo, debido a la introducción de especies invasoras (ej. gato) y fenómenos naturales (erupción del volcán Bárcenas en Isla San Benedicto), su población se vio disminuida y actualmente sólo es posible encontrarla anidando en Isla Socorro (Jehl y Parkes, 1982). Debido a su bajo nivel poblacional, la especie se encuentra En Peligro de Extinción según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat, 2010) y En Peligro Crítico de Extinción según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2001).

## Ciclo de vida anual de *Puffinus auricularis*

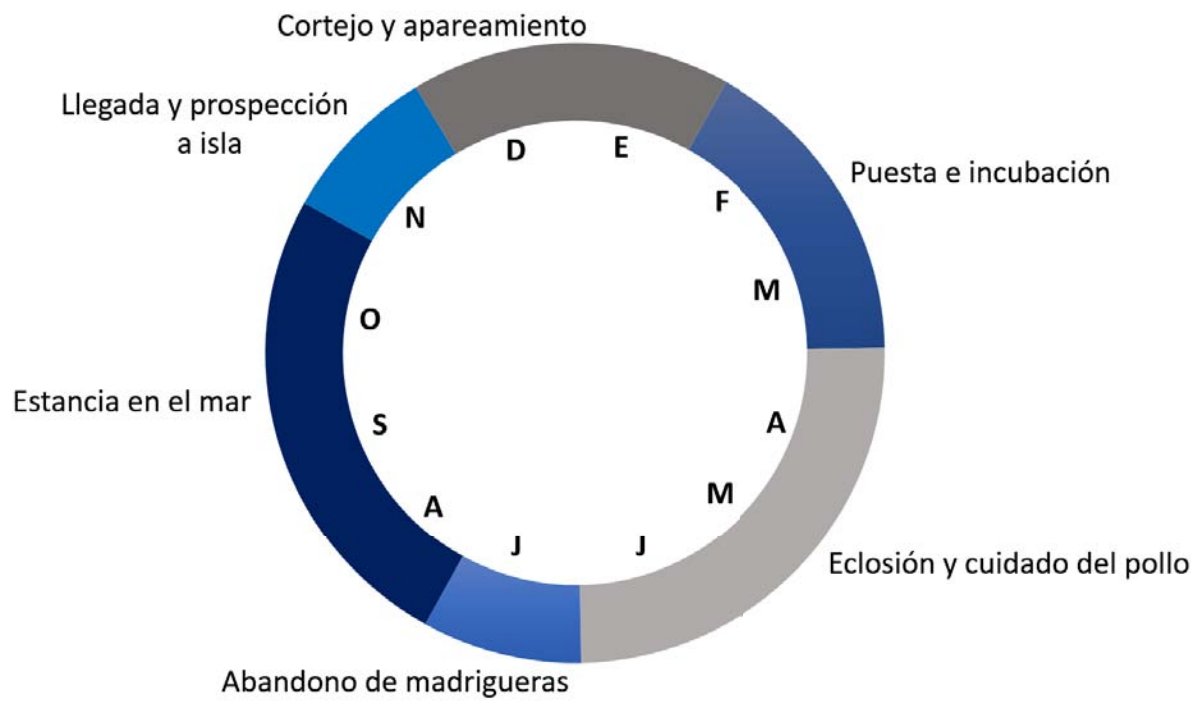


Figura 2. Ciclo de vida anual de la Pardela de Islas Revillagigedo (*Puffinus auricularis*).

## 2. Antecedentes

La información disponible de la Pardela de Islas Revillagigedo es limitada, esto puede deberse a la lejanía del sitio de anidación y a sus hábitos pelágicos. [Townsend \(1890\)](#), describe por primera vez a la pardela en una expedición científica que incluía Revillagigedo. En esta expedición se descubren cinco nuevas especies y seis subespecies de aves.

Ocho años más tarde, [Anthony \(1898\)](#) describe la avifauna de Revillagigedo y menciona que observa dos individuos de pardela volando sobre la isla Socorro. Fue hasta 1982 que [Jehl \(1982\)](#) realiza una descripción más detallada sobre la especie captura 13 ejemplares y toma medidas morfométricas, describe hábitos alimenticios y mudas. Este autor hace una aportación importante al encontrar que el sitio de anidación de la pardela se encontraba entre los 650 y 850 msnm y encontró cuatro pardelas depredadas aparentemente por gatos. [Martínez-Gómez y Jacobsen \(2004\)](#) publicaron un trabajo sobre el *estatus* y conservación de la pardela, donde también mencionan colonias de reproducción a 800 msnm y una población de 1,100 individuos realizando puntos de conteo. [Wehtje et al. \(1993\)](#) menciona que las colonias de anidación de pardela se encontraron en sitios no perturbados de bosque y matorral mixto, éste último compuesto por *Dodoneaea viscosa*, *Guettarda insularis* y *Pteridium caudatum*.

Fue hasta 2009 que el Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI) inició con el Programa de Restauración de Isla Socorro, el cual incluye la erradicación de borrego (*Ovis aries*) y gatos asilvestrados (*Felis catus*), y a partir del 2014, el monitoreo de Pardela de Islas Revillagigedo. Los monitoreos consistieron en la búsqueda de madrigueras de pardela, uso de bioacústica para grabar vocalizaciones, captura de ejemplares para tomar medidas morfométricas y empleo de trampas-cámara para registrar actividad en las madrigueras.

Dada la escasa información sobre esta especie y su restricción en términos de anidación es necesario conocer diferentes aspectos de la biología y en particular de su actividad reproductiva en la zona en que su permanencia se ve amenazada por factores naturales y antropogénicos.

### 2.1. Impactos de las especies exótica invasoras (EEI)

Desde el año 1500 se tiene registro de que la mayoría de las extinciones han ocurrido en islas; un 72 % de las extinciones registradas en cinco grupos taxonómicos fueron

especies insulares (Baillie *et al.*, 2004). Por ejemplo, para el grupo de las aves, el 54 % de las especies extintas eran especies de sistemas **insulares** (Figura 3) siendo las EEI la principal causa de extinción en las islas (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2011) (Figura 4). La depredación de aves es el principal motivo de que la anidación sea fallida en Europa y Norteamérica (Remeš *et al.*, 2012), ya que las extinciones se deben a la introducción de gatos, ratas, mustélidos y mangostas (Groombridge, 1992).

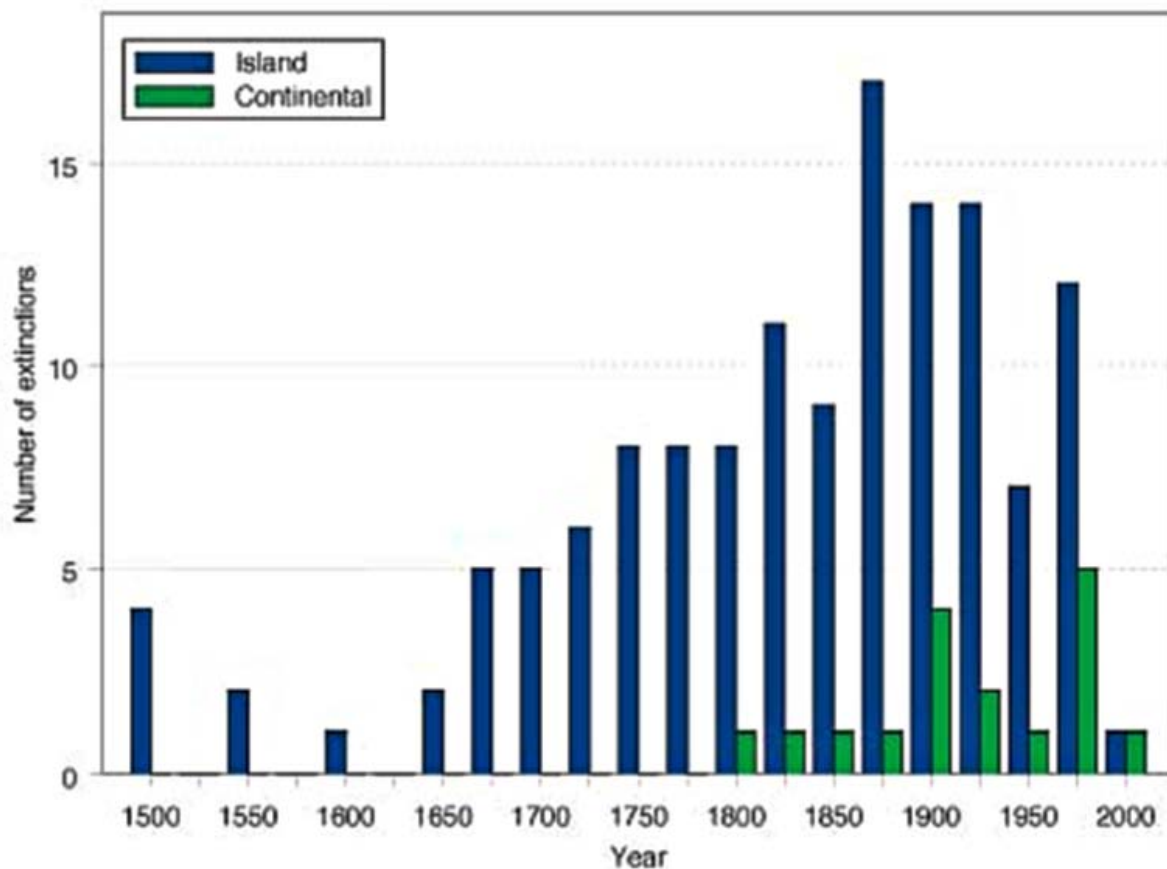


Figura 3. Extinciones a nivel mundial en el grupo de aves registradas desde el año 1500. Tomado de Baillie *et al.* (2004)

En el archipiélago de Revillagigedo el borrego doméstico se introdujo a Isla Socorro con la llegada de exploradores australianos en 1869, los cuales causaron daños en el ecosistema tales como la pérdida de suelo y la cobertura vegetal de una quinta parte de la isla (Ortega-Rubio y Castellanos-Vera, 1994). En 1957 con el asentamiento del sector naval se introdujeron gatos y ratones (*Mus musculus*). Actualmente isla Socorro se encuentra libre de borregos. En Isla Clarión también se introdujeron borregos y cerdos (*Sus scrofa*), los cuales fueron erradicados entre 2000 y 2002. Actualmente

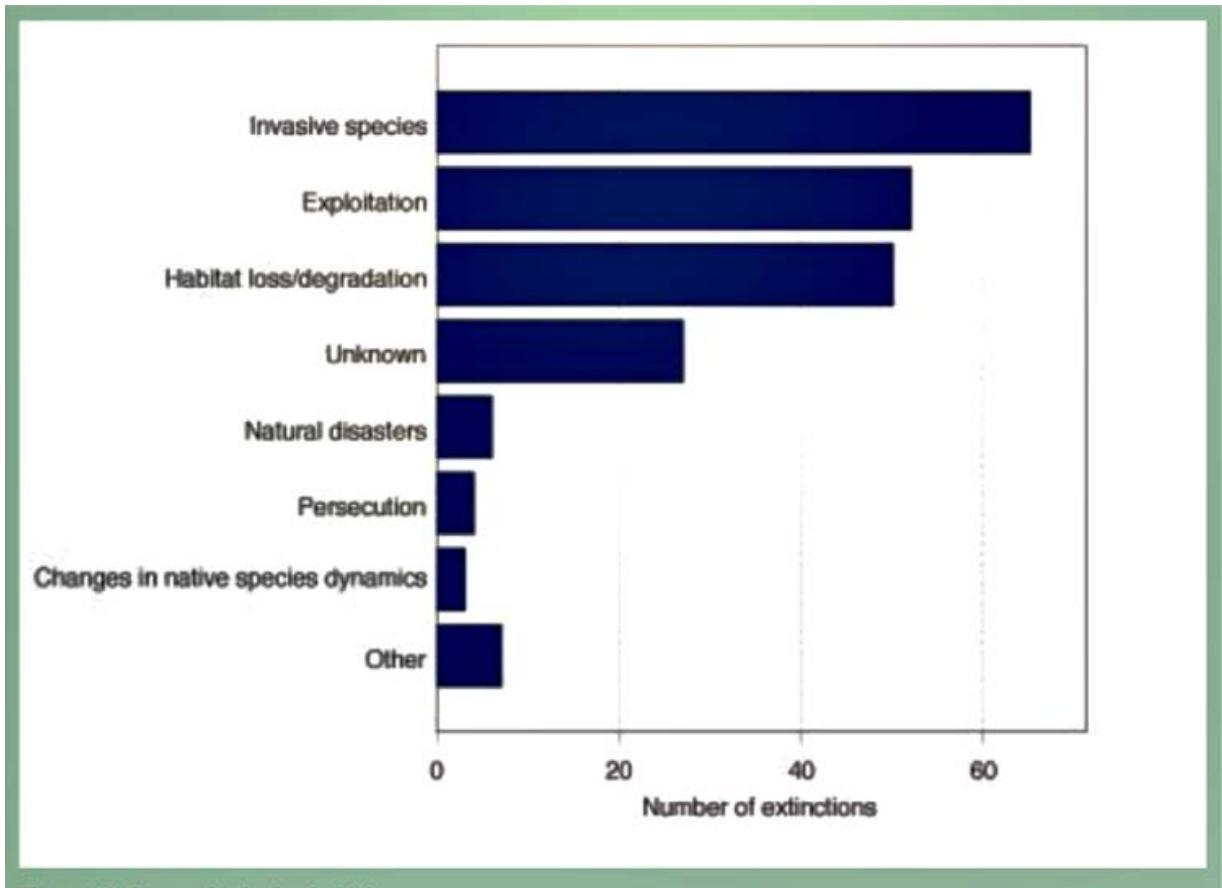


Figura 4. Causas de las extinciones en aves. Tomado de [Baillie et al. \(2004\)](#)

permanecen el conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) y la iguana negra (*Ctenosaura pectinata*) ([Ortiz Alcaraz, 2016](#)).

En Isla Socorro la abundancia y distribución de diversas aves tales como el Zenzontle de Socorro (*Mimodes graysoni*), el Rascador Moteado (*Pipilo maculatus* ssp. *socorroensis*) y la Pardela de Islas Revillagigedo han disminuido ([Jehl y Parkes, 1982](#); [Castellanos y Rodríguez-Estrella, 1993](#)). La Paloma de Socorro (*Zenaida graysoni*) actualmente se encuentra extinta en el medio silvestre desde 1972 y no hay registro de algún avistamiento del Tecolote Enano endémico (*Micrathene whitneyi graysoni*). Se cree que estas disminuciones se deben a la depredación por parte del gato asilvestrado (*Felis catus*) ([Ortega-Rubio y Castellanos-Vera, 1994](#)). Actualmente continúa la erradicación del gato asilvestrado.

### **3. Hipótesis**

La anidación de la Pardela de Islas Revillagigedo está determinada por la orografía de la isla y la presencia de especies de mamíferos exóticos invasores.

### **4. Objetivo**

Establecer una línea base sobre la estructura y anidación de la población reproductiva de la Pardela de Islas Revillagigedo en Isla Socorro.

#### **4.1. Objetivos particulares**

- Caracterizar el hábitat de las zonas de anidación de la especie.
- Estimar la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo, durante las temporadas reproductivas del 2014 al 2018.



## 5. Área de estudio

El Archipiélago de Revillagigedo está localizado en el Océano Pacífico Oriental, a 694 km del puerto de Manzanillo, Colima. Está conformado por cuatro islas de origen volcánico: Roca Partida (0.014 km<sup>2</sup>), San Benedicto (10 km<sup>2</sup>), Clarión (19 km<sup>2</sup>) y Socorro (132 km<sup>2</sup>) (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2015) siendo ésta última el área de estudio del presente trabajo (Figura 5).

El Archipiélago fue declarado Sitio Ramsar en 2004 como Humedal de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (CONANP, 2019); es Patrimonio Mundial Natural, distinción que otorga la UNESCO a sitios con “valor universal excepcional” (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2015); y actualmente tiene la categoría de Parque Nacional, como parte del Plan de Desarrollo Nacional 2013-2018 que incluye en sus metas “Proteger el patrimonio natural e incrementar la superficie del territorio nacional bajo modalidades de conservación, buenas prácticas productivas y manejo regulado del patrimonio natural” (DOF, 2017). Además, es un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) (CONABIO, 2019) y se encuentra en la lista de Sitios Cero Extinciones de México de acuerdo a la “Alianza para la Extinción Cero” (AZE, por sus siglas en inglés) (AZE, 2019).

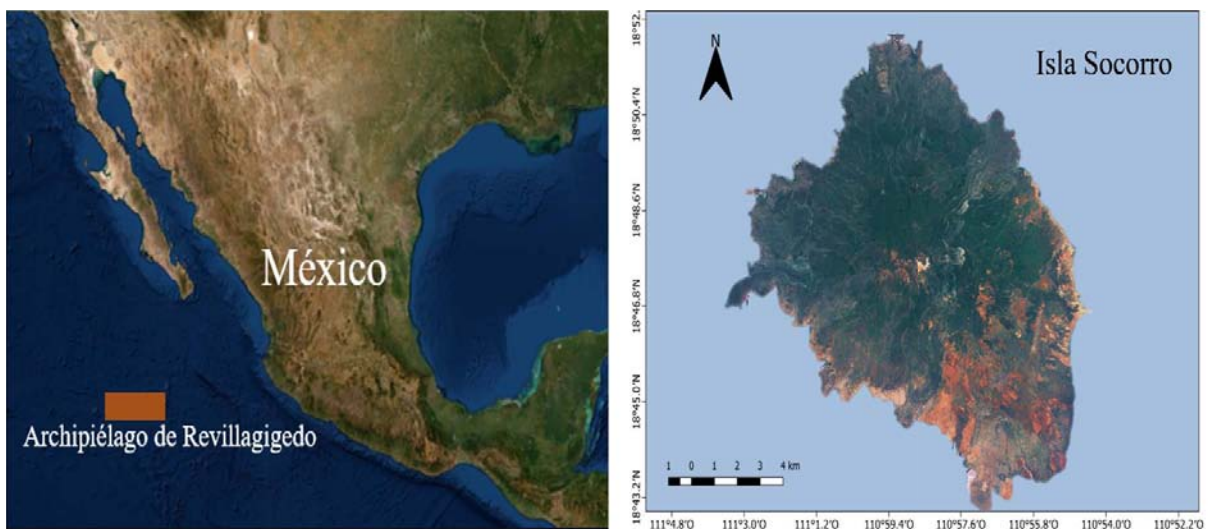


Figura 5. Localización de Isla Socorro en el Archipiélago de Revillagigedo.

La isla Socorro se encuentra en una zona de transición del Océano Pacífico Oriental Tropical (POT), con aguas frías (23-25 °C) que convergen con aguas templadas (25-27 °C) (Aguirre-Muñoz *et al.*, 2015). De acuerdo a la clasificación de Köppen, presenta un clima árido cálido BSo (h) w (1) con régimen de lluvias en verano, precipitaciones anuales de 404.7 mm y es impactado por fenómenos meteorológicos como huracanes o ciclones Coria-Benet (1995) .

La temperatura anual promedio es superior a los 22°C y presenta una zona climática tropical semiárida entre 0 y 400 msnm y una zona subtropical húmeda entre 400 y 1050 msnm (Ortega-Rubio y Castellanos-Vera, 1994) siendo ésta la altura máxima de la isla en la cima del volcán Evermann cuya erupción más reciente se presentó en 1993. Debido al origen volcánico de la isla, Maya-Delgado *et al.* (1995) describieron siete asociaciones de suelos que ahora la conforman y los que ocupan mayor superficie son: litosol (l) + andosol mólico (Tm) y andosol ócrico (To) + andosol mólico (Tm) + litosol (l), Tm y To ocupan el 60% de la isla.

Este territorio insular cuenta con el mayor número endemismos en México (Ortiz-Alcaraz *et al.*, 2017). Presenta la mayor diversidad de especies vegetales, con 118 nativas y 47 introducidas, además, de 39 especies endémicas que se encuentran en el Archipiélago, 30 son especies que habitan únicamente en Socorro (Flores-Palacios *et al.*, 2009). Por otro lado, de las siete comunidades vegetales, de las cuales, las predominantes son: el matorral mixto comprendido de *Dodoneaea viscosa*, *Guettarda insularis* y *Pteridium caudatum*, que corresponde al 48% de la superficie de la isla (Figura 6) y se localiza desde el nivel del mar hasta los 950 msnm y el bosque de *Bumelia-Psidium*, que se encuentra entre los 500 a 700 msnm sobre laderas y cañadas del volcán Evermann (León de la Luz *et al.*, 1996).



**Figura 6. Matorral mixto que corresponde a: a) *Dodoneaea viscosa*, b) *Guettarda insularis* y c) *Pteridium caudatum*.**

La fauna que habita la isla está compuesta por 103 especies de aves terrestres, de las cuales ocho son endémicas a nivel subespecífico, específico o genérico (CONA-BIO, 2019). 10 especies de aves marinas anidan en la isla, siendo la Pardela de Islas Revillagigedo la única ave marina endémica (Figura 7<sup>a</sup>). También se encuentra una especie de reptil, la lagartija de árbol (*Urosaurus auriculatus*) (Figura 7<sup>b</sup>), reptil endémico de Socorro (Ortiz-Alcaraz *et al.*, 2017).



**Figura 7. Especies endémicas que habitan en Isla: a) *Puffinus auricularis* y b) *Urosaurus auriculatus***

## 6. 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., que comprenden del 2014 al 2018. Las salidas fueron programadas de acuerdo a la temporada de anidación de la Pardela de Islas Revillagigedo, que comienza en el mes de noviembre y finaliza en junio ( [Jehl 1982](#); Solís-Carlos, comunic. pers.<sup>1</sup>). El traslado a isla Socorro se realiza con el apoyo de un buque de la Secretaría de Marina (SEMAR) de manera mensual; el recorrido del puerto de Manzanillo a Socorro es de 2 días, por lo que la estancia y trabajo efectivo es de 27 días aproximadamente.

### 6.1. Caracterización de las zonas de anidación

Se utilizó un modelo digital de elevación (MDE) descargado de la página de INEGI <http://www.inegi.org.mx>. Un MDE es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo ([INEGI, 2019](#)). Una vez obtenido el MDE fue posible extraer las variables de pendiente, orientación y elevación. Para obtener los datos de vegetación se utilizó un mapa desarrollado por [León de la Luz et al. \(1996\)](#) y para los datos de asociación de suelos se empleó un mapa realizado por [Maya-Delgado et al. \(1995\)](#) (Figura 8). Todas éstas variables fueron digitalizadas y sobrepuestas en las coordenadas de localización de las 21 madrigueras encontradas a lo largo de cuatro años utilizando el programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG) QGIS 3.2.0 (2018).

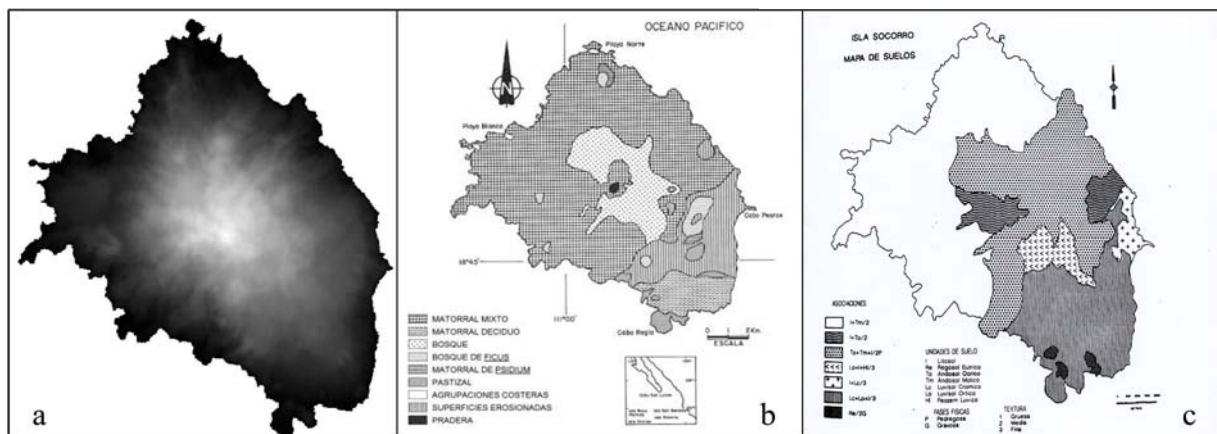


Figura 8. a) MDE de Isla Socorro, b) asociaciones vegetales y c) asociaciones de suelos.

<sup>1</sup>Coordinador de Proyecto - Archipiélago de Revillagigedo (GECI)



La variable viento se extrajo de la página web Meteoblue <http://www.meteoblue.com>, la cual muestra la dirección del viento, velocidad promedio y horas promedio. Por medio de un programa de edición (Adobe Photoshop CC, 2017), se agregó el polígono de la isla; de esta forma se observa de manera gráfica la dirección del viento respecto a la isla.

### 6.1.1. Modelación de nicho ecológico

Para realizar la modelación de nicho, se diseñaron 30 plots circulares de 25 m de diámetro. Los plots fueron colocados en la isla de manera aleatorios en la isla (Figura 9<sup>a</sup>) con el fin de confirmar presencia-ausencia de madrigueras según la metodología de Stokes y Boersma (1991) y validar la vegetación del sitio (Figura 9<sup>b</sup>). Sin embargo, los plots número 17, 18, 23, 28, 29 y 30 no se realizaron por la dificultad del terreno por lo que se obtuvo información solo de 24 plots. Además, se utilizó un mapa de INEGI con curvas de nivel de 20 m (Figura 9<sup>c</sup>) a partir de este mapa se realizó un MDE para ingresarlo a la modelación. Se empleó el método de Máxima Entropía mediante el programa MaxEnt v3.3 (Phillips *et al.*, 2006), el cuál modela la distribución de especies y el nicho ecológico (Merow *et al.*, 2013).

MaxEnt trabaja con datos de presencia (PO) los cuales son las madrigueras confirmadas, un conjunto de datos ambientales, en este caso se utilizó la altitud, pendiente, orientación y radiación solar. Dentro del algoritmo de máxima entropía, las distribuciones de densidad se representan como la probabilidad de distribución en un sitio específico dentro del área de estudio. Dicha distribución resulta de la modelación de las diferentes probabilidades de distribución observadas, fijadas a un grupo de restricciones que surgen de los datos de ocurrencia. Estas restricciones son expresadas en función a las variables ambientales (Phillips y Dudík, 2008). El modelo presenta un tipo de salida logístico donde cada píxel tiene una probabilidad de 0 a 1 de identificar sitios en el espacio geográfico similares a los sitios conocidos. Con los datos obtenidos de los plots, se realizaron 25 réplicas en el programa para obtener un mapa de modelación de nicho para la Pardela de Islas Revillagigedo.

Se evaluó el modelo con el método independiente de umbral a través de las métricas Area Under the Curve/Receiver Operating Characteristic (AUC/ROC) (Peterson *et al.*, 2011), el cual mide la relación entre aciertos y fallos de las presencias y pseudoausencias a diferentes niveles de umbral predichos en los modelos. El programa genera una curva ROC a partir de pseudoausencias con las cuales determina que tan eficaz es el modelo en la predicción de las distribuciones de las madrigueras. El valor del AUC es un estimador de que tan bueno es el modelo de acuerdo a la siguiente escala:

rendimiento bajo cuando se tienen valores entre 0.5 y 0.7, moderado con valores entre 0.7 y 0.9 y desempeño alto si los son mayores de 0.9 (Manel *et al.*, 2001).

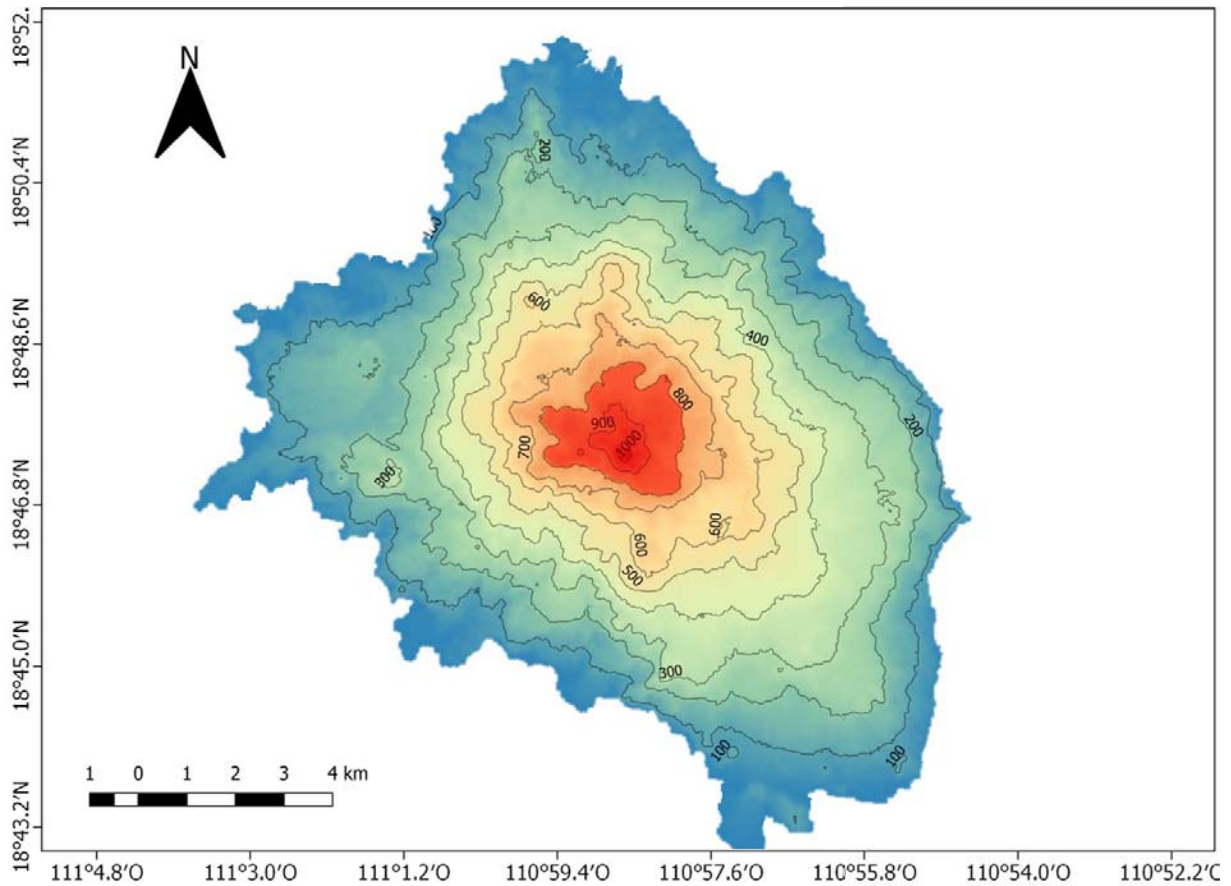


Figura 9. a) Ubicación de los plots para confirmar presencia-ausencia, b) búsqueda de madrigueras y validación de vegetación y c) curvas de nivel de 20m.

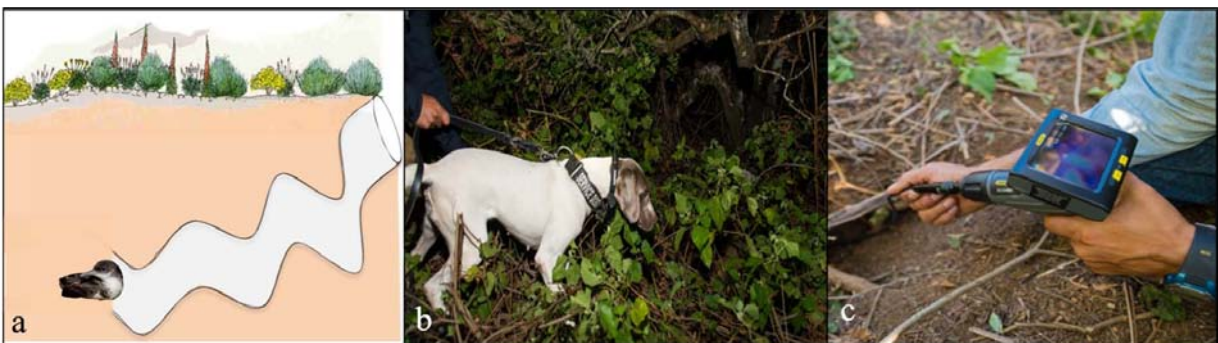
## 6.2. Estimación de la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo

### 6.2.1. Búsqueda y muestreo de madrigueras

Durante la temporada de anidación (noviembre-junio) se realizaron búsquedas por oportunidad de madrigueras tres veces por semana, con un total de 87 salidas anuales. La zona potencial de anidación en donde se realizaron las búsquedas, reportada por Jehl (1982), Martínez-Gómez y Jacobsen (2004) y Ortiz-Alcaraz *et al.* (2019) (Figura 10). Las madrigueras son cavidades en el suelo o rocas donde las pardelas construyen su nido durante la temporada de anidación, ya que ellas pasan la mayor parte del año en el mar y regresan a las islas a reproducirse (Figura 11<sup>a</sup>). Además, las búsquedas fueron complementadas por un perro entrenado para la búsqueda de rastros olfativos de la especie (no aves) (Figura 11<sup>b</sup>) Una vez encontradas las madrigueras, se revisó que tuvieran rastros de guano, plumas o huellas y con ayuda de un boroscopio se inspeccionó el interior de la madriguera para observar presencia de adultos, huevos o pollos (Figura 11<sup>c</sup>).



**Figura 10. Zona potencial de anidación de la Pardela de Islas Revillagigedo, el área se muestra en rojo que es superior a los 800 msnm.**



**Figura 11. a) Estructura interna de una madriguera de pardela, b) perro de muestra buscando madrigueras y c) utilización de boroscopia para observar el interior de una madriguera.**

Para registrar el contenido de las madrigueras se utilizaron los criterios descritos por [Raine et al. \(2018\)](#) los cuales se describen en la Tabla 2.

**Tabla 2. Criterios para designar el estatus de una madriguera de la Pardela de Islas Revillagigedo.**

<b>Estatus</b>	<b>Descripción</b>
<b>Activa, confirmada reproductiva</b>	Se detecta la presencia de: un adulto aparentemente incubando / huevo / pollo.
<b>Activa, no reproductiva</b>	Se confirma la presencia de adulto o la pareja, pero en la revisión no se observa incubación o huevo.
<b>Activa, desconocida</b>	Se detecta al adulto o la pareja, pero no es posible observar el contenido
<b>Activa en prospección</b>	Se detecta al adulto o la pareja realizando alguna actividad: visitando la madriguera o excavando.
<b>Inactiva</b>	No se detecta actividad en la madriguera.
<b>Desconocido</b>	No es posible conocer su estatus debido a causas de fuerza mayor.

### **6.2.2. Toma de datos morfométricos**

La captura de individuos se llevó a cabo utilizando redes de niebla de 12 × 2.5 m con luz malla de 5 cm. Estas redes fueron colocadas por la noche en sitios donde previamente se confirmó la actividad de pardela. Una vez capturados los individuos, se tomaron medidas morfométricas según la metodología de Bull *et al.* (2005).

Las medidas del largo de ala, largo de pico, largo de tarso, largo de pluma interior de la cola fueron tomadas con un vernier digital y el peso con un dinamómetro (Figura 12<sup>a</sup>). Teniendo a los individuos capturados, se anillaron con anillos de acero inoxidable y una clave única y se almacenaron los datos en una base interna de GEI (Figura 12<sup>b</sup>).





**Figura 12. a) Toma de medidas morfométricas y b) anillamiento de individuos**

### 6.2.3. Éxito reproductivo

El éxito reproductivo se obtuvo de la revisión de las madrigueras activas durante la temporada reproductiva. Una vez que se obtienen los datos de las revisiones se utiliza la siguiente ecuación según la metodología de [Raine et al. \(2018\)](#):

$$\text{Éxito Reproductivo}(\%) = \frac{V}{CR}$$

Donde:

V = Volantones totales de la temporada reproductiva.

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

### 6.2.4. Fototrampeo

En 2018 se utilizaron trampas-cámara modelo Bushnell 119874 y 118636C Trophy Cam, 14 MP y filtro de luz roja para registrar la actividad de pardela en las madrigueras y/o la depredación por parte del gato. Se colocó una trampa-cámara por cada madriguera (21 en total). Las cámaras tienen un sensor de movimiento que las activa para grabar video o tomar fotografías; en este caso fueron programadas para tomar ambas (Figura 13). Las cámaras y madrigueras fueron revisadas cada 15-30 días.



Figura 13. Instalación y modelo de trampas-cámara.

### 6.2.5. Bioacústica

Grabadoras automáticas fueron colocadas dentro de la zona potencial de anidación, del total de 11 grabadoras disponibles (Figura 14<sup>a</sup>) tres (marcadas en círculo) fueron instaladas desde 2015 y han quedado de manera permanente en el sitio; las ocho grabadoras restantes fueron instaladas en 2018. Los equipos utilizados fueron el modelo SM4 de Wildlife Acoustics (Figura 14<sup>b</sup>) y fueron programados para activarse de las 18:30 a 21:00 y 03:00 a 05:30 horas, grabando sonidos por un periodo de 10 minutos cada 30 minutos.

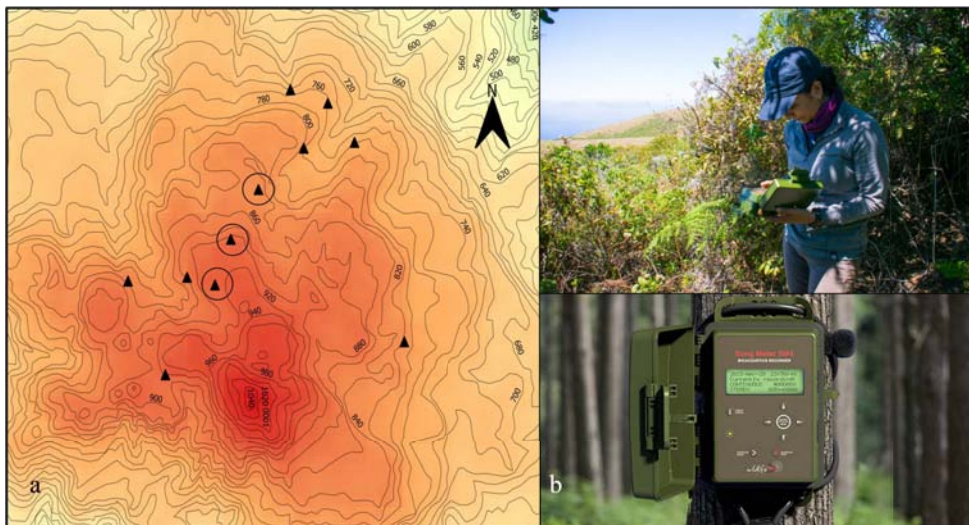
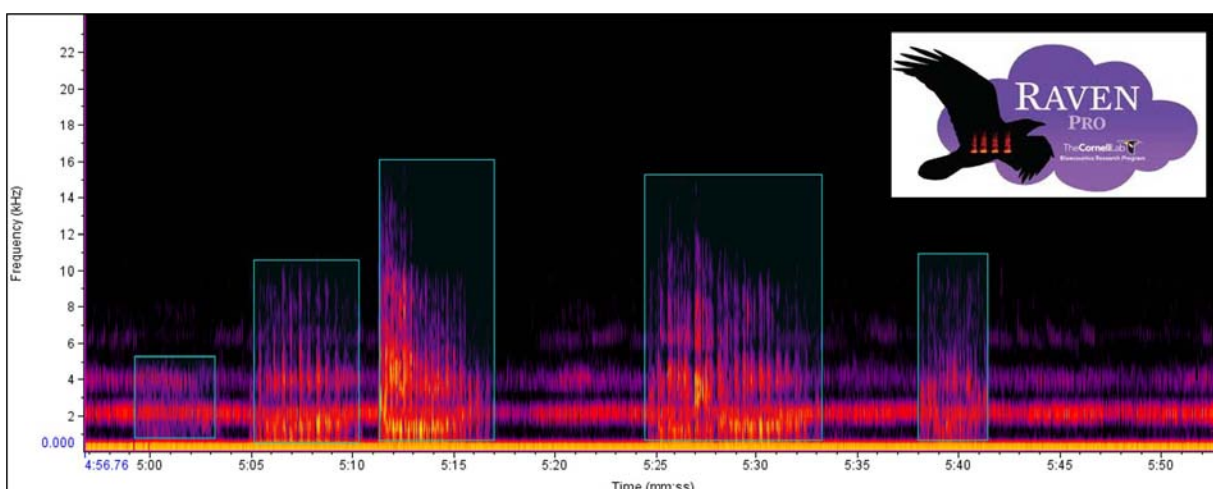


Figura 14. a) Sitios donde fueron colocadas las grabadoras automáticas y b) modelo de grabadora automática.

La información descargada de las grabadoras son archivos con extensión .wav. En total se obtuvieron 735 archivos, los cuales se revisaron con un software de análisis de audio llamado Raven Pro 1.5 (2011), el cual traduce la información convirtiendo el audio en un espectrograma (Figura 15). Con el espectrograma y el audio es posible identificar de manera visual (cuadros azules) y auditiva las vocalizaciones de pardela, las cuales fueron contabilizadas en cada grabación. Las vocalizaciones del género *Puffinus* son bien conocidos en la literatura (Storey, 1984; Baptista y Gómez, 2002; Roul, 2010; Cure *et al.*, 2011; Goh, 2011; Oppel *et al.*, 2014) por lo que es posible diferenciarlo de otras aves. Estas se encuentran entre los 2 y 4 KHz según Baptista y Gómez (2002) y Ainley *et al.* (1997), por lo que se buscó en ese intervalo de frecuencia y se identificaron. Con estos datos se buscó conocer los sitios con mayor actividad, picos de actividad (hora en la noche o madrugada con mayor actividad), detectar presencia ausencia y en que etapa de la anidación se encuentran.



**Figura 15. Espectrograma de la vocalización de pardela generado con Raven Pro.**

### **6.3. Erradicación de gato asilvestrado**

Debido a que la presencia de gato feral es considerada la principal causa de la disminución de la población de pardela en Isla Socorro, se realizó una revisión bibliográfica del esfuerzo que GECl ha realizado respecto al programa de erradicación de esta especie en la isla. En 2012 se inició con el monitoreo y el desarrollo del plan de erradicación y, a partir de 2014, se comenzó la erradicación de gato. Para conocer los sitios con mayor abundancia de estos mamíferos exóticos se instalaron 8 transectos de trampas-cámara y estaciones olfativas, donde cada transecto contenía 10 estacio-



nes cada 300 m (Figura 16) (Ortiz Alcaraz, 2016). La abundancia relativa se calculó de acuerdo a la siguiente formula sugerida en Lozano Rodríguez (2010):

$$I = \frac{\text{Indicios}}{\text{Esfuerzo}}$$

Donde:

Indicios = número de avistamientos en fotografías

Esfuerzo = número de noches - trampa

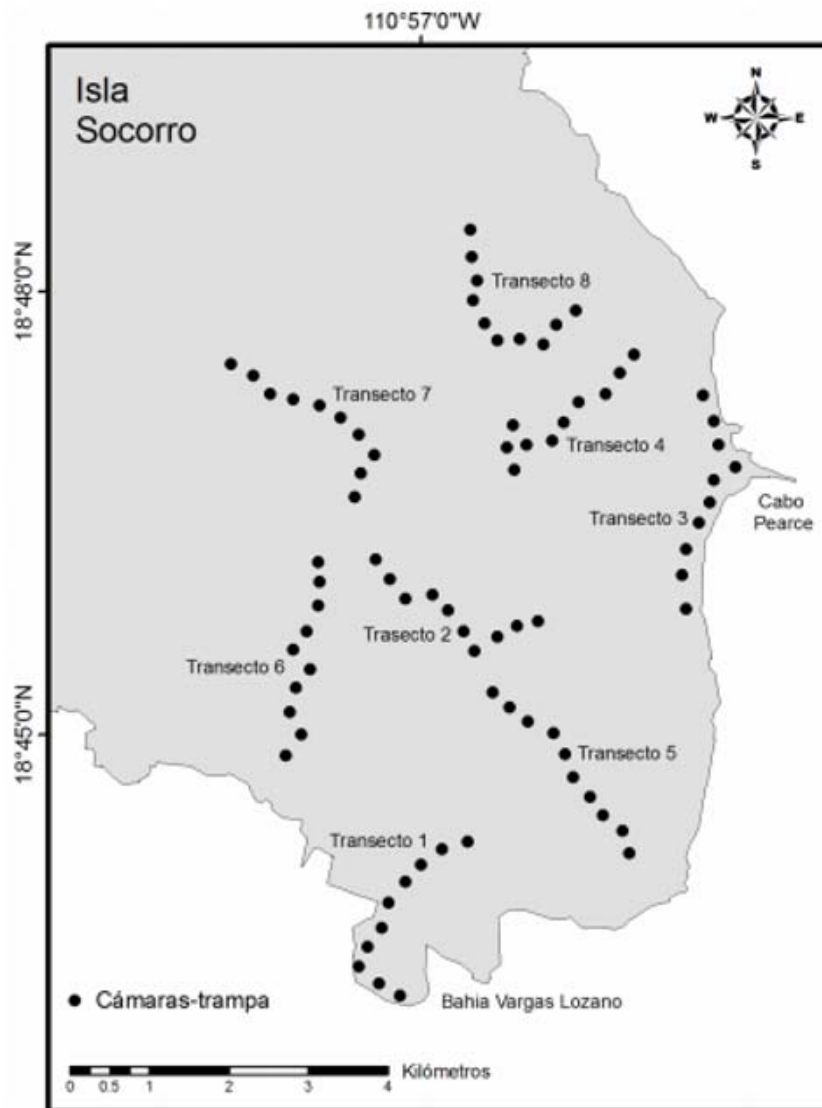


Figura 16. Ubicación de transectos de trampas-cámara. Tomado de Ortiz Alcaraz (2016).

A partir de ese mismo año se instalaron 191 trampas cebo (Oneida Victor Soft Catch # 1 1/2) y 19 trampas letales (Conibear Bodygrip Traps 10") en las zonas Sur, Este y Noreste de la isla; los sitios fueron elegidos de acuerdo a los criterios de [Arnaud \*et al.\* \(1994\)](#) (Figura 17).

Las trampas tenían una separación entre sí de 300 a 500 m y cebadas con un atrayente comercial para gatos. Se revisaron las trampas de manera diaria por 11 meses al año.

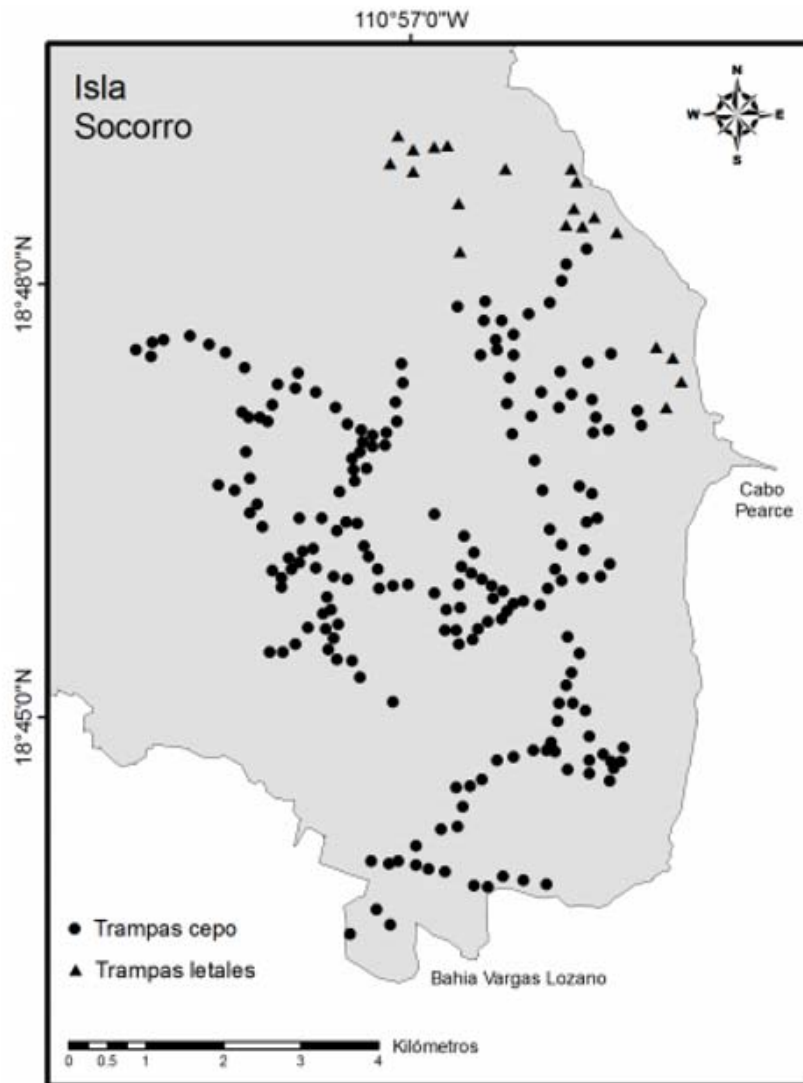
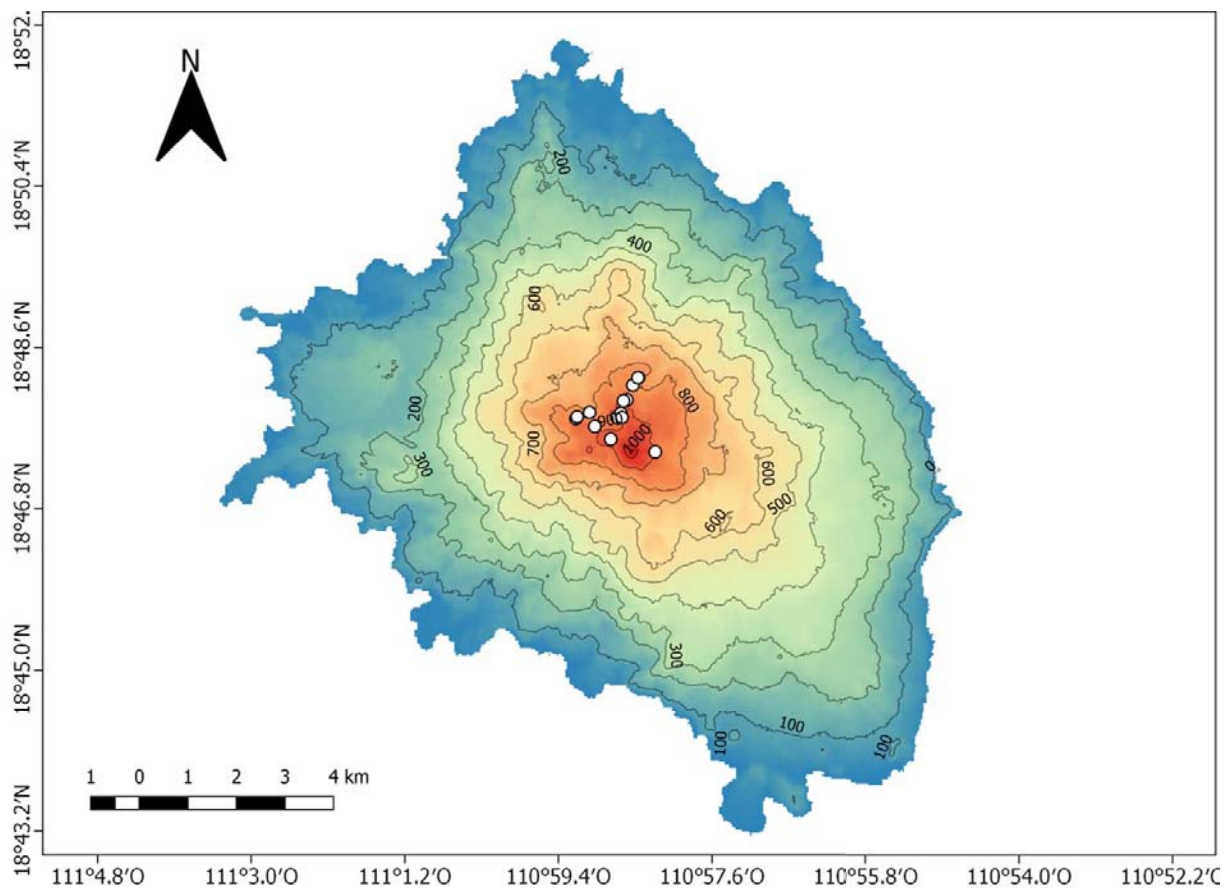


Figura 17. Ubicación de trampas cebo y letales. Tomado de [Ortiz Alcaraz \(2016\)](#).

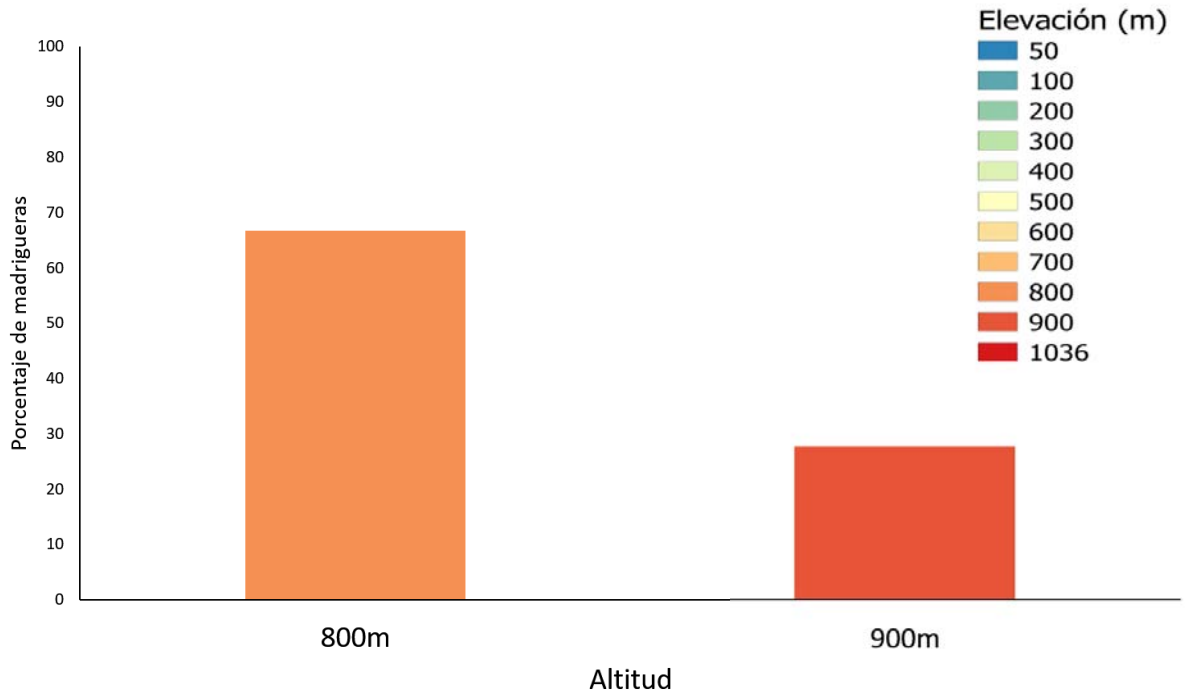
## 7. Resultados

### 7.1. Caracterización las zonas de anidación

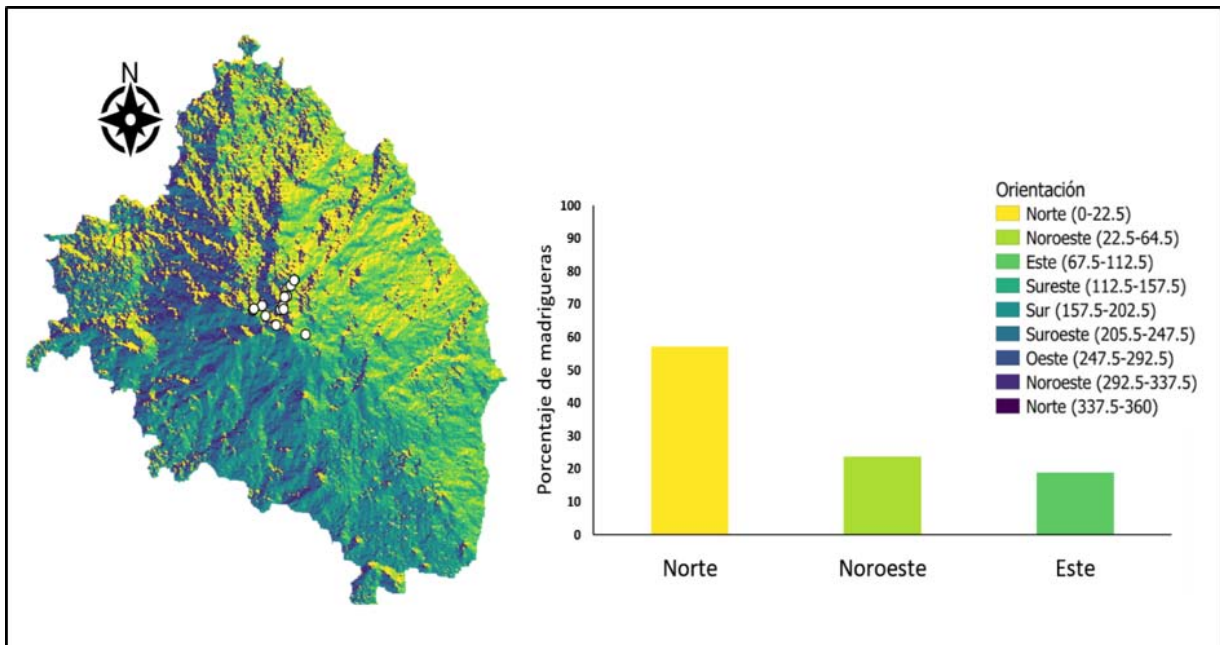
El mapa generado a partir del MDE, mostró que las 21 madrigueras se encontraron a una altitud superior a los 800 msnm (Figura 18), donde el 67% de las madrigueras se encontraron en los 800msnm y el 33% restante sobre los 900 msnm (Figura 19). Se tuvo una orientación preferencial hacia el Norte con el 55% de las madrigueras, el 25% orientadas al Noroeste y el 20% al Este (Figura 20). Las pendientes donde se presentaron van desde los 10° hasta los 40° de inclinación. Estos resultados son importantes, ya que a partir de estas características podemos iniciar con la prospección en sitios con características similares en la isla (ej. misma altitud).



**Figura 18. Ubicación de las madrigueras respecto a la altitud en Isla Socorro, las madrigueras se muestran en blanco.**

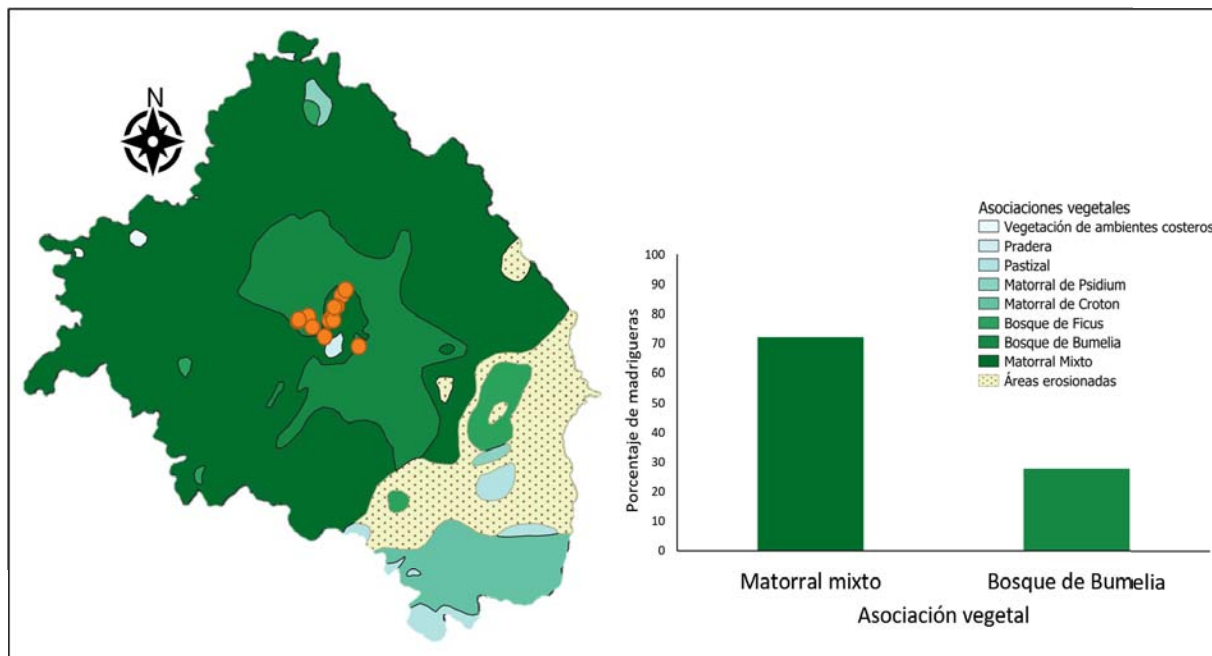


**Figura 19. Porcentaje de madrigueras ubicadas en los 800 msnm y por encima de los 900 msnm.**



**Figura 20. Imagen de la topografía en Isla Socorro y ubicación de las madrigueras (izquierda), donde se muestra como el 55% de las madrigueras se encuentran con una orientación al Norte (derecha).**

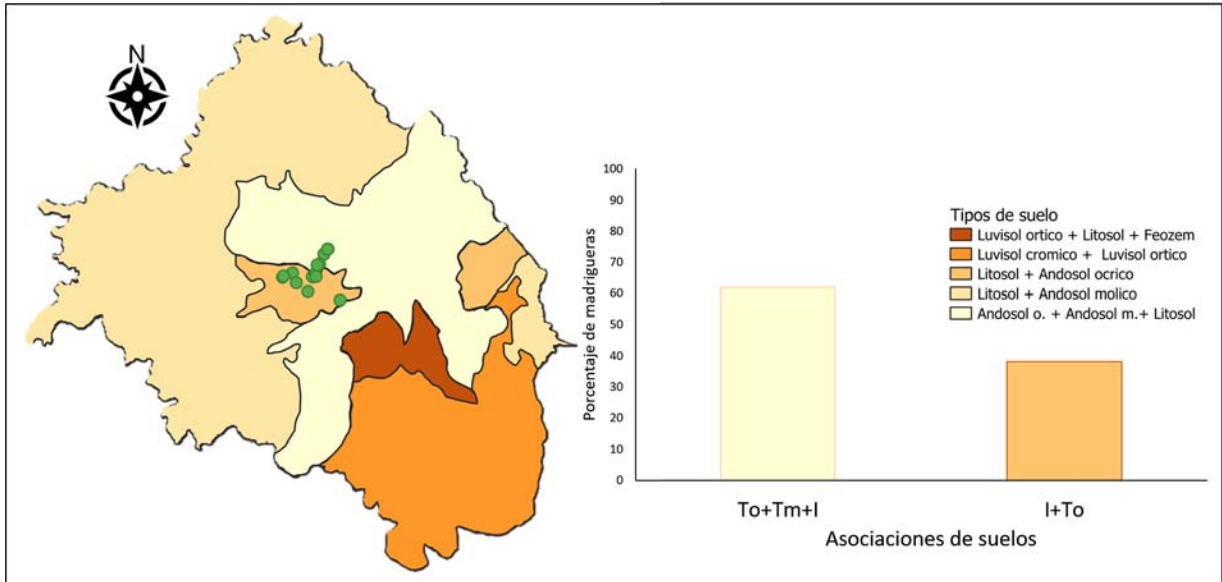
La vegetación fue una variable determinante para esta caracterización, ya que se encontró una preferencia por el tipo de vegetación denominado matorral mixto, correspondiente al 72% del total de las madrigueras, compuesto principalmente por *Dodonaea viscosa*, *Guettarda insularis* y *Pteridium caudatum*; el 28% de las madrigueras restantes fueron encontradas en el bosque de Bumelia (Figura 21). El matorral mixto tiene una particularidad importante debido a que es una asociación de tres especies, cuyas ramificaciones se encuentran entrelazadas, por que es de fácil acceso para las pardelas, pero no para el gato.



**Figura 21. Ubicación de las madrigueras de Pardela de Islas Revillagigedo respecto a la vegetación en la isla Socorro. Las madrigueras se muestran en color naranja.**

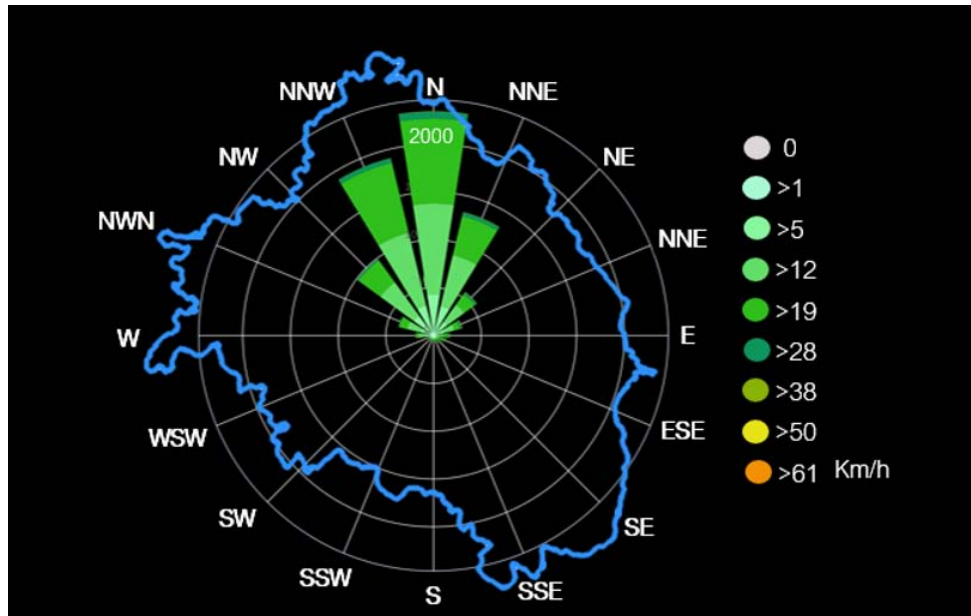
Respecto al tipo de suelos, se encontró que un 56% de las madrigueras se ubicaron en la asociación de andosol ócrico + andosol mólico + litosol, donde éste último tiene la característica de ser un suelo delgado descansando sobre un estrato duro, rocoso y el cual puede sustentar cualquier tipo de vegetación. Por otro lado, el andosol tiene una textura arenosa, el cual tiene origen volcánico (ceniza volcánica, piedra pómez, carbonillas o lava), son suelos muy frágiles, lo que facilita la excavación de madrigueras para la pardela. El 44% restante se encontró en la asociación de litosol + andosol ócrico (Figura 22).





**Figura 22. Ubicación de las madrigueras de Pardela de Islas Revillagigedo respecto a las asociaciones de suelos en la isla Socorro. Las madrigueras se muestran en color verde.**

En el mapa de la dirección del viento se observó que 2,000 horas en promedio al año, el viento proviene del Norte con una velocidad promedio de entre 12 y 19 km/h (Figura 23), lo que coincide con el porcentaje de orientación de las madrigueras, esto pudiera favorecer a las pardelas al momento de emprender el vuelo para regresar al mar, desplazarse a otros sitios o huir de algún depredador.



**Figura 23. Dirección del viento en un año, muestra en promedio vientos provenientes del Norte.**

### 7.1.1. Modelación de nicho ecológico

En ninguno de los 24 plots se encontraron madrigueras, esta información en conjunto con las madrigueras presentes en el sitio de anidación fue lo que alimentó el modelo.

Se realizó el análisis en el sistema de información geográfica para calcular el mapa del modelo obtenido con el programa Maxent, donde la zona idónea para encontrar a la pardela y que, de acuerdo con la escala si se acerca a 1 indica que en ese sitio se encuentra presente, mientras que conforme se acerca a 0 indica ausencia de la especie (Figura 24). El resultado de la evaluación del modelo a partir del área bajo la curva (AUC, por sus siglas en inglés) fue de 0.989 lo que indicó un alto desempeño debido a su valor cercano a 1.

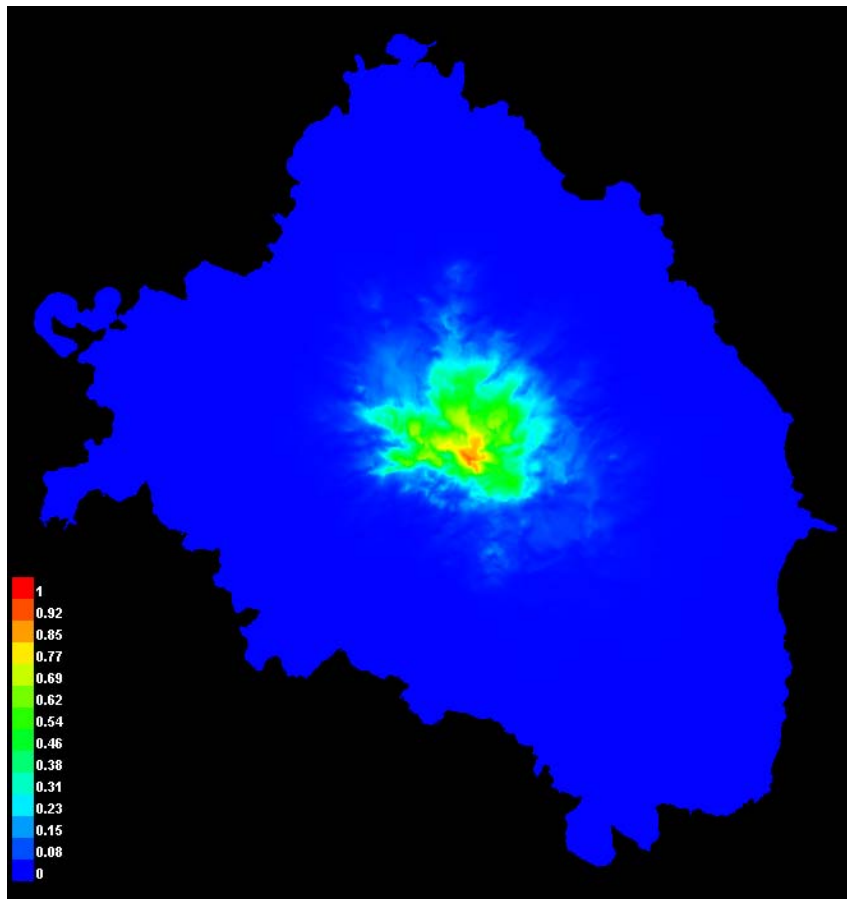


Figura 24. Mapa que muestra el sitio potencial (1) donde se puede encontrar a la Pardela de Islas Revillagigedo.

A partir de las cinco variables que se incorporaron al modelo la altitud tuvo la mayor contribución con un 95.5 % (Figura 25), seguida por la pendiente con 1.7 %, la radiación en noviembre-abril con 1.7 %, la orientación con 1.1 % y la radiación anual con 0 %; por lo que las últimas variables no influyen en la selección del sitio de anidación.

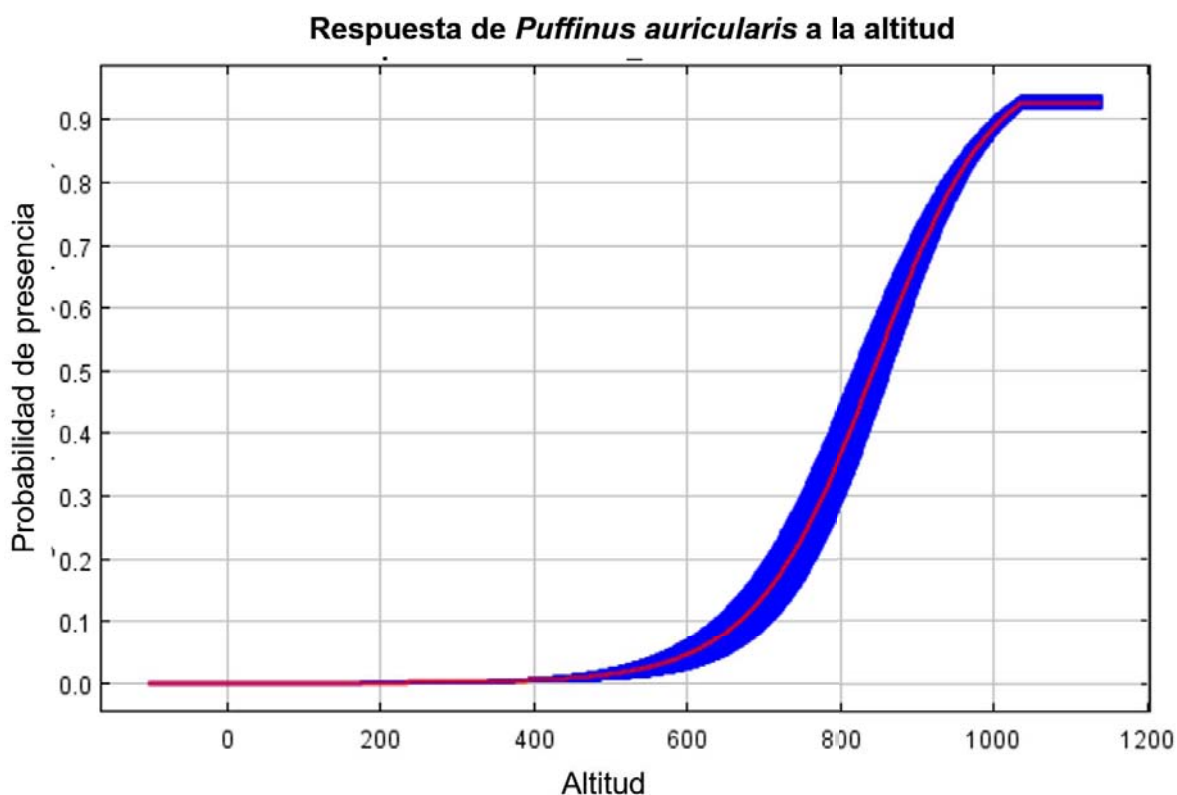


Figura 25. Modelación de nicho ecológico para la Pardela de Islas Revillagigedo que indica que la altitud tiene la mayor contribución.

## 7.2. Estimación de la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo

### 7.2.1. Búsqueda y muestreo de madrigueras

Aun cuando el proyecto de monitoreo de pardela inició en 2014, fue en 2015 cuando se inició la búsqueda sistemática de madrigueras en la zona potencial de anidación y hasta 2016, con ayuda de un perro de muestra, se encontraron las primeras madrigueras clasificadas como confirmada reproductiva o activa desconocida. En 2017 se encontraron 11 madrigueras, en 2018 se ubicaron cinco y en 2019 se identificaron cinco más.

Durante la prospección se revisó el contenido de las madriguera las cuales fueron asignadas a alguna categoría con base en su contenido. En la Tabla 3 se muestra el número de madrigueras por año y el contenido al momento de ser encontrada. Se debe aclarar que las 21 madrigueras que se mencionan en éste documento son las madrigueras que mostraron actividad durante alguna de las temporadas reproductivas, se han encontrado más madrigueras como lo indica la tabla, pero se encuentran inactivas, desconocidas o en prospección.

**Tabla 3. Número de madrigueras de la Pardela de Islas Revillagigedo encontradas por año y su respectivo estatus. Tomado de Solís-Carlos (2019).**

<b>Estatus</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Confirmada reproductiva	2	7	5	2
Activa desconocida	2	4	7	9
Activa no reproductiva	0	0	4	6
En prospección	0	0	1	1
Desconocido	2	1	2	4
Inactivo	1	3	3	4
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>26</b>

Cabe señalar, que la cantidad de madrigueras antes mencionada, no indica que sean todas las madrigueras existentes en Isla Socorro, es posible que haya muchas más y no se han localizado debido a las dificultades del terreno. La Figura 26 muestra las zonas (en gris) donde ya se realizaron búsquedas de madrigueras, dentro de la zona potencial de anidación. Del 100 % de la zona potencial de anidación, sólo se ha explorado el 73.75 % (358.46 Ha) por lo que faltan aproximadamente 127 Ha por explorar. Se estima que la población reproductora que anida en isla Socorro es de 42 individuos.

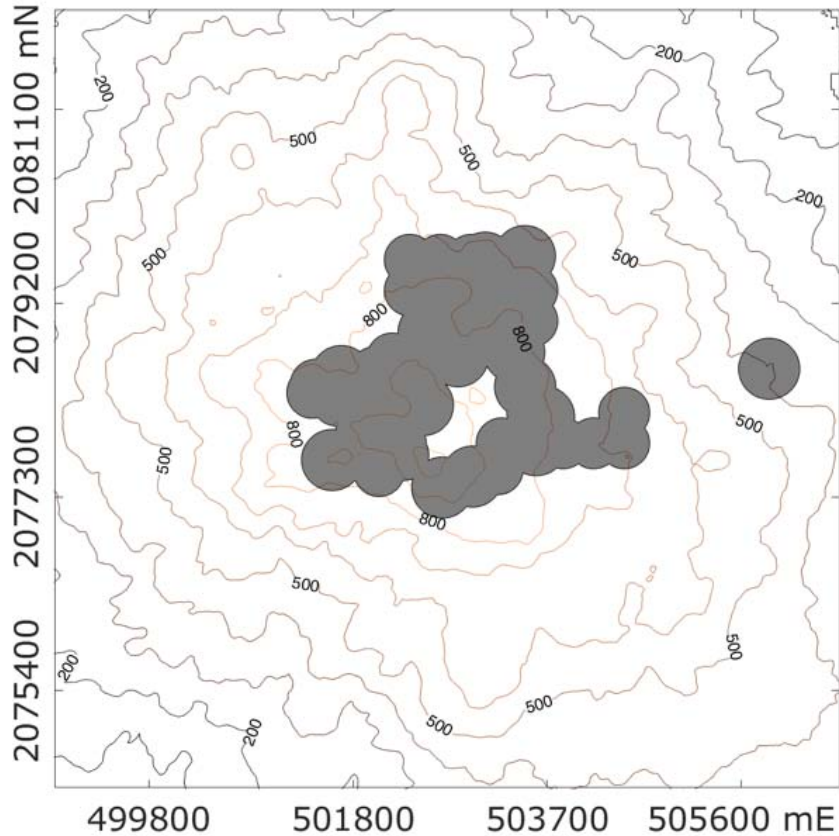


Figura 26. Zonas donde se ha buscado pardela (gris) dentro de la zona potencial de anidación. Tomado de [Ortiz-Alcaraz et al. \(2019\)](#).

### 7.2.2. Toma de datos morfométricos

En total se capturaron 16 individuos y en la Tabla 4 se muestra las medidas con su respectiva media y desviación estándar.

Tabla 4. Medidas morfométricas de la Pardela de Islas Revillagigedo en Isla Socorro.

	<b>Media</b>	<b>DS</b>
Peso (kg)	0.36	0.02
Largo ala (mm)	43.92	3.93
Largo tarso (mm)	222.94	7.89
Largo pico (mm)	31.62	1.57
Largo de la pluma interior de la cola (mm)	79.96	4.89
Largo de la pluma exterior de la cola (mm)	69.64	2.71

### 7.2.3. Éxito reproductivo

Con los datos obtenidos de la revisión de madrigueras se obtuvieron valores del 100 % para los años 2016 y 2017, en 2018 el éxito reproductivo fue de 0 %, se desconoce el motivo del abandono de las madrigueras, y en 2019 del 50 %.

En abril de 2019, en isla Socorro se tuvo el primer registro del nacimiento de un pollo en madriguera artificial (Figura 27), estas son cajas de madera que simulan una madriguera natural.



**Figura 27. Pardela incubando en madriguera artificial y pollo nacido en la madriguera. Imagen/GECI J.A. Soriano**

### 7.2.4. Fototrampeo

La revisión de las imágenes mostró actividad de pardela durante la temporada reproductiva 2018 (Figura 28). Se observó que el mes de diciembre es el de mayor actividad; esto puede deberse a que las pardelas están en la fase de cortejo y apareamiento. Durante los meses posteriores fue disminuyendo ligeramente la actividad, ya que corresponde a la incubación o, en su caso, al cuidado del pollo. En el mes de mayo se observó muy baja actividad ya, que corresponde al abandono de las madrigueras por parte de las crías y, en consecuencia disminuye el cuidado parental.

Otro resultado del uso de trampas-cámara fue el registro de las interacciones observadas fuera de la madriguera por parte de la pardela (Tabla 5) y que confirman la copulación entre las parejas. Esta información resulta valiosa para conocer los hábitos de la especie, y su vulnerabilidad ante depredadores al estar fuera de su madriguera.

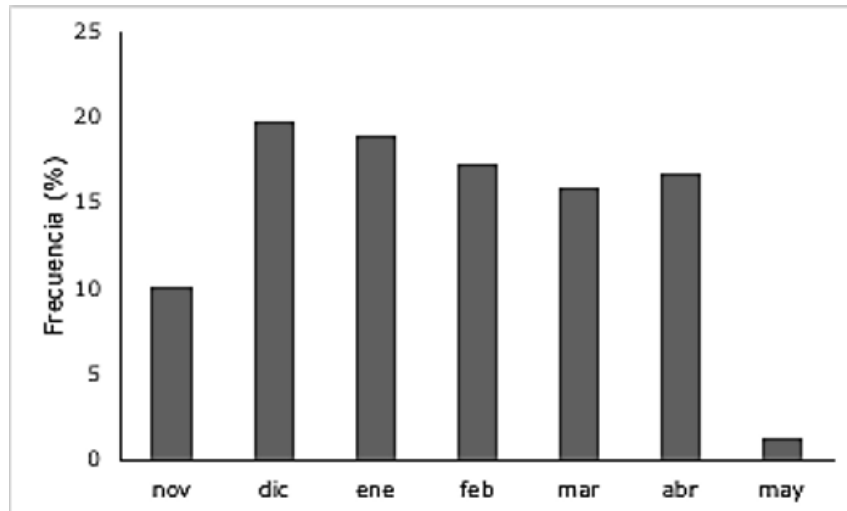


Figura 28. Frecuencia de visitas a la madriguera. Tomado de [Ortiz-Alcaraz et al. \(2019\)](#).

Tabla 5. Frecuencia de interacciones fuera de la madriguera. Tomado de [Ortiz-Alcaraz et al. \(2019\)](#).

Actividad	#	Frecuencia %
Acarreo de material	141	19.89
Acicalándose	16	2.26
Copulando	4	0.56
Descansando	325	45.84
Peleando	16	2.26
Socializando	27	3.81
Otra	180	25.39

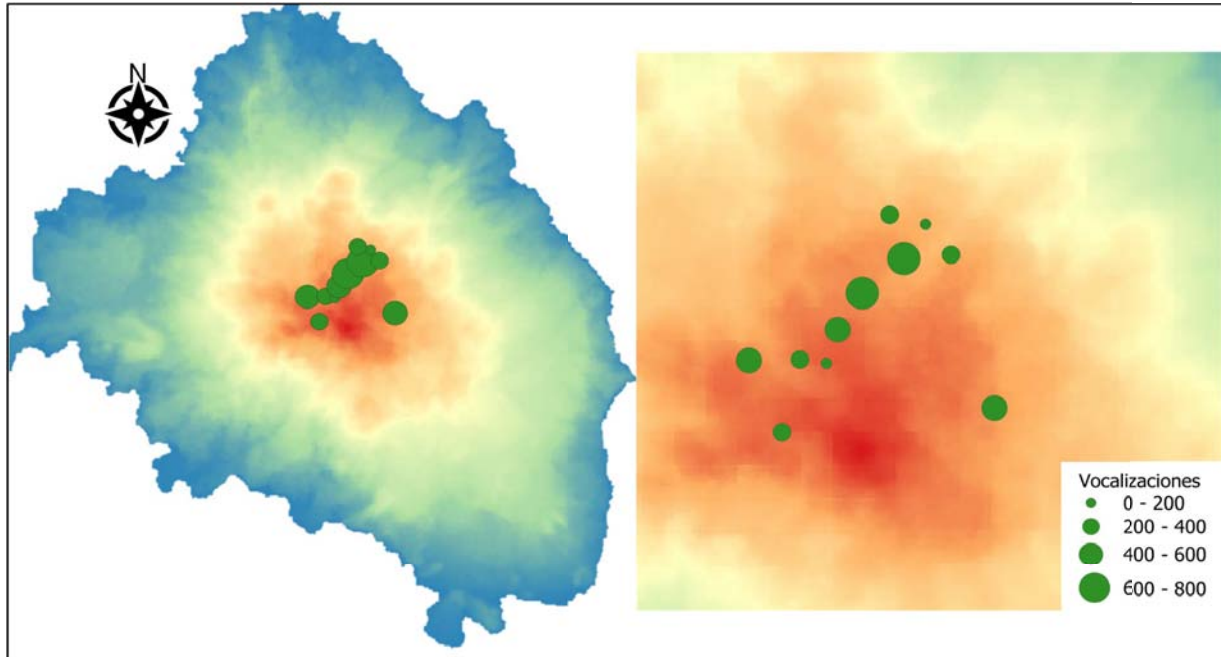
### 7.2.5. Bioacústica

Se examinaron 11 grabadoras automáticas que estuvieron fijas durante la temporada reproductiva del 2018. Se descargó la información para analizarla con el programa Raven Pro y se revisaron 3,243 horas de audio.

A partir de cuantificar las vocalizaciones por grabadora, se realizó un mapa que muestra la ubicación de éstas y el número de vocalizaciones promedio durante toda la temporada 2018 (Figura 29). Se observó que la mayor actividad se presenta en dos grabadoras con un promedio de 800 vocalizaciones, mientras que la grabadora con menor número de vocalizaciones obtuvo en promedio 200 vocalizaciones. Encontrándose mayor actividad de vocalizaciones tres días antes de la luna nueva y tres días después de ésta.

Además, se eligieron 5 grabadoras para realizar el análisis de tasa de vocalización





**Figura 29. Vocalizaciones promedio por grabadora de la Pardela de Islas Revillagigedo durante la temporada 2018.**

también para 2018 (Figura 30), recordando que la temporada de anidación inicia en noviembre y finaliza en junio. Aquí se observó que la mayor tasa de vocalización por minuto fue en diciembre, esto coincide con el cortejo y apareamiento de la pardela por lo que hubo mayor actividad entre ellas. En febrero disminuyó y esto pudiera deberse a que se encuentran en el periodo de incubación y posteriormente eclosionan los pollos en marzo, mes en el cual aumentó la tasa de vocalización y esto se puede deber a las interacciones entre las crías y padres. En mayo la actividad es nula ya que las madrigueras fueron abandonadas.



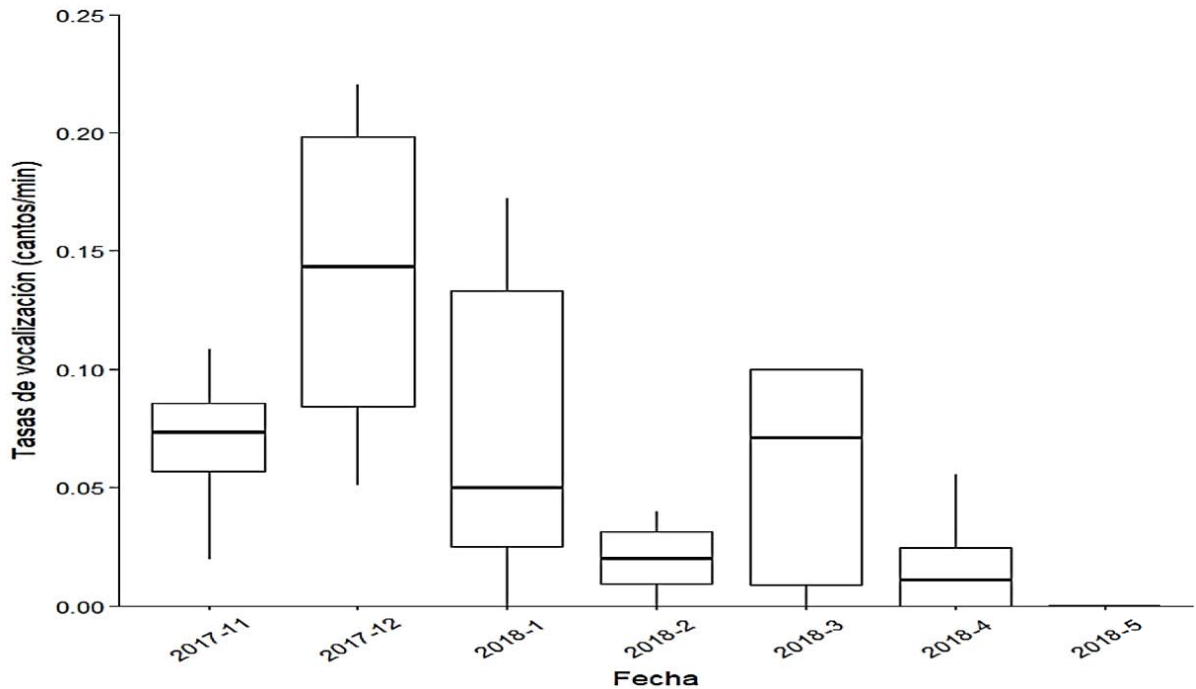


Figura 30. Tasa de vocalización por minuto de la Pardela de Islas Revillagigedo en Isla Socorro para la temporada 2018. Tomado de [Ortiz-Alcaraz et al. \(2019\)](#).

### 7.3. Erradicación de gato asilvestrado

En 2012, al inicio de los monitoreos de gato feral por medio de trampa-cámara se obtuvo que la abundancia relativa era de (0.32). Posteriormente, conforme avanzaron los monitoreos anuales, se observó que 2015 la abundancia relativa había disminuido a 0.03. La distribución de los gatos en isla Socorro ha variado conforme avanza el control de gatos, en 2012 la mayor abundancia de gatos se encontraba en la zona sureste y menor en la zona norte y en zonas con mayor altitud. Actualmente, se han encontrado gatos únicamente en transectos ubicados en zonas sureñas de la isla. Respecto al programa de erradicación de gato con trampas cebo, se tiene registro de la cantidad de individuos capturados, el cual se muestra en la Tabla 6. De acuerdo a Solís-Carlos, comunic. pers.<sup>2</sup>, se calcula concluir la erradicación de gatos en Isla Socorro a mediados de 2020, con lo cual se eliminará la depredación a las aves y reptiles que habitan en la isla, por lo que se espera un incremento en sus poblaciones.

<sup>2</sup>Coordinador de Proyecto - Archipiélago de Revillagigedo (GECI)

**Tabla 6. Número de capturas de gatos por año en Isla Socorro. Elaborado a partir de datos no publicados de GECl (2012-2019)**

<b>Año</b>	<b>Noches-trampa</b>	<b>Captura</b>
2012	2,020	64
2013	3,238	100
2014	9,332	117
2015	14,400	71
2016	20,475	68
2017	22,176	74
2018	31,320	97
2019	2,070	8

## 8. Discusión

### 8.1. Caracterización de las zonas de anidación

Los resultados de este estudio confirman que la zona de anidación de la Pardela de Islas Revillagigedo se encuentra a altitudes superiores a los 800 msnm, lo cual confirma lo propuesto por [Jehl \(1982\)](#) y [Jehl y Parkes \(1982\)](#). Este comportamiento es similar al que presenta *Puffinus newelli* la cual anida en altitudes entre los 850 y los 1980 m en la isla de Maui, Hawái ([Wood y Bily, 2008](#)). *P. newelli* y *P. auricularis* eran consideradas especies diferentes hasta 2015 cuando se realizó un estudio genético para corroborar que no hay diferencias entre ellas, aunque presentan diferencias en el plumaje, comportamiento y ecología ([Martínez-Gómez et al., 2015](#)). Sin embargo, esta información todavía no está respaldada por la American Ornithological Society ([Chesser y Winker., 2019](#)).

[Scott et al. \(2009\)](#) refieren que los sitios a grandes altitudes ofrecen ventajas para las pardelas, ya que presentan corrientes ascendentes de viento y esto facilita el vuelo. En general las especies del género *Puffinus* se les dificulta el despegue desde el suelo al salir de las madrigueras ([Warham, 1977](#)). Esta información coincide con lo encontrado en la isla Socorro, ya que se observó que la Pardela de Islas Revillagigedo prefiere sitios de mayor altitud y zonas predominadas por vientos que les permita la entrada y salida fácil de las madrigueras. Por otra parte, la altitud es un factor importante para prevenir el acceso de la principal amenaza de la pardela, el gato asilvestrado, ya que a las altitudes donde se observaron pardelas la presencia de gato es mínima.

Asimismo, [Scott et al. \(2009\)](#), utilizando un MDE, determinó que las madrigueras de *Puffinus griseus* se encontraban en pendientes de 50° de inclinación; las cuales ofrecen una ventaja evitando depredadores, debido a que algunas madrigueras no son tan accesibles. . En el caso de *P. auricularis*, las pendientes donde se ubicaron las madrigueras fueron calculadas entre los 10 y los 40°, haciendo inaccesibles algunas de ellas.

El tipo de vegetación (matorral mixto) es una variable que permite determinar los sitios de anidación, ya que en el pasado la isla Socorro fue impactada por borregos, los cuales causaron sobrepastoreo y compactación del suelo; en las zonas impactadas no se han encontrado sitios de anidación ([Ortiz Alcaraz, 2016](#)). Con las observaciones realizadas en campo se deduce que la Pardela de Islas Revillagigedo busca sitios provistos de vegetación, ya que le brinda protección contra los depredadores y evita deslaves o colapsos en la madriguera en caso de lluvias. [Wood y Bily \(2008\)](#) realizaron

una caracterización de la vegetación donde anida *Puffinus newelli* y encontraron que las madrigueras estaban bajo un helecho nativo (*Sadleria*).

Referente a las asociaciones de suelos, la bibliografía no menciona el tipo de suelo donde realiza madrigueras el género *Puffinus*; sin embargo, menciona “suelos fáciles de excavar”(Wood y Bily, 2008; Jones, 2000). En el caso de Isla Socorro, dada la textura arenosa del terreno (andosol), que lo define como muy frágil, es posible encontrar suelos que facilitan la excavación de nuevas madrigueras.

El trabajo con modelos de nicho ecológico es importante para localizar zonas ecológicamente idóneas relacionadas a la presencia de especies en ciertas condiciones ambientales e identificar cual de estas variables es la que más influencia ejerce (Bosch *et al.*, 2018). La modelación de nicho utilizando MaxEnt es información nueva para esta especie, sin embargo, este método ya se ha utilizado en otras especies del género *Puffinus* (Arcos *et al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2014; Chatfield-Taylor, 2015; Araújo *et al.*, 2017), donde se describen los sitios potenciales para encontrar a las especies. Los autores mencionan que los sitios preferenciales en que *Puffinus* realiza sus madrigueras con fines reproductivos, son aquellos que les permite formar colonias y evitar depredadores. Este modelo permitirá continuar con las búsquedas en la zona potencial y en un futuro se puede replicar para verificar si la especie continúa utilizando la misma zona de anidación o se movió a otros sitios por factores estocásticos. También será posible identificar cambios en las condiciones abióticas y bióticas (interacciones con otras especies que modifiquen la capacidad de mantener la población), su capacidad evolutiva para adaptarse a nuevas condiciones e incluso procesos de extinción.

## **8.2. Estimación de la abundancia de la Pardela de Islas Revillagigedo**

Scott *et al.* (2009) realizaron un estudio con *Puffinus griseus* en el que evaluaron la población de esta especie en Nueva Zelanda estimando el total de madrigueras e infiriendo que su población se encuentra entre los 162,000 y 190,000 individuos. La misma metodología para contabilizar las parejas reproductivas fue empleada por Fullagar *et al.* (1974) y Priddel *et al.* (2006) para *Puffinus carneipes*. Con base en lo anterior, en el presente trabajo se infirió un estimado de la población total con base en el número de madrigueras que han estado activas, se infiere que la población reproductiva (42 individuos) es la que ocupa isla Socorro. A través de observaciones en

campo, se ha manejado la posibilidad de que existan colonias reproductivas en Isla San Benedicto y Clarión, sin embargo, en la primera de las islas el acceso está muy restringido como para iniciar búsquedas de madrigueras y en la segunda sólo se han encontrado potenciales madrigueras. Para isla Socorro, el bajo número de madrigueras encontradas hasta ahora no significa que sean las únicas en la isla, por esto es que se debe explorar otros sitios con características similares.

Los audios analizados mostraron que existen sitios con mayor actividad de Pardela de Islas Revillagigedo con un intervalo de 400 a 800 vocalizaciones; este análisis permitirá continuar con la búsqueda de madrigueras en los sitios con mayor actividad. [Oppel et al. \(2014\)](#) menciona que en los sitios de alta actividad es necesario incrementar el esfuerzo con el fin de encontrar nuevas madrigueras. Las vocalizaciones de Pardela de Islas Revillagigedo varían entre el género taxonómico, ésto permitió identificar de manera puntual la presencia de *P. auricularis*. El comportamiento durante la etapa reproductiva indica que existe territorialidad entre ellas en un intento de ocupar madrigueras o que sean parejas en formación, juveniles inexpertos ([Mackin, 2005](#)).

### 8.3. Erradicación del gato asilvestrado

Dos de los grandes problemas que causan las EEI en islas son la depredación y el sobrepastoreo. La depredación por lo general tiene un efecto negativo mayor sobre las especies nativas, sobre todo en islas, y en algunos casos las lleva a la extinción ([Moors, 1984](#)). Por otra parte, también existen estudios que comprueban los beneficios para las aves marinas después de llevar a cabo erradicaciones de gatos en islas ([Forsell, 1982](#); [Cooper et al., 1995](#)). En un estudio realizado por [Keitt et al. \(2002\)](#), se cuantificaron el número de carcasas de *Puffinus opisthomelas* depredadas por gatos asilvestrados en isla Natividad posterior a la erradicación y encontraron que la mortalidad bajó en un 90 %; de aproximadamente 1000 pardelas depredadas por mes, a 90 aves por mes. En isla Socorro, los primeros registros de depredación por gato asilvestrado corresponden a los 80 s ([Jehl y Parkes, 1982](#)). La erradicación de gato inició en 2014 y aún continúa en la actualidad. Gracias al trampeo continuo de gatos, actualmente no se han encontrado individuos de Pardela de Islas Revillagigedo depredados en isla Socorro.

## 9. Conclusiones

- La modelación de nicho confirmó que la variable altitud es la que mayor contribución tiene para la selección en los sitios de anidación. Para la Pardela de Islas

Revillagigedo, anidar en sitios con altitudes superiores a los 800 m representa una ventaja a la hora de emprender el vuelo y disminuye el riesgo de presencia de gatos.

- Los tipos de vegetación que prefiere *P. auricularis* para seleccionar los sitios de anidación son zonas con helechos o matorral mixto, los cuales proveen protección contra el viento dentro de las madrigueras y la depredación.
- La pardela requiere de zonas con suelos que posibiliten la creación de madrigueras.
- Las madrigueras de pardela en isla Socorro están orientadas hacia el norte, donde predominan los vientos, que favorecen a las aves al momento de emprender el vuelo para regresar al mar.
- Debido a las dificultades de observar de manera visual a la Pardela de Islas Revillagigedo el uso de fototrampeo, perros de muestra y boroscopios ayudaron a confirmar la presencia de esta especie en Isla Socorro, así como los sitios de reproducción y anidación.
- El monitoreo bioacústico fue una herramienta importante para detectar la presencia de Pardela de Islas Revillagigedo en la zona de anidación, conocer algunos hábitos como territorialidad, horas de mayor actividad y diferentes vocalizaciones, entre otras.
- En la zona de anidación estudiada habitan 21 parejas reproductivas; sin embargo, es importante continuar con la búsqueda y explorar en otras zonas de Isla Socorro y en las otras islas del archipiélago.
- El éxito reproductivo para esta especie ha resultado ser exitoso al 100 % en dos de cuatro años, los factores que provocaron en 2018 que el éxito reproductivo fuera de 0 % se desconocen.

## 10. Recomendaciones

- Concluir con el programa de erradicación de gatos a fin de evitar depredación de la Pardela de Islas Revillagigedo y otras especies nativas en la isla.

- Continuar con el monitoreo acústico a largo plazo para Pardela de Islas Revillagigedo y extenderlo a toda la zona potencial de anidación a fin de detectar su presencia, conocer más sobre su comportamiento y etapas de reproducción.
- Realizar un estudio más detallado sobre la vegetación de isla Socorro, ya que las condiciones cambiaron después de la extracción del borrego. Este estudio revelaría si el matorral mixto asociado a los sitios de anidación de Pardela de Islas Revillagigedo se extendió o se redujo.
- Además de las variables ambientales terrestres, es importante alimentar el modelo con variables oceanográficas para determinar cambios en las aguas circundantes o identificar sitios en los que la Pardela de Islas Revillagigedo prefiere alimentarse.
- Incluir estos resultados a la ficha técnica del Método de Evaluación de Riesgo de Extinción (MER) a fin de actualizar la información que la NOM-059-SEMARNAT utiliza para asignar una categoría de riesgo a las especies.

## Bibliografía

- Aguirre-Muñoz, A., A. Samaniego-Herrera, L. Luna-Mendoza, A. Ortiz-Alcaraz, M. Rodríguez-Malagón, F. Méndez-Sánchez, M. Félix-Lizárraga, J. Hernández-Montoya, R. González-Gómez, F. Torres-García *et al.* 2011. Island restoration in Mexico: ecological outcomes after systematic eradications of invasive mammals. *Island invasives: eradication and management*, p. 250–258.
- Aguirre-Muñoz, F. M. Sánchez, A. O. Alcaraz, A. D. M. Maza, L. F. M. Donald, A. R. Espinoza, M. B. Rojas, B. B. Almada, M. N. Sánchez, M. G. Tessaro y S. G. Martínez. 2015. Formulario de Nominación del Bien Natural Archipiélago de Revillagigedo para su Inscripción en la Lista del Patrimonio Mundial.
- Ainley, D. G., T. C. Telfer y M. H. Reynolds. 1997. Townsend s and Newell s Shearwater (*puffinus auricularis*). *The Birds of North America Online*. ISSN 1061-5466. doi:10.2173/bna.297.  
URL [http://bna.birds.cornell.edu/BNA/account/Townsend\\_s\\_and\\_Newell\\_s\\_Shearwater/RECOMMENDED\\_CITATION.html](http://bna.birds.cornell.edu/BNA/account/Townsend_s_and_Newell_s_Shearwater/RECOMMENDED_CITATION.html)
- Anthony, A. W. 1898. Avifauna of the Revillagigedo Islands. *The Auk*, 15(4):311–318.  
URL [https://www.jstor.org/stable/4068567?seq=1#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/4068567?seq=1#metadata_info_tab_contents)
- Araújo, H., J. Bastos-Santos, P. C. Rodrigues, M. Ferreira, A. Pereira, A. C. Henriques, S. S. Monteiro, C. Eira y J. Vingada. 2017. The importance of Portuguese Continental Shelf Waters to Balearic Shearwaters revealed by aerial census. *Marine biology*, 164(3):55.
- Arcos, J. M., J. Bécares, D. Villero, L. Brotons, B. Rodríguez y A. Ruiz. 2012. Assessing the location and stability of foraging hotspots for pelagic seabirds: an approach to identify marine Important Bird Areas (IBAs) in Spain. *Biological conservation*, 156:30–42.
- Arnaud, G., A. Rodríguez y S. Álvarez Cárdenas. 1994. El gato doméstico (*Felis catus*), implicaciones de su presencia y alternativas para su erradicación. *La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México. CIBNOR, Publicación*, 8.
- AZE. 2019. 2018 Global AZE map.  
URL <http://zeroextinction.org/site-identification/2018-global-aze-map/>



- Baillie, J. E., C. Hilton-Taylor y S. N. Stuart. 2004. A global species assessment. Inf. téc., International Union for Conservation of Nature (IUCN).
- Baptista, L. F. y J. E. M. Gómez. 2002. La investigación bioacústica de las aves del Archipiélago de Revillagigedo: un reporte de avance. *Huitzil. Revista Mexicana de Ornitología*, 3(2):33–41.
- Bosch, S., L. Tyberghein, K. Deneudt, F. Hernandez y O. De Clerck. 2018. In search of relevant predictors for marine species distribution modelling using the MarineSPEED benchmark dataset. *Diversity and Distributions*, 24(2):144–157.
- Bull, L. S., B. D. Bell y S. Pledger. 2005. Patterns of size variation in the shearwater genus *Puffinus*. página 13.
- Cardoso, M. D., J. F. de Moura, D. C. Tavares, R. A. Gonçalves, F. I. Colabuono, E. M. Roges, R. L. de Souza, D. D. P. Rodrigues, R. C. Montone y S. Siciliano. 2014. The Manx shearwater (*Puffinus puffinus*) as a candidate sentinel of Atlantic Ocean health. *Aquatic biosystems*, 10(1):6.
- Castellanos, A. y R. Rodriguez-Estrella. 1993. Current status of the Socorro Mockingbird. *The Wilson Bulletin*, p. 167–171.
- Chatfield-Taylor, W. 2015. An Assessment of Factors Affecting the Spatial Distribution of Audubon's Shearwater (*Puffinus l. lherminieri*) throughout the Caribbean. Tesis de doctorado, University of Kansas.
- Chesser, R. T., K. J. B. C. C. J. L. D. A. W. K. I. J. L. P. C. R. J. V. R. J. D. F. S. y K. Winker. 2019. Check-list of North American Birds (online).  
URL <http://checklist.aou.org/taxa>
- CONABIO. 2019. Ficha técnica para la evaluación de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México.  
URL [http://www.conabio.gob.mx/gap/images/d/d6/37\\_Archipielago\\_Revillagigedo.pdf](http://www.conabio.gob.mx/gap/images/d/d6/37_Archipielago_Revillagigedo.pdf)
- CONANP. 2019. Los Sitios Ramsar de México.  
URL <http://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/sitios-ramsar>
- Cooper, J., J. BLOOMER, M. Bester *et al.* 1995. A SUCCESS STORY: BREEDING OF BURROWING PETRELS (PROCELLARIIDAE) BEFORE AND AFTER THE EXTINCTION OF FERAL CATS (*Felis catus*) AT SUBANTARCTIC MARION ISLAND. *Marine Ornithology*, 23:33–37.

Coria-Benet, R. 1995. Climatología. página 351. En: *La isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. ISBN 968-6837-06-X.

URL [http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1434/ortega\\_a%201994%20LA%20ISLA%20SOCORRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1434/ortega_a%201994%20LA%20ISLA%20SOCORRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Croxall, J. P., S. H. Butchart, B. Lascelles, A. J. Stattersfield, B. Sullivan, A. Symes y P. Taylor. 2012. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, 22(1):1–34.

Cure, C., T. Aubin y N. Mathevon. 2011. Sex discrimination and mate recognition by voice in the Yelkouan shearwater *Puffinus yelkouan*. *Bioacoustics*, 20(3):235–249.

DOF. 2017. DECRETO por el que se declara como área natural protegida, con el carácter de parque nacional, la región conocida como Revillagigedo, localizada en el Pacífico Mexicano.

URL [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5505736](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5505736)

Flores-Palacios, A., J. Martinez-Gomez y R. Curry. 2009. La Vegetación de Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, México.

URL [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0366-21282009000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0366-21282009000100002&script=sci_arttext)

Forsell, D. 1982. Recolonization of Baker Island by seabirds. *Bulletin of the Pacific Seabirds Group*, 9:75–76.

Fullagar, P., J. McKean y G. Van Tets. 1974. Appendix F. Report on the birds. *Environmental Survey of Lord Howe Island. New South Wales Government Printer, Sydney*, p. 55–72.

Furness, R. W. y K. Camphuysen. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of marine Science*, 54(4):726–737.

Goh, M. 2011. Developing an Automated Acoustic Monitoring System to Estimate Abundance of Cory's Shearwaters in the Azores. Tesis de doctorado, Department of Life Sciences, Silwood Park, Imperial College London.

Groombridge, B. 1992. Status of the Earth's living resources. En: *Global Biodiversity*. Springer.

INEGI. 2019. Modelos Digitales de Elevación.

URL <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

IUCN, S. S. C. 2001. IUCN Red List categories and criteria: version 3.1. *Prepared by the IUCN Species Survival Commission.*

Jehl, J. 1982. The biology and taxonomy of Townsend's Shearwater. *Le Gerfaut-De giervalk.*, 72:121–135.

Jehl, J. R. y K. C. Parkes. 1982. The status of the avifauna of the Revillagigedo islands, México. *The Wilson Bulletin*, 94(1):20.

Jones, C. 2000. Sooty shearwater (*Puffinus griseus*) breeding colonies on mainland South Island, New Zealand: evidence of decline and predictors of persistence. *New Zealand Journal of Zoology*, 27(4):327–334.

Keitt, B. S., C. Wilcox, B. R. Tershy, D. A. Croll y C. J. Donlan. 2002. The effect of feral cats on the population viability of black-vented shearwaters (*Puffinus opisthomelas*) on Natividad Island, Mexico. En: *Animal Conservation forum*, tomo 5, p. 217–223. Cambridge University Press.

Lawton, K., G. Robertson, R. Kirkwood, J. Valencia, R. Schlatter y D. Smith. 2006. An estimate of population sizes of burrowing seabirds at the Diego Ramirez archipelago, Chile, using distance sampling and burrow-scoping. *Polar Biology*, 29(3):229–238.

León de la Luz, J. L., A. Breceda y R. C. Benet. 1996. Las comunidades vegetales en la isla Socorro, México. *SIDA, Contributions to Botany*, 17(1):215–230. ISSN 0036-1488.

URL <https://www.jstor.org/stable/41960970>

Lewison, R., D. Oro, B. Godley, L. Underhill, S. Bearhop, R. Wilson, D. Ainley, J. Arcos, P. D. Boersma, P. Borboroglu *et al.* 2012. Research priorities for seabirds: improving conservation and management in the 21st century. *Endangered Species Research*, 17(2):93–121.

Lopes, A. C. P., M. V. C. Vital y M. A. EFE. 2014. Potential geographic distribution and conservation of Audubon's Shearwater in Brazil. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 54(19).

- Lozano Rodríguez, L. A. 2010. Abundancia relativa y distribución de mamíferos medianos y grandes en dos coberturas vegetales en el santuario de fauna y flora Otún Quimbaya mediante el uso de cámaras trampa. B.S. thesis, Facultad de Ciencias.
- Mackin, W. A. 2005. Neighbor–stranger discrimination in Audubon s shearwater (*Puffinus l. lherminieri*) explained by a “real enemy” effect. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59(2):326–332.
- Manel, S., H. C. Williams y S. J. Ormerod. 2001. Evaluating presence–absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of applied Ecology*, 38(5):921–931.
- Martínez-Gómez, J. E., N. Matías-Ferrer, R. N. Sehgal y P. Escalante. 2015. Phylogenetic placement of the critically endangered Townsend s Shearwater (*Puffinus auricularis auricularis*): evidence for its conspecific status with Newell s Shearwater (*Puffinus a. newelli*) and a mismatch between genetic and phenotypic differentiation. *Journal of ornithology*, 156(4):1025–1034.
- Martínez-Gómez, J. E. y J. K. Jacobsen. 2004. The conservation status of Townsend s shearwater *Puffinus auricularis auricularis*. *Biological Conservation*, 116(1):35–47.
- Maya-Delgado, Y., F. Salinas-Zavala y E. Troyo-Diéguéz. 1995. Estado actual del suelo y propuestas para su conservación. página 351. En: *La isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.
- Merow, C., M. J. Smith y J. A. Silander Jr. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10):1058–1069.
- Moors, P. 1984. Predation on seabirds by introduced mammals and factors affecting its severity. *ICPB Tech Rep*, 2:667–690.
- Nilsson, S. G. 1984. The evolution of nest-site selection among hole-nesting birds: the importance of nest predation and competition. *Ornis Scandinavica*, p. 167–175.
- Oppel, S., S. Hervias, N. Oliveira, T. Pipa, C. Silva, P. Geraldés, M. Goh, E. Immler y M. McKown. 2014. Estimating population size of a nocturnal burrow-nesting seabird using acoustic monitoring and habitat mapping. *Nature Conservation*, 7:1.

Ortega-Rubio, A. y A. Castellanos-Vera. 1994. *La isla Socorro, Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo, México*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México. ISBN 968-6837-06-X.

URL [http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1434/ortega\\_a%201994%20LA%20ISLA%20SOCORRO.pdf?sequence=1&isAllowed=](http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/1434/ortega_a%201994%20LA%20ISLA%20SOCORRO.pdf?sequence=1&isAllowed=)

Ortiz-Alcaraz, A., A. Aguirre-Muñoz, G. Arnaud-Franco, P. Galina-Tessaro, E. Rojas-Mayoral, F. Méndez-Sánchez y A. Ortega-Rubio. 2017. Progress in the eradication of the feral cat (*Felis catus*) and recovery of the native fauna on Socorro Island, Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Therya*, 8(1):3–9. ISSN 20073364. doi:10.12933/therya-17-425.

URL <http://132.248.10.25/therya/index.php/THERYA/article/view/425>

Ortiz-Alcaraz, A., F. Solís-Carlos, C. Gámez-Brunswick, N. Castillo-Huerta, J. Góngora-Salinas, F. Torres-García, B. Rojas-Mayoral, E. Benavides-Rios y F. Méndez-Sánchez. 2019. Programa de Restauración de isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo. Informe Final de Actividades, Enero de 2019. Inf. téc., Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C., México.

Ortiz Alcaraz, A. A. 2016. Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo: recuperación de los ecosistemas en un área natural protegida estratégica para México. Tesis de doctorado.

Pearson, S. F., P. J. Hodum, T. P. Good, M. Schrimpf y S. M. Knapp. 2013. A Model Approach for Estimating Colony Size, Trends, and Habitat Associations of Burrow-Nesting Seabirds: Un Enfoque Modelo Para Estimar el Tamaño de la Colonia, las Tendencias y las Asociaciones de Habitat en Aves Marinas Que Anidan en Madrigueras. *The Condor*, 115(2):356–365.

Peterson, A. T., J. Soberón, R. G. Pearson, R. P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura y M. B. Araújo. 2011. *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*, tomo 56. Princeton University Press.

Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4):231–259.

Phillips, S. J. y M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2):161–175.

- Priddel, D., N. Carlile, P. Fullagar, I. Hutton y L. O'Neill. 2006. Decline in the distribution and abundance of flesh-footed shearwaters (*Puffinus carneipes*) on Lord Howe Island, Australia. *Biological Conservation*, 128(3):412–424.
- Raine, A., M. Vynne, S. Driskill y E. Pickett. 2018. Monitoring of Endangered Seabirds in Hono o Na Pali Natural Area Reserve IV: Hanakapi ai. Inf. téc., University of Hawaii and Division of Forestry and Wildlife, Pacific Cooperative Studies Unit. Kauai: Kauai Endangered Seabird Recovery Project.
- Remeš, V., B. Matysioková y A. Cockburn. 2012. Nest predation in New Zealand songbirds: exotic predators, introduced prey and long-term changes in predation risk. *Biological Conservation*, 148(1):54–60.
- Roul, S. 2010. Distribution and status of the Manx Shearwater (*Puffinus puffinus*) on islands near the Burin Peninsula, Newfoundland. Tesis de doctorado, Memorial University of Newfoundland.
- Sanz-Aguilar, A., G. Tavecchia, E. Minguez, B. Massa, F. L. Valvo, G. A. Ballesteros, G. G. Barberá, J. F. Amengual, A. Rodríguez, M. McMinn *et al.* 2010. Recapture processes and biological inference in monitoring burrow-nesting seabirds. *Journal of Ornithology*, 151(1):133–146.
- Schreiber, E. A. y J. Burger. 2001. *Biology of marine birds*. CRC press.
- Scott, D., H. Moller, D. Fletcher, J. Newman, J. Aryal, C. Bragg y K. Charleton. 2009. Predictive habitat modelling to estimate petrel breeding colony sizes: sooty shearwaters (*Puffinus griseus*) and mottled petrels (*Pterodroma inexpectata*) on Whenua Hou Island. *New Zealand Journal of Zoology*, 36(3):291–306.
- 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. *Diario oficial de la federación*, 110.
- Solís-Carlos, F. 2019. Pardela de Islas Revillagigedo: resumen de resultados 2016-2019. Inf. téc., Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C.
- Staav, R. 1998. Longevity list of birds ringed in Europe. *Euring newsletter*, 2:9–17.
- Stokes, D. L. y P. D. Boersma. 1991. Effects of substrate on the distribution of Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*) burrows. *The Auk*, 108(4):923–933.

- Storey, A. 1984. Function of Manx shearwater calls in mate attraction. *Behaviour*, 89(1-2):73–88.
- Townsend, C. H. 1890. Scientific results of explorations by the US Fish Commission steamer Albatross. No. XIV. Birds from the coasts of western North America and adjacent islands, collected in 1888- 89, with descriptions of new species. *Proceedings of the United States National Museum*.
- Velarde, E., E. Ezcurra, M. A. Cisneros-Mata y M. F. Lavín. 2004. Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*, 14(2):607–615.
- Warham, J. 1977. Wing loadings, wing shapes, and flight capabilities of Procellariiformes. *New Zealand Journal of Zoology*, 4(1):73–83.
- Wehtje, W., H. Walter, R. Rodríguez-Estrella, J. Llinas y A. Castellanos-Vera. 1993. An annotated checklist of the birds of Isla Socorro, Mexico. *Western Birds*, 24(1):1–16.
- Whitehead, A. L., P. O. Lyver, C. J. Jones, P. J. Bellingham, C. J. MacLeod, M. Coleman, B. J. Karl, K. Drew, D. Pairman, A. M. Gormley *et al.* 2014. Establishing accurate baseline estimates of breeding populations of a burrowing seabird, the grey-faced petrel (*Pterodroma macroptera gouldi*) in New Zealand. *Biological Conservation*, 169:109–116.
- Wolf, S. G., M. A. Snyder, W. J. Sydeman, D. F. Doak y D. A. Croll. 2010. Predicting population consequences of ocean climate change for an ecosystem sentinel, the seabird Cassin's auklet. *Global Change Biology*, 16(7):1923–1935.
- Wood, K. R. y P. Bily. 2008. Vegetation description of a nesting site for Newell's Shearwater (*Puffinus auricularis newelli*), Piinau stream, East Maui, Hawaii. *Elepaio*, 68:63–66.