



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**Ecología poblacional de Albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*), para su manejo y conservación en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, México.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**Doctor en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación Ecología )

P r e s e n t a

**JULIO CÉSAR HERNÁNDEZ MONTOYA**

La Paz, Baja California Sur, julio de 2019

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 19 del Mes de Junio del 2019, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"Ecología poblacional de Albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*), para su manejo y conservación en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, México."**

Presentada por el alumno: **Julio César Hernández Montoya**

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN ECOLOGÍA.

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

LA COMISIÓN REVISORA



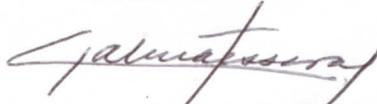
---

Dr. Alfredo Ortega Rubio  
Director de Tesis



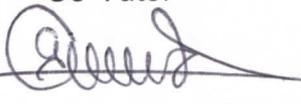
---

Dra. Sara Cecilia Díaz Castro  
Co-Tutor



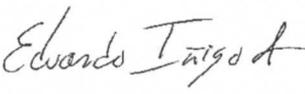
---

Dra. Patricia Galina Tessaro  
Co-Tutor



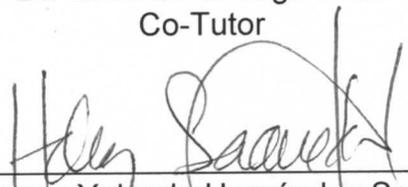
---

Dr. Gustavo Alberto Arnaud Franco  
Co-Tutor



---

Dr. Eduardo E. Iñigo Elías  
Co-Tutor



---

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

## **Conformación de Comités**

### **Comité Tutorial**

Dr. Alfredo Ortega Rubio  
Director de tesis  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dra. Sara Cecilia Díaz Castro  
Co-Tutor  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dra. Patricia Galina Tessaro  
Co-Tutor  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dr. Gustavo Arnaud Franco  
Co-Tutor  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Dr. Eduardo E. Iñigo Elias  
Co-Tutor  
Cornell University

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. Alfredo Ortega Rubio  
Dra. Sara Cecilia Díaz Castro  
Dra. Patricia Galina Tessaro  
Dr. Gustavo Arnaud Franco  
Dr. Eduardo E. Iñigo Elias

### **Jurado de Examen**

Dr. Alfredo Ortega Rubio  
Dra. Sara Cecilia Díaz Castro  
Dra. Patricia Galina Tessaro  
Dr. Gustavo Arnaud Franco  
Dr. Eduardo E. Iñigo Elias

### **Suplentes**

Dra. Aurora Margarita Breceda Solís Cámara  
Dr. Sergio Álvarez Cárdena

## Resumen

Isla Guadalupe, frente a la península de Baja California, alberga especies de aves nativas y endémicas de México, siendo un sitio ideal para la anidación de aves marinas como el albatros de Laysan (*PHOEBASTRIA IMMUTABILIS*) el cual colonizó Isla Guadalupe a principios de la década de los 80. Sin embargo, ha estado expuesto a la depredación por parte del gato, esta especie exótica e invasora fue introducido en el siglo XIX y desde entonces, la presencia de éste en isla Guadalupe ha causado un grave deterioro al ecosistema insular. Es necesario y prioritario para el conocimiento y conservación del albatros de Laysan en isla Guadalupe, desarrollar acciones de investigación biológica y ecológica. El objetivo principal de este trabajo es analizar la ecología poblacional del albatros de Laysan en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe. Se monitoreo la colonia reproductiva de albatros de Laysan por más de diez años, para conocer su distribución, abundancia y éxito reproductivo, también se anillaron todos los adultos reproductivos y las crías para conocer la sobrevivencia y estructura de la población. A pesar de las especies exóticas y gracias a los esfuerzos de conservación la población de albatros de Laysan está creciendo y consolidándose en Isla Guadalupe, en el año 2019 se registró una población cercana a los 3,500 adultos. Esta población fortalece la resiliencia de la especie ante el cambio climático. La inmigración de individuos fue la condición que permitió el establecimiento de la especie en isla Guadalupe, actualmente los individuos nacidos en Reserva son la principal causa del crecimiento de la población reproductiva. El albatros de Laysan es una especie que no presenta dimorfismo sexual aparente, lo que implica utilizar métodos invasivos cuando se requiere identificar el sexo. Para atender este punto desarrollamos un modelo predictivo del sexo basado en datos morfométricos y muestras de sangre a 135 individuos adultos, así como una aplicación para determinar el sexo utilizando un modelo logístico a partir de un mínimo de datos morfométricos. Esta aplicación proporciona un método no invasivo que reduce los costos y el tiempo para la determinación del sexo. Para conocer las zonas de alimentación en temporada reproductiva, colocamos GPS a 36 individuos de albatros durante las temporadas de reproducción del 2014 al 2018. Los resultados sugieren que los individuos monitoreados muestran preferencia por viajar a aguas costeras altamente productivas, influenciadas por la Corriente de California. Encontramos que la duración y las distancias máximas de los viajes son independientes del sexo de los individuos. Con esta investigación concluimos que sí existe dimorfismo sexual en albatros de Laysan; sin embargo, no encontramos que existió segregación sexual en el mar. Se elaboró el Plan de Manejo para la conservación de la especie de albatros de Laysan, el cual se incorporó al Programa de acción para la Conservación de las Especies (PACE) de aves marinas del Pacífico Mexicano.

**Palabras Clave:** Albatros de Laysan, Isla Guadalupe, ecología poblacional.

Visto Bueno del Dr. Alfredo Ortega Rubio  
Director de tesis.

## Summary

Guadalupe Island is located in front of Baja California Peninsula, it is home of native and endemic birds species, it has become an ideal nesting site for seabirds such as Laysan Albatross (*Phoebastria Immutabilis*), which colonized Guadalupe Island at the beginning of the 1980s. However, it has been exposed to predation by feral cat, an exotic and invasive species that was introduced in the nineteenth century. Since then, its presence on Guadalupe Island has caused a serious deterioration into the insular ecosystem. It is necessary for the knowledge and conservation of the Laysan albatross on Guadalupe Island, to develop biological and ecological research actions. The main objective of this work is to analyze the population ecology of Laysan albatross on the Guadalupe Island Biosphere Reserve. The breeding colony of Laysan albatrosses was monitored for more than ten years. We ringed all the reproductive adults and chicks, in order to know their distribution, abundance and reproductive success, and estimated their survival rate and population structure. Thanks to conservation efforts by the Grupo de Ecología y Conservación de Islas A.C., and despite the presence of exotic species, the Laysan albatross population is growing and consolidating in Guadalupe Island, reaching a population of 3,500 adults' individuals in this year (2019). This population strengthens the resilience of the species in the face of climate change. The immigration of individuals was the condition that allowed the establishment of this species on Guadalupe Island, but now the individuals born in the Reserve are the main cause of the growth of the breeding population. The Laysan albatross, like many gregarious seabirds, is a species that does not present apparent sexual dimorphism, which implies the using of invasive methods when sex identification is required. To address this point, we developed a sex predictive model based on morphometric data of 135 adult individuals, as well as an application to determine sex using a logistic model from a minimum of morphometric data. This application provides a non-invasive method that reduces the costs and time for sex determination. To know the feeding areas during the reproductive season, we placed GPS to 36 albatrosses during the breeding seasons from 2014 to 2018. The results suggest that the monitored individuals show a preference for traveling to highly productive coastal waters, influenced by the California Current. We find that the duration and maximum distances of the trips are independent of the sex of the individuals. With this investigation, we concluded that the Laysan albatrosses present sexual dimorphism; however, we do not find sexual segregation at sea. As a complementary study of this research, I presented a Laysan albatross Management and Conservation Plan, that included an Action Program for the Species Conservation (PACE) of the Mexican Pacific Seabirds, which also integrates the endemic marine birds of Mexico with high conservation priority.

**Keywords:** Albatros de Laysan, Guadalupe Island, Population ecology.

Visto Bueno Dr. Alfredo Ortega Rubio  
Director de tesis

**Dedicatoria**

*Esta Investigación, este grado académico y todo el resultado de mi trabajo lo dedico a mi Mamá Lucero Montoya por todo el amor y apoyo incondicional que me ha dado para cumplir mis sueños. Todo lo que soy y los alcances que logre son gracias a ti mamita. Este trabajo es un homenaje a ti con todo mi amor.*

## **Agradecimientos**

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), por todas las facilidades otorgadas durante los cursos y las clases; sus tutores, maestros y demás personal que hacen posible el desarrollo de la investigación y los programas de posgrado. Al Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT), por la beca que me fue otorgada para la realización de los estudios de Doctorado, CVU 104454.

A mi director de tesis, el Dr. Alfredo Ortega, por ayudarme en la formación como investigador, por brindarme su apoyo, su confianza, pero sobre todo por la enorme paciencia que me brindo todos estos años. Al Dr. Gustavo Arnaud, por las útiles aportaciones al trabajo, así como sus minuciosas revisiones. A la Dra. Patricia Galina, por su apoyo, dedicación y entusiasmo que siempre mostro ante este trabajo de investigación. A la Dra. Sara Díaz, por su orientación, dedicación y compromiso. Al Dr. Eduardo Iñigo, por enorme confianza, apoyo y ejemplo, por alimentar el amor por el estudio de las aves.

A la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del CIBNOR, a la Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra, Lic. Osvelia Ibarra, Tania Veronica Nuñez Valdez, Lic. Leticia González Rubio Rivera y al Ing. Horacio Sandoval, quienes amablemente me ayudaron con todos los trámites durante mi agradable estancia por esta institución.

Al Grupo de Ecología y Conservación de Isla, A.C., especialmente al Dr. Alfonso Aguirre, quien fue mi principal impulsor en este proceso, quien siempre estuvo pendiente del trabajo de investigación, por ese apoyo incondicional y una confianza extrema y por los múltiples consejos y ejemplos de excelencia. A Federico Méndez, por el apoyo incondicional en todos los sentidos para la realización de este proyecto. A Antonio Ortiz, por todo su apoyo, consejos y guía, así como por los ánimos y motivación que siempre me ha brindado. A mis queridos colegas y amigos: Antonio Ortiz, Luciana Luna, Yuliana Bedolla, María Félix, Mariam Latofski, Evaristo Rojas, Alejandro Manríquez, Isis Castañeda, Noe Silva, Flor Torres, Fernando Solís, Javier

Góngora, Norma Castillo, David Martínez, Efren Cabrera, Braulio Rojas, Eva Benavides, David Cosio, Sergio Luvianos, Lucero Oregel, Alejandro Rodríguez, Roberto Rieke, Pamela Carrillo, Karina Salizzoni, Gabriela Ham, Cynthia Jauregui, Marimar Garciadiego, Ana Marichal, Héctor Ibarra, Miguel Corrales, Alicia Aztorga, Alejandro Aguilar, Alejandra Fabila, Esmeralda Bravo y Ana Cardenas.

A mis queridos compañeros Guadalupanos, Ariana Duarte, Ángel Mendez, Anely Fernandez, Maricela Juarez, Gerardo Gamez, Salvador Figueroa, Angeles Milanés, Zayra Peña, Israel Torres, José María Barredo y muchos más que aportaron e hicieron posible esta investigación.

A las organizaciones y personas que hicieron posible la realización de este proyecto: La Secretaria de Marina-Armada de Mexico (SEMAR), con un agradecimiento especial al Almirante C.G. DEM. Jorge Luis Cruz Ballado, Comandante de la Segunda Región Naval, así como al personal de infantería del destacamento de Isla Guadalupe y a la Segunda Flotilla en particular a la tripulación de los buques Patrullas Oceánicas Matamoros y Farías; la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); la Comisión de Áreas Naturales Protegidas, (CONANP), especialmente a la dirección de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe M.C. Marisol Torres y su comprometido personal, Donaxi, Verónica, Alfredo, Daniel y Martín; a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Usos de la Biodiversidad (CONABIO), Biol. Humberto Berlanga; al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); a la Secretaria de Gobernación (SEGOB). Agradezco el apoyo de National Fish and Wildlife Foundation (NFWF), particularmente a Scott Hall, así como a la Alianza WWF- Fundación Carlos Slim, y a las fundaciones Packard y Marisla.

A Los albatros de Laysan que anidan en Isla Guadalupe y han sido mis compañeros y fuente de inspiración en este proyecto.

A mi amada familia, quienes son mi mayor fuerza y motivación para alcanzar todos los objetivos: a mis hermanos Oso y Abril, a mis tías Marta, Eva y Lili, a mi abuelito Toño y a mí Marthita.

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	i
<b>Summary</b> .....	ii
<b>Dedicatoria</b> .....	iii
<b>Agradecimientos</b> .....	iv
<b>Contenido</b> .....	vi
<b>Lista de figuras</b> .....	viii
<b>Lista de tablas</b> .....	x
<b>Abreviaturas</b> .....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	6
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	9
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	10
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos particulares.....	11
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
6.1 Atributos poblacionales.....	14
6.1.1 <i>Éxito reproductivo</i> .....	15
6.2 Distribución en zonas de anidación.....	16
6.3 Dimorfismo sexual.....	17
6.3.1 <i>Análisis estadístico</i> .....	20
6.4 Zonas de alimentación o forrajeo en mar.....	22
6.4.1 <i>Procesamiento de datos</i> .....	24
6.5 Evaluación de amenazas.....	24
6.6 Conservación y restauración.....	25
<b>7. RESULTADOS</b> .....	26
7.1 Atributos poblacionales.....	26
7.1.1 <i>Tamaño poblacional</i> .....	26
7.1.2 <i>Éxito reproductivo</i> .....	31
7.2 Distribución en zonas de anidación.....	33
7.3 Dimorfismo sexual.....	37

7.3.1	<i>Dimorfismo morfológico</i> .....	37
7.3.2	<i>Identificación genética del sexo</i> .....	40
7.3.3	<i>Modelo de Predicción del Sexo</i> .....	40
7.4	Zonas de alimentación o forrajeo en mar .....	42
7.5	Evaluación de amenazas .....	45
7.5.1	<i>Mamíferos exóticos invasores</i> .....	45
7.5.2	<i>Pesca incidental</i> .....	46
7.5.3	<i>Ingesta de plásticos</i> .....	46
7.5.4	<i>Anomalías climáticas</i> .....	47
7.6	Conservación y restauración.....	49
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	50
8.1	Atributos poblacionales .....	50
8.2	Distribución en zonas de anidación .....	51
8.3	Dimorfismo sexual.....	52
8.4	Zonas de alimentación o forrajeo en mar .....	53
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	57
9.1	Atributos poblacionales .....	57
9.2	Distribución en zonas de anidación .....	57
9.3	Dimorfismo sexual.....	58
9.4	Zonas de alimentación o forrajeo en mar .....	59
9.5	Evaluación de amenazas .....	59
<b>10.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b> .....	60
<b>11.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	68
11.1	Anexo A .....	68
	PLAN DE MANEJO ALBATROS DE LAYSAN ( <i>Phoebastria immutabilis</i> ) .....	68
11.2	Anexo B. ....	76
	Evidencia de artículo científico aceptado.....	76
11.3	Anexo C. ....	77
	Evidencia de artículo científico sometido.....	77

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Área de Estudio. Panel superior: Ubicación de la isla Guadalupe con respecto a la península de Baja California, México. Paneles inferiores: Primer plano: ubicaciones de la isla principal y los islotes Morro Prieto y Zapato. ....	2
<b>Figura 2.</b> Marcaje con anillos a individuo adulto reproductivo. ....	15
<b>Figura 3.</b> Marcaje de nidos en islote Zapato. ....	17
<b>Figura 4.</b> Diagrama de las medidas morfológicas tomadas de individuos reproductores de albatros de Laysan. ....	19
<b>Figura 5.</b> Toma de medidas morfométricas de a adulto de albatros de Laysan en Isla Guadalupe durante la temporada 2018. ....	19
<b>Figura 6.</b> Modelo logístico de predicción de sexo basado en datos morfométricos (las hembras se muestran en círculos rojos y los machos se muestran en triángulos azules). La línea negra es el umbral definido por la curva de característica operativa del receptor (ROC), el cual seleccionó quienes serían machos y hembras. El sexo de los individuos de albatros se predijo con éxito en más del 90% de los casos. ....	22
<b>Figura 7.</b> Instalación de dispositivos de geoposicionamiento. a) Colocación de GPS en el dorso y b) colocación de GLS en el tarso de albatros de Laysan. ....	23
<b>Figura 8.</b> Número de nidos y de volantones durante las temporadas reproductivas de albatros de Laysan en 2013 a 2018 en Punta Sur. ....	27
<b>Figura 9.</b> Número de nidos y de volantones durante las temporadas reproductivas de albatros de Laysan en 2013 a 2018 en Morro Prieto. ....	27
<b>Figura 10.</b> Número de nidos y de volantones durante las temporadas reproductivas de albatros de Laysan en 2013 a 2018 en Zapato. ....	28
<b>Figura 11.</b> Tendencia poblacional de albatros de Laysan en la colonia reproductiva de Punta Sur, Isla Guadalupe, durante el período 1983-2018. Modificado de Hernández-Montoya <i>et al.</i> (2014). ....	29
<b>Figura 12.</b> Origen y estructura de la población reproductiva de Isla Guadalupe. .	31
<b>Figura 13.</b> Individuos de albatros de Laysan, a) pollo recién nacido (izquierda) y b) volantón (derecha). ....	32
<b>Figura 14.</b> Éxito reproductivo de la población de albatros en la isla Principal del año 2013 al 2018. ....	32

- Figura 15.** Éxito reproductivo de la población de albatros en islote Morro Prieto del año 2013 al 2018. .... 33
- Figura 16.** Éxito reproductivo de la población de albatros en islote Zapato del año 2013 al 2018. .... 33
- Figura 17.** Ubicación de las tres subcolonias de anidación de albatros de Laysan en Isla Guadalupe: Punta Sur, Islote Zapato e Islote Morro Prieto. Los puntos indican los nidos en cada una de estas subcolonias..... 34
- Figura 18.** Densidad de nidos de albatros de Laysan en Isla Guadalupe: Localidad Punta Sur, al interior del cerco exclusor de gatos (arriba) y Localidades Colinas Negras, Estadio, Palmas y Pista, fuera del cerco exclusor de gatos (abajo). .... 35
- Figura 19.** Densidad de nidos de albatros de Laysan en las subcolonias reproductivas Islote Zapato (arriba) e Islote Morro Prieto (abajo). .... 36
- Figura 20.** Diagramas de caja de las variables morfológicas para hembras (n = 74) y machos (n = 61) de albatros de Laysan colectados del año 2015 al 2018. La línea en negrita representa la mediana, la parte inferior del cuadro es el primer cuartil, el tercer cuartil separa el 75% de los datos, los puntos anteriores son los límites de los bigotes (mostrados como líneas discontinuas) y los valores extremos (datos atípicos) o valores atípicos mostrados como círculos abiertos. Letras diferentes (a / b) indican diferencias significativas. .... 39
- Figura 21.** Ejemplo visual de la aplicación de predicción de sexo para el albatros de Laysan. La aplicación desarrollada para predecir el sexo del albatros de Laysan estará disponible para cualquier usuario. La aplicación estará disponible a partir de agosto de 2019 y se encontrará en el sitio: [app.islas.org.mx/laysan-albatross-sexual-dimorphism](http://app.islas.org.mx/laysan-albatross-sexual-dimorphism). .... 41
- Figura 22.** Viajes realizados por machos de albatros de Laysan (n = 36) (líneas azules) y hembras (líneas discontinuas rojas) durante las temporadas de reproducción 2014-2018 en la Isla Guadalupe obtenidas con GPS..... 43
- Figura 23.** Distribución de adultos de albatros de Laysan que anidan en Isla Guadalupe durante la temporada no reproductiva 2016-2018, con datos obtenidos de GLS (n=8). Los kernel del 50% se muestran en rojo..... 43
- Figura 24.** Mapas de contorno de trayectorias densidad kernel para el albatros de Laysan (a) machos y (b) hembras durante las temporadas de reproducción de 2014 a 2018 en la Isla Guadalupe. Los colores rojo, naranja y amarillo representan las densidades de kernel del 50%, 75% y 95%, respectivamente. .... 44

## Lista de tablas

<b>Tabla I.</b> Comparaciones entre albatros de Laysan machos (n = 61) y hembras (n = 74) en isla Guadalupe del año 2014 a 2018 para todas las variables morfológicas. Se presentan la media ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar (SD) y el coeficiente de variación (CV). .....	37
<b>Tabla II.</b> Análisis de componentes principales con los 10 rasgos morfológicos del albatros de Laysan en isla Guadalupe colectados del año 2014 al 2018.....	38
<b>Tabla III.</b> Variables predictoras. ....	41
<b>Tabla IV.</b> Características del viaje de forrajeo de albatros de Laysan en la isla Guadalupe.....	42
<b>Tabla V.</b> Evaluación de las amenazas actuales y potenciales del albatros de Laysan, identificadas en sus sitios de anidación en México. ....	48

## Abreviaturas

### Nombre completo

Reserva de la Biosfera isla Guadalupe

Grupo de Ecología y Conservación de Islas

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

Comisión Nacional de Biodiversidad

Sistema de Posicionamiento Global

Global Location Sensor / Sensor de Localización Global

### Acrónimo

RBIG

GECI

CONANP

CONABIO

GPS

GLS

## 1. INTRODUCCIÓN

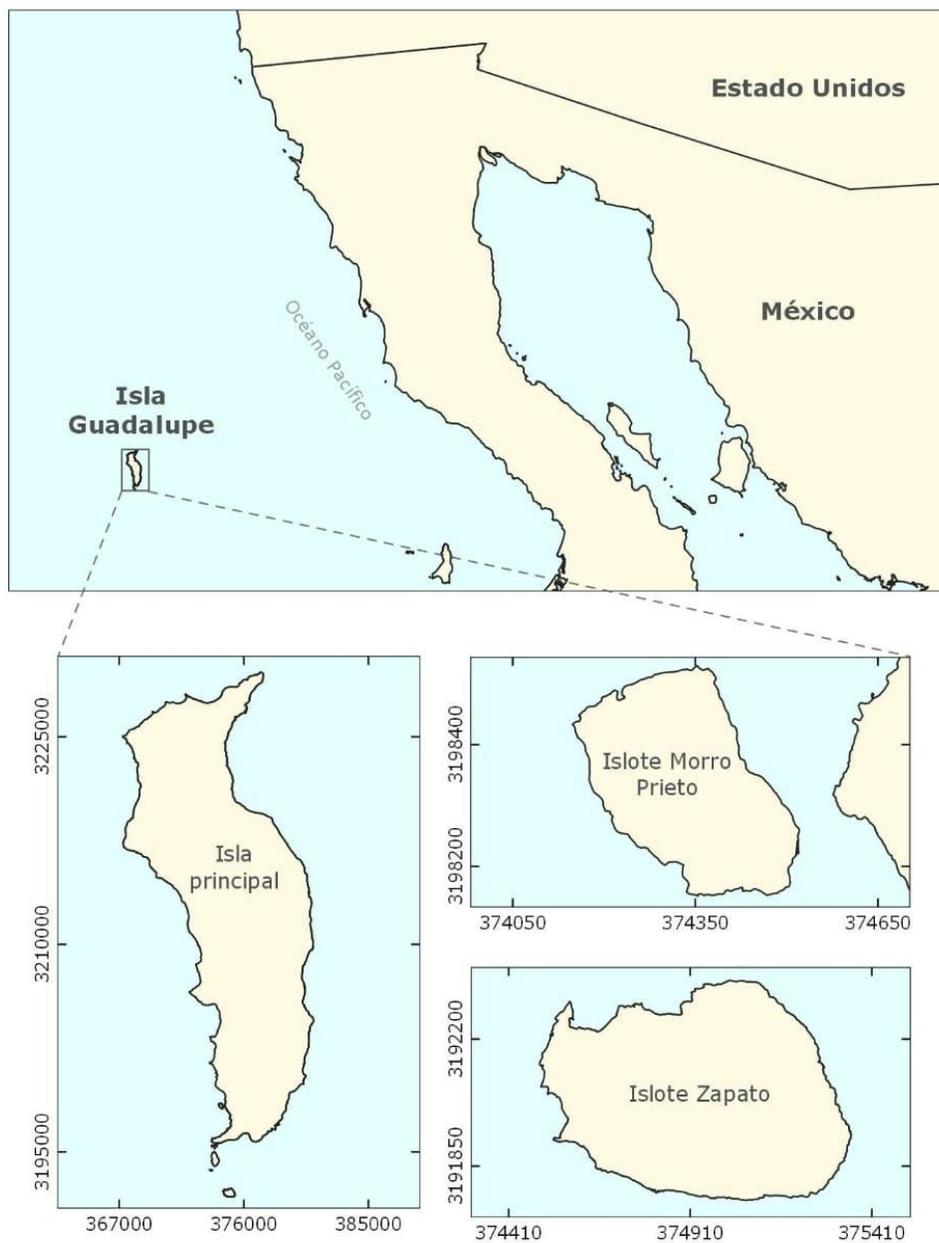
Las aves marinas representan una de las prioridades de conservación más importantes de México, a la vez que menos atendida. El cuidado de estas frágiles aves es una oportunidad de impacto positivo de gran escala, en particular a favor de la salud ambiental de toda la región noroeste de México. Los mares mexicanos, y en general nuestras islas, proveen alimento, sitios de anidación, refugio y hábitat seguros para dichas aves. A pesar de la gran importancia de México a nivel mundial para la conservación de las aves marinas (Croxall *et al.*, 2012), se conoce muy poco de aspectos fundamentales de su historia de vida, como son: la abundancia de sus poblaciones en sus sitios de anidación (islas) y en aguas territoriales; genética y evolución; hábitos reproductivos y de alimentación; y el dimensionamiento de las amenazas concretas presentes y potenciales.

Isla Guadalupe, que es una de las islas oceánicas más estratégicas de nuestro país, presenta poblaciones de aves marinas nativas y endémicas, de las cuales se desconocen los aspectos ecológicos y biológicos básicos para proponer medidas adecuadas para su conservación y manejo, tal es el caso del albatros de Laysan. Así mismo, la isla es posiblemente la colonia reproductiva más grande e importante para la población de albatros en México.

### Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe se localiza 250 km al oeste de la península de Baja California (29°04'N 118°17'W; Fig. 1). La isla tiene una superficie de 24,171 hectáreas y una altitud máxima de 1,298 m. Por su unicidad, es una de las áreas naturales más importantes del mundo. La isla es un importante centro de endemismos de aves terrestres y marinas, así como un sitio de refugio y anidación de especies de aves nativas. Respecto a mamíferos introducidos, la cabra y el perro feral fueron erradicados por Grupo de Ecología y Conservación de Islas, A.C. (GECI) entre 2003 y 2007, pero el gato feral y el ratón

doméstico aún están presentes en el sitio, así como aves y plantas exóticas (Aguirre *et al.*, 2011).



**Figura 1.** Área de Estudio. Panel superior: Ubicación de la isla Guadalupe con respecto a la península de Baja California, México. Paneles inferiores: Primer plano: ubicaciones de la isla principal y los islotes Morro Prieto y Zapato.

En la zona de Punta Sur se registra una precipitación anual de 120 mm y una temperatura media mensual de 17-19°C (León de la Luz *et al.*, 2003), además de presentar una fisionomía y topografía particular que ha permitido la diversidad y distribución de las especies de aves nativas. Por su cercanía a los islotes Morro Prieto y Zapato, esta zona de Punta Sur presenta una gran conectividad con las colonias reproductivas de aves marinas presentes en los islotes. Las colonias de aves en los islotes se encuentran estables y sin la amenaza del gato feral.

#### Descripción física e historia natural

El albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*), con masa de adulto de 2,450g (en Hawaii; Rahn *et al.*, 1984), es una de las aves marinas más grandes, pero es relativamente pequeño entre los procellariidos. En general, el albatros de Laysan es una especie longeva (Fisher, 1975), que alcanzan su edad reproductiva entre los 8 y 9 años, y es capaz de reproducirse cada año. Naturalmente presenta una supervivencia aparente alta entre 0.93 y 0.99 (Van Der Werf y Young, 2011). Solo se produce un pollito por pareja cada temporada (Henry *et al.*, 2007; Rice y Kenyon, 1962).

La envergadura de ala de los albatros más grandes (género *Diomedea*) sobrepasa la de todos los animales voladores actuales, llegando a superar los 3.4 metros, aunque la familia también incluye especies con envergaduras considerablemente menores (1.75 m). Las alas son rígidas y arqueadas, con la parte frontal gruesa y aerodinámica. Posee un cuello grueso y cabeza grande de color blanco, el pico es grande, fuerte y aguzado, con el maxilar superior que termina en un gran gancho. La parte superior de sus alas son de color gris-marrón oscuro con la parte inferior blanca, presentando marcas oscuras variables. En el rostro posee una mancha oscura alrededor de los ojos muy peculiar.

Recorren grandes distancias recurriendo a dos técnicas de vuelo habituales en muchas aves marinas de grandes alas: el planeo dinámico y el planeo de talud.

Estas aves se alimentan comúnmente por la noche cuando las presas son abundantes en las aguas superficiales. Se alimentan posados en la superficie del mar sumergiendo el pico para tomar a sus presas. El rastreo por medio de geoposicionadores y mecanismos satelitales, han mostrado que esta especie realiza grandes viajes de alimentación, aun cuando se encuentran empollando a la cría, llegando a viajar por periodos de hasta 17 días.

Al igual que otras especies de albatros, tiene ciclos reproductivos anuales, con un periodo de descanso entre temporada reproductiva de un año. Sus nidos varían en forma y tamaño, desde un nido sencillo sobre arena hasta un nido más elaborado con vegetación. Esta especie presenta filopatría, esto es que generalmente volverá a su colonia natal para reproducirse. Esta tendencia es tan fuerte, que un estudio demostró que la distancia media entre el lugar de eclosión del huevo y el lugar donde el ave establece posteriormente su propio territorio es de 22 metros (Fisher, 1976). Generalmente anidan en islas abiertas, de arena o de hierba, sobre todo en la cadena de islas hawaianas. Como muchas otras aves marinas, los albatros siguen la estrategia K en su ciclo vital, es decir, una baja natalidad, compensada por una longevidad relativamente alta, retrasan el momento de procrear e invierten más esfuerzo en menos crías. Son especies de ambientes estables y de ecosistemas de madurez ecológica. Como en el caso de muchas aves marinas, las crías de albatros ganarán bastante peso como para igualar a sus progenitores, con el fin de utilizar estas reservas suplementarias para aumentar su condición corporal (en particular el crecimiento de un plumaje de vuelo adecuado), por lo que empluman con el mismo peso que sus padres. Entre el 15% y el 65% de los que adquieren su plumaje sobreviven para reproducirse (Robertson, 2003).

Los jóvenes no reproductivos se unen a una colonia antes de comenzar a reproducirse, dedicándose durante varios años a practicar los complicados rituales de apareamiento y a los distintivos “bailes” tan conocidos de este grupo (Jouventin *et al.*, 1981).

El dimorfismo sexual en vertebrados es una condición en la cual los sexos (hembras y machos) de la misma especie exhiben diferencias en tamaño, color, marcas, características o incluso comportamiento (Fairbairn *et al.*, 1997; Hedrick y Temeles, 1989; Moore, 1990; Shine, 1989). Estas diferencias pueden ser sutiles o extremas y están sujetas a selección sexual. El dimorfismo sexual en las especies de aves se puede observar en conformación, coloración del plumaje o tamaño corporal, siendo los machos típicamente más grandes y más coloridos, mientras que las hembras son responsables de elegir al macho más apto como pareja reproductiva (Amundsen y Pärn, 2006; Andersson e Iwasa, 1996; Price, 1998; West-Eberhard, 1983). Esto es importante en los sistemas de apareamiento poligínicos, ya que las hembras tienden a seleccionar machos más grandes (Owens y Hartley, 1998; Selander, 1966) que solo aportan material genético durante la copulación y no en el cuidado parental posterior (Clutton-Brock, 1988; Clutton-Brock, 1991; Ketterson y Nolan, 1994; Orians, 1969; Trivers, 1972). Sin embargo, la existencia de dimorfismo sexual puede parecer menos evidente en especies monógamas como se presente en el albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*; Fisher, 1976; Rice y Kenyon, 1962), una especie en la que es difícil detectar el dimorfismo en observaciones de campo y la cual exhibe cuidado biparental, lo que probablemente contribuya a La falta de dimorfismo sexual observado (Whittow, 1993a).

El albatros de Laysan se encuentra principalmente en el Pacífico Central (islas del noroeste de Hawai). Sin embargo, ésta especie colonizó nuevos sitios en el Pacífico oriental en 1983, específicamente en la isla de Guadalupe, la isla de Alijos y el archipiélago de Revillagigedo (las islas de Roca Partida, San Benedicto y Clarión; Hernández-Montoya *et al.*, 2014; Howell y Webb, 1990). Esta expansión del área de reproducción del albatros de Laysan dio lugar a una alta segregación espacial oceánica, reflejada en las diferencias entre las dos poblaciones en cuanto a su hábitat de forrajeo, comportamiento y el éxito reproductivo (Henry, 2011). El albatros de Laysan de las colonias hawaianas se alimenta en aguas frías,

subárticas y en la Zona de Transición del Pacífico Norte (Hyrenbanch *et al.*, 2002), mientras que el albatros de las colonias del Pacífico Oriental se alimenta en el Sistema de la Corriente de California (Henry, 2011). Aunque la segregación espacial se ha documentado en otras especies de albatros, sus hábitats de forrajeo están poco definidos (Kappes *et al.*, 2010; Phalan *et al.*, 2007).

El albatros de Laysan pasa la mayor parte de su tiempo en el Océano Pacífico abierto, que abarcan las aguas tropicales hasta el mar de Bering sur. Su amplia distribución lo convierte en una especie de interés internacional. A nivel internacional se encuentra ubicada bajo el estatus de conservación de la UICN-Lista Roja, como Casi amenazada; mientras que a nivel nacional se considera Amenazada dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

## 2. ANTECEDENTES

La isla oceánica Guadalupe (24,171 ha), de origen volcánico, junto con los islotes Toro, Zapato y Morro Prieto, forman la parte terrestre de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, establecida mediante decreto presidencial en 2005 (DOF 25-04-2005). Con relación a la avifauna, Isla Guadalupe es un sitio de gran importancia en el ciclo reproductivo de diversas especies de aves nativas y endémicas. La isla alberga seis taxa de aves marinas amenazadas: el albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*), el petrel de Leach (*Oceanodroma leucorhoa socorroensis* y *O. l. cheimomnestes*), el mérgulo de Guadalupe (*Synthliboramphus hypoleucus*), la alcuela de Cassin (*Ptychoramphus aleuticus*) y la pardela mexicana (*Puffinus opisthomelas*). Los gatos fueron introducidos a la isla en 1885 (Moran, 1996), estableciendo exitosamente una población feral. A través de los años, los gatos ferales se han convertido en una de las mayores amenazas para la conservación de las aves en la isla (Jehl y Everett, 1985) que incluye la extinción de seis taxa incluyendo el petrel de Guadalupe (*Oceanodroma macrodactyla*), el reyezuelo de Guadalupe (*Regulus calendula obscurus*), el toquí pinto de

Guadalupe (*Pipilo erythrophthalmus consobrinus*) y el carpintero de Guadalupe (*Colaptes auratus rufipileus*) (Barton *et al.*, 2004; Jehl y Everett, 1985; Keitt *et al.*, 2005a).

La isla Guadalupe ha cobrado una importancia adicional por el caso del albatros de Laysan, el cual estableció ahí una colonia reproductiva hace más de tres décadas. Esta especie tiene su centro de distribución en la distante isla de Midway (Hawái), en la mitad del Pacífico. El albatros de Laysan fue observado por primera vez cerca de islas mexicanas a mediados de 1970 (Jennings, 1987; Pitman, 1985). Luego de la colonización espontánea de 1983 (Gallo-Reynoso y Figueroa-Carranza, 1996), la población de albatros ha mostrado un crecimiento sostenido, más aún gracias al control de gato feral.

En la isla principal, la colonia de Punta Sur y Colinas Negras estuvo sujeta a depredación por parte del gato feral, siendo esta la principal causa de la destrucción de nidos y la mortalidad de polluelos. Históricamente, desde la colonización de la isla por el albatros de Laysan en 1983, año con año en las temporadas de anidación tanto adultos como polluelos han sido depredados por gatos ferales. La consecuencia fue la desaparición de esta especie de algunas zonas donde se habían establecido nidos. Por ejemplo, en una zona conocida como “colinas negras” se registraron nidos en 2000 (Pitman *et al.*, 2004), sin embargo en 2003 estos individuos habían sido extirpados, y no fue sino hasta 2007, después de acciones continuas de control de gatos, que se registraron nuevamente nidos en esta zona (Hernández-Montoya *et al.*, 2014). En el año del 2002-2003, durante la temporada reproductiva, los gatos ferales mataron a 35 de los 484 albatros adultos, lo que representó el 7.2% del total de la población reproductiva en la isla Guadalupe, y el 30.2% de la colonia de Punta Sur (Hernández-Montoya *et al.*, 2014). El gato feral fue responsable de la duplicación de la tasa de fracasos de los nidos en Punta Sur. En el 2003, el GECl realizó el control de gatos ferales alrededor de la colonia, eliminando 18 gatos. Así, la mortandad de albatros se redujo y no se observaron otras muertes de adultos

relacionados con los gatos (Keitt *et al.*, 2005b). Desde entonces, se ha continuado con el control de gato feral alrededor de las colonias de albatros de Laysan, con muy buenos resultados debido a la constancia en el control de gatos en isla Guadalupe. Durante los años del 2013 y 2014 se retiraron de la isla a más de 300 gatos ferales (Hernández-Montoya *et al.*, 2014) que definitivamente ponían en grave peligro a las poblaciones de aves nativas y endémicas de la isla.

Sin embargo, a pesar de estas acciones de conservación de las especies anidantes de aves marinas, en particular del albatros de Laysan, no se conoce con exactitud los atributos poblacionales de la especie, así como la ecología poblacional en esta colonia reproductiva.

Hasta ahora no se ha reportado el dimorfismo sexual en albatros de Laysan de la isla Guadalupe. Se ha encontrado que algunas especies del orden Procellariiformes (albatros y petreles) exhiben diversos grados de dimorfismo sexual (Fairbairn y Shine, 1993; Warham, 1990). Algunos ejemplos en donde los machos son más grandes que las hembras y muestran segregación sexual mediante el uso de distintas zonas de forrajeo como el albatros errante (*Diomedea exulans*), el albatros de ceja negra (*Thalassarche melanophris*) y el albatros de cabeza gris (*Thalassarche cristata*) (Phillips *et al.*, 2004; Shaffer, 2001). Las diferencias en ciertos rasgos morfológicos entre los sexos de una especie dada pueden ser de particular importancia ecológica, por ejemplo, una mayor envergadura permite la exploración de áreas distantes (Phillips *et al.*, 2004) y conduce a la utilización diferencial de nichos por machos y hembras (Templeton, 1992). Por lo tanto, las distribuciones de aves marinas en el mar pueden estar influenciadas por factores como la morfología, la competencia basada en el sexo/edad o las condiciones ambientales, que se reflejan en la segregación espacial y temporal de los individuos dentro de las poblaciones o entre diferentes especies (Wearmouth y Sims, 2008).

El albatros de Laysan, como muchas otras especies de aves marinas, se considera un centinela del cambio ambiental (Gardali *et al.*, 2012; Harwani *et al.*, 2011). La distribución en el mar de esta ave marina está influenciada por factores como la circulación oceánica, los patrones del viento, las temperaturas de la superficie del mar, la calidad del hábitat y la disponibilidad de presas (Daunt *et al.*, 2007; Furness y Lasker, 2000; Frederiksen *et al.*, 2008; Kuletz *et al.*, 2014; Kappes *et al.*, 2015; Phillips *et al.*, 2004; Pitman *et al.*, 2004; Weimerskirch *et al.*, 2002). Más específicamente, los albatros de Laysan (*P. immutabilis*) y de patas negras (*P. nigripes*) de las islas hawaianas exhiben diferencias en el tiempo dedicado a la alimentación, las distancias recorridas y la utilización del hábitat durante las distintas etapas reproductivas, las cuales son: (1) período de incubación, donde los padres alternan entre el ayuno mientras incuban el huevo y se alimentan en el mar, (2) el empollamiento, donde las parejas reproductoras alternan entre el ayuno en el nido y la alimentación en el mar y, donde aprovisionan al pollito y (3) la crianza del polluelo, etapa donde las parejas reproductoras se alimentan de forma independiente en el mar y regresan al nido periódicamente para aprovisionar rápidamente al polluelo (Kappes *et al.*, 2015). El tiempo dedicado al forrajeo, las distancias recorridas y los usos de las posibles áreas de alimentación están limitados por los requerimientos de energía de las diferentes etapas reproductivas (Connors *et al.*, 2015; Fernández *et al.*, 2001; Hyrenbach *et al.*, 2002; Kappes *et al.*, 2010). Si se comparan las diferentes etapas reproductivas, se puede observar que los individuos viajan más lejos durante las etapas de incubación y crianza de pollos en comparación con el período que está empollando (Kappes *et al.*, 2015).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Es necesario y prioritario para el conocimiento y conservación del albatros de Laysan en isla Guadalupe, desarrollar acciones de investigación biológica y ecológica básica y con ello sentar las bases para generar las medidas adecuadas

para la conservación y manejo de una población clave de una de las especies de aves marinas más emblemáticas a nivel mundial.

En los últimos años se han desarrollado técnicas moleculares, de vocalización y de comportamiento para identificar el sexo en aves, pero son costosas y requieren un entrenamiento profundo y a largo plazo. Por lo que se hace necesaria una técnica de identificación de sexo que tenga un bajo costo y que reduzca el tiempo de manejo en el campo. Para abordar este desafío, proponemos un modelo de predicción de sexo para el albatros de Laysan basado en mediciones morfométricas y presentamos una aplicación web que predice el sexo utilizando un número mínimo de variables de entrada, la cual podrá utilizarse en áreas remotas. Comprender el dimorfismo sexual en el albatros de Laysan en la isla de Guadalupe, así como abordar la complejidad involucrada en la evaluación de los rasgos morfológicos, fisiológicos y de comportamiento de esta especie, es esencial para futuras evaluaciones de la biología y la dinámica de la población de esta ave marina en riesgo (Alarcón *et al.*, 2017; Nebel y Thomposn, 2011). Así mismo, es importante documentar la segregación sexual en especies con dimorfismo sutil en ambientes marinos, donde es difícil identificar los sexos basándonos en los rasgos morfológicos. Además, el reconocimiento de la segregación sexual, que difiere entre las posibles áreas de alimentación en las especies en riesgo, puede contribuir a la evaluación precisa de las áreas de distribución y a mejorar los esfuerzos de conservación.

#### **4. HIPÓTESIS**

H1. La población de albatros de Laysan en Isla Guadalupe está creciendo, la inmigración es el proceso ecológico que está interviniendo para favorecer el incremento poblacional.

H2. Existe dimorfismo sexual en el albatros de Laysan de isla Guadalupe, siendo los machos más grandes que las hembras. Las variables que mayormente reflejan el dimorfismo son la longitud y ancho de cráneo y la longitud de pico, siendo más grandes en los machos.

H3. Las áreas de forrajeo de los albatros de Laysan que se reproducen en Isla Guadalupe, se encuentran al noreste de la isla, asociadas a las zonas de alta productividad de la corriente de California. Los machos recorren distancias más lejanas en sus viajes de forrajeo en comparación con las hembras.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Analizar la ecología poblacional del albatros de Laysan en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe y con base a los resultados generar medidas de manejo para su conservación.

### **5.2 Objetivos particulares**

- Estimar los atributos poblacionales: número de individuos reproductivos, tasa de natalidad, cuidado parental, migración, éxito reproductivo, proporción sexual y tendencia poblacional.
- Identificar la distribución de las zonas de anidación durante la temporada reproductiva 2008 a 2018.
- Evaluar la existencia de dimorfismo sexual en el albatros de Laysan en la Isla Guadalupe.
- Determinar qué características morfológicas presentan el mayor grado de diferenciación entre machos y hembras.

- Crear un programa informático / aplicación (App) para predecir con precisión el sexo de los individuos albatros de Laysan con un número mínimo de variables morfológicas de entrada.
- Identificar las zonas de forrajeo marino en adultos reproductivos mediante el uso de GPS.
- Determinar si existen diferencias en las distancias recorridas entre machos y hembras durante la temporada de reproducción.
- Identificar y evaluar las amenazas que se presentan para esta población y generar las medidas de manejo requeridas para garantizar la conservación de las colonias reproductivas de albatros de Laysan en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe, México.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se llevó a cabo en Isla Guadalupe con los permisos otorgados por las siguientes agencias del Gobierno Federal: Secretaría de Gobernación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Además, las actividades de investigación se desarrollaron bajo los permisos otorgados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para coleccionar material biológico de especies silvestres de flora y fauna y otros recursos biológicos en el territorio nacional de México. Con números de oficio: SGPA/DGVS/01411/12 de fecha 15 de febrero de 2012; SGPA/DGVS/00232/13 de fecha 16 de enero de 2013; SGPA/DGVS/01190/14 de fecha 14 de febrero de 2014; SGPA/DGVS/02918/15 de fecha 18 de marzo de 2015; SGPA/DGVS/01752/16 de fecha 25 de febrero de 2016; SGPA/DGVS/03625/17 de fecha 08 de mayo de 2017; SGPA/DGVS/000654/18 de fecha 30 de enero de 2018. Ningún albatros fue dañado durante este experimento.

El período de monitoreo para esta investigación se realizó durante la temporada reproductiva y el período de anidación del albatros de Laysan en la isla Guadalupe

el cual es sincrónico con aquel de las islas de Hawái. El arribo y cortejo de adultos reproductivos comienza a mediados de noviembre, la puesta de huevos es de noviembre a mediados de diciembre, los huevos eclosionan a finales de enero y principios de febrero, y las crías empluman a mediados de junio, mismo mes en el que los adultos abandonan la isla, los volantones abandonan la isla a finales de junio y durante el mes de julio y primeros días de agosto (Gallo-Reynoso *et al.*, 1996; Hernández-Montoya *et al.*, 2014; Keitt *et al.*, 2005a), esta temporada incluyó las etapas de incubación, empollamiento y crianza de pollos.

Durante este periodo se llevó a cabo el monitoreo de la colonia reproductiva, el cual incluye el proceso reproductivo (cuantificación de parejas reproductivas, nidos, huevos, nacimientos y juveniles que emigran de la isla), demográfico (éxito reproductivo, reclutamiento, sobrevivencia y tasa de crecimiento poblacional) y ecológico (dinámica poblacional, disturbios, competencia y depredación), asimismo, la evaluación de las amenazas (especies de fauna exótica y actividades antropogénicas) y las estrategias de conservación y restauración para la colonia reproductiva. Para la obtención de la información antes mencionada se identificaron con anillos todos y cada uno de los individuos de la población reproductiva y las crías a los 3 meses de nacido, durante las temporadas de anidación 2009 a 2018; se ubicaron y registraron en mapas todos los nidos presentes en la isla e islotes desde 2013 al 2018, y se dio seguimiento a las actividades reproductivas durante las temporadas de estancia en la isla.

La colocación y recuperación de los dispositivos de geolocalización (GPS) se llevó a cabo al mismo tiempo de la colecta de muestras de sangre y medición morfométrica, estos individuos fueron monitoreados durante las temporadas reproductivas desde el año 2014 hasta el 2018. Los individuos fueron seleccionadas en función de su éxito reproductivo de temporadas anteriores y el grado de accesibilidad a sus nidos para facilitar el monitoreo durante la temporada de reproducción.

Para la estimación de la población de albatros de Laysan, su éxito reproductivo y supervivencia en la isla, se siguió la metodología que a continuación se enlista:

### **6.1 Atributos poblacionales**

- Anillamiento de adultos reproductivos y volantones. A adultos reproductivos y a los volantones se les colocaron dos tipos de anillos (Fig. 2), uno de plástico y otro metálico, ambos cuentan con numeración única para permitir llevar a cabo el monitoreo a largo plazo de cada individuo. El anillo tiene un número consecutivo de registro, la numeración consta de tres dígitos alfanuméricos que distinguen a adultos de volantones según la posición del código alfabético. El color de los anillos de plástico indica la colonia reproductiva (el anaranjado el color para la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe), el color de la numeración y letras de cada anillo indica la subcolonia reproductiva, (el color negro para Punta Sur, azul para el islote Zapato y blanco para islote Morro Prieto). Esta información nutre el análisis de natalidad, éxito reproductivo y sobrevivencia de los individuos de cada subcolonia.
- Identificación de individuos no reproductivos. Con base a la numeración correspondiente de los anillos en los adultos, se logran identificar la mayoría de las parejas por nido en las diferentes colonias. Por otro lado, mediante la observación del comportamiento y falta del establecimiento de un nido se identifican aquellos individuos que no son reproductivos en esa temporada.
- Identificación de individuos solteros. Mediante la observación del comportamiento y distribución de los individuos en la colonia de anidación se identificaron aquellos que no son reproductivos en esa temporada.
- Registro del historial de gestación por nido. Se lleva a cabo un registro del estatus de los nidos durante las visitas a las colonias. Se toman datos como estado del huevo, estado del pollo, fotografías, etc. Esta información nutre el análisis de natalidad, éxito reproductivo y supervivencia de la especie.

- Anillamiento de pollos en las colonias reproductivas. Esta información nutre el análisis de natalidad, éxito reproductivo y supervivencia de la especie.



**Figura 2.** Marcaje con anillos a individuo adulto reproductivo.

### 6.1.1 Éxito reproductivo

El éxito de eclosión de la población del albatros de Laysan, se estima con la relación de crías (pollos) recién nacidos en la temporada reproductiva con relación al número total de nidos o huevos puestos en la temporada. Aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Éxito de eclosión (\%)} = \left( \frac{\text{Total de crías nacidas}}{\text{Total de nidos por temporada}} \right) * 100 \quad (1)$$

El éxito de vuelo de la población del albatros de Laysan, se estima con la relación de crías (pollos) recién nacidos en la temporada reproductiva con relación al

número de crías (volantones) sobrevivientes al final de la temporada reproductiva  
Aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Éxito de vuelo (\%)} = \left( \frac{\text{Total de crías nacidas}}{\text{Total de volantones}} \right) * 100 \quad (2)$$

El éxito reproductivo de la población del albatros de Laysan, se estima con la relación de crías (volantones) sobrevivientes al final de la temporada reproductiva con relación al número de nidos o huevos puestos. Aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Éxito Reproductivo (\%)} = \left( \frac{\text{Total de volantones}}{\text{Total de nidos por temporada}} \right) * 100 \quad (3)$$

## 6.2 Distribución en zonas de anidación

Para conocer la distribución de los nidos en la RBIG, se realizaron búsquedas exhaustivas, ubicación y marcaje del total de nidos en la Isla principal, islote Morro Prieto e islote el Zapato por medio de múltiples visitas durante los meses de noviembre a febrero de los años 2008 a 2019. Las búsquedas se llevaron a cabo en sitios históricos y potenciales de anidación en isla e islotes. Se contabilizaron, registraron y georreferenciaron cada uno de los nidos con huevo o polluelo. Para una mejor identificación, se marcaron con estacas de madera enumeradas consecutivamente los nidos (Fig.3).



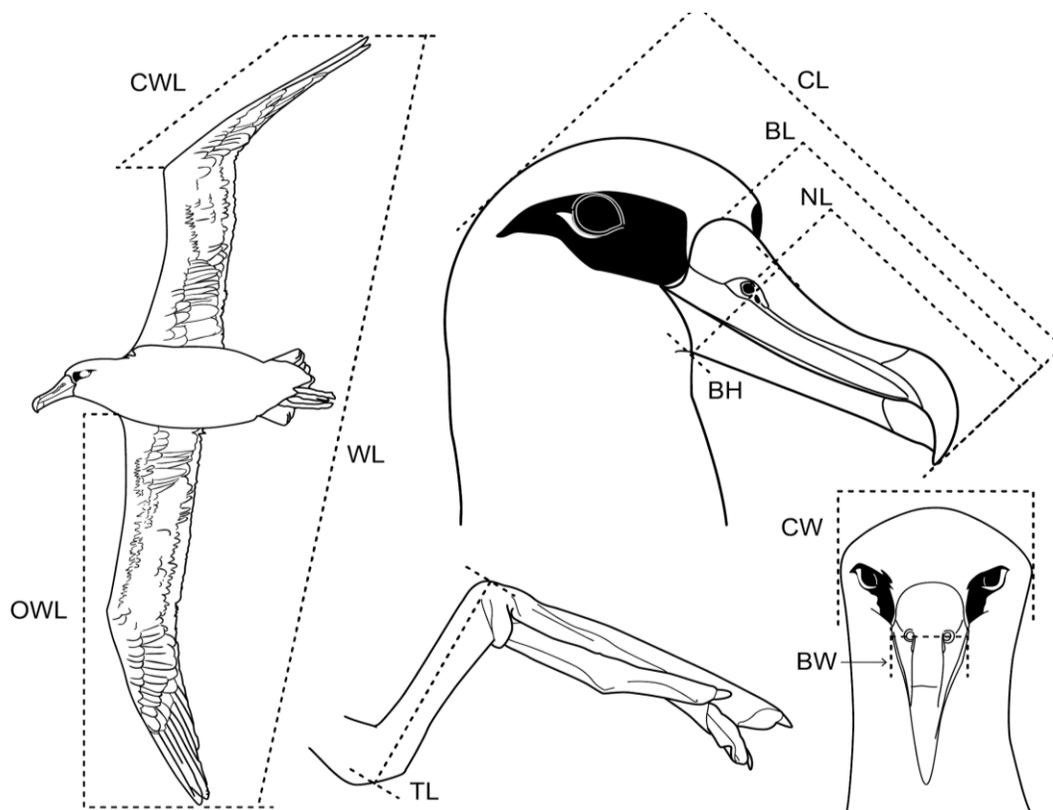
**Figura 3.** Marcaje de nidos en islote Zapato.

### 6.3 Dimorfismo sexual

Se colectaron muestras de sangre de 135 albatros de Laysan durante cuatro años consecutivos ( $n = 30$  para 2015,  $n = 66$  para 2016,  $n = 9$  para 2017 y  $n = 30$  para 2018). Las muestras de la vena del tarso ( $\sim 30 \mu\text{L}$ ) a través de dispositivos de punción de un solo uso y se colocaron directamente en papel de filtro de celulosa FTA® (Flinders Technology Associates®, Whatman, Inc., New Jersey, EE. UU.) (Lewis, *et al.*, 2002; Young, *et al.*, 2008.). Las muestras de sangre se dejaron secar durante 2 h en condiciones ambientales y luego se almacenaron para su envío en bolsas desecadas. Posteriormente, se determinó el sexo de 135 albatros de Laysan utilizando la siguiente técnica genética: el ADN total se extrajo de las muestras de sangre seca en tarjetas FTA utilizando un protocolo de extracción de sal (Aljanabi y Martinez, 1997). El ADN extraído se almacenó a  $-20^\circ \text{C}$  hasta que se realizó el análisis de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los cebadores 2550F (5' GTTACTGATTTCGTCTACGAGA 3') y 2718R

(5' ATTGAAATGATCCAGTGCTTG 3'). Todas las muestras se analizaron en gel de agarosa al 1,5% y se verificaron en busca de bandas simples (machos) o dobles (hembras) (Fridolfsson y Ellegren, 1999). Los análisis moleculares se realizaron en el Laboratorio de Ecología Molecular de la Universidad Autónoma de Baja California en Ensenada, Baja California, México.

Se midieron 10 variables morfológicas en adultos de albatros de Laysan: Longitud del cráneo (CL), longitud del pico (BL), longitud de la narina (NL), ancho del cráneo (CW), altura del pico (BH), anchura del pico (BW), longitud del tarso (TL), longitud de ala cerrada (CWL), longitud de ala abierta (OWL) y longitud de la envergadura (WL) utilizando calibradores Vernier con una precisión de  $\pm 0.1$  mm (Figs. 4 y 5) (Cuthbert, *et al.*, 2003; González-Solís, 2004). Todas las mediciones fueron tomadas por la misma persona cada año durante las temporadas de reproducción 2015-2018. También medimos la masa corporal con una báscula digital de bolsillo Pesola MS500 (precisión:  $\pm 0.1$  g), aunque esta variable no se incluyó en todos los análisis. Los albatros se manipularon durante períodos cortos (5–8 min) para minimizar el estrés.



**Figura 4.** Diagrama de las medidas morfológicas tomadas de individuos reproductores de albatros de Laysan.



**Figura 5.** Toma de medidas morfométricas de a adulto de albatros de Laysan en Isla Guadalupe durante la temporada 2018.

### 6.3.1 Análisis estadístico

Para evaluar el dimorfismo sexual en el albatros de Laysan de isla Guadalupe, se compararon todas las mediciones morfológicas entre los sexos utilizando la prueba T de Student para muestras independientes. Todas las variables morfológicas se distribuyeron normalmente ( $p > 0.05$ , prueba Shapiro-Wilk). También verificamos la homoscedasticidad del conjunto de datos (homogeneidad de la varianza entre y dentro de las muestras) utilizando la prueba de Levene antes de realizar cada análisis. La masa corporal fue la única variable que no cumplió con el supuesto de homoscedasticidad ( $p = 0,008$ ). Como tal, eliminamos esta variable en todos los análisis posteriores. Los resultados se pueden observar en la figura 20, en donde los diagramas de caja y bigotes muestran un resumen de cada medición: el valor mínimo, el segundo cuartil, el valor de la mediana, el tercer cuartil y el valor máximo. También se obtuvo los valores medios ( $\bar{x}$ ), las desviaciones estándar (SD) y los coeficientes de variación (CV). Para caracterizar la variabilidad general de las variables morfológicas, se realizaron un Análisis de Componentes Principales (ACP) después de transformar los datos para asegurar escalas comparables con la ecuación:

$$x = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete R studio 3.0.1 (R Development Core Team, 2009).

Se utilizó un modelo logístico para estimar la probabilidad de que un albatros individual sea macho o hembra en función de los valores de ocho características morfológicas (se eliminaron la longitud de la narina y la longitud del ala cerrada debido a su similitud con la longitud del pico y la longitud de la ala abierta, respectivamente). El modelo logístico se creó mediante una regresión por pasos, que es un proceso semiautomático de construcción de un modelo mediante la

adición y eliminación sucesiva de variables, combinando técnicas de selección hacia adelante y hacia atrás (Nau, 2019). La regresión escalonada comienza con un modelo que no contiene predictores, seguido de la adición y eliminación sucesivas de predictores únicos al modelo para encontrar un modelo bajo el criterio de información Akaike. Para crear el modelo, se seleccionaron aleatoriamente 108 (80%) observaciones como muestra de entrenamiento y se utilizaron 27 observaciones restantes (20%) como muestra de validación. Se usó la muestra de entrenamiento para ajustar el modelo. El modelo ajustado se aplicó a la muestra de validación y se evaluó el rendimiento del modelo. Se utilizó una curva de característica operativa del receptor (por su acrónimo en inglés *ROC*, *Receiver Operating Characteristic*) para calcular el umbral con el que se interpretó la salida del modelo. Los individuos cuyos valores de atributos morfológicos se encontraban por encima del umbral se consideraron machos y los que estuvieron por debajo de ellos se consideraron hembras (Fig. 6). El modelo siguió estas ecuaciones:

$$\frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (5)$$

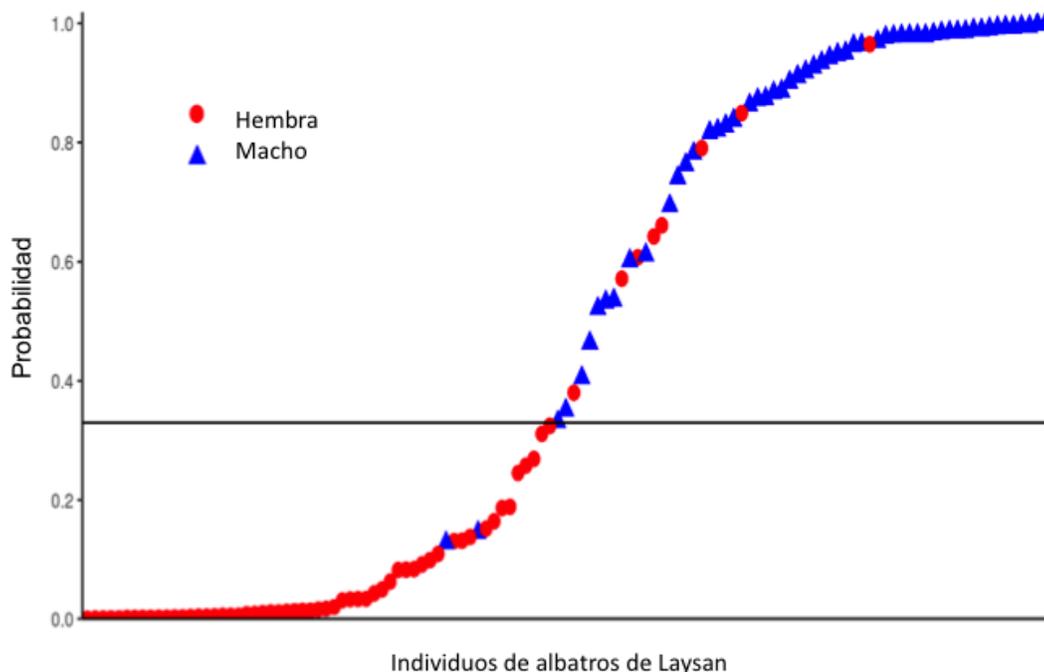
Donde  $z$  es:

$$z = \sum_{i=0}^n \beta_i \psi_i \quad (6)$$

$$\psi_i = N_i x_i \quad (7)$$

$$N_i(x_i) = \frac{x_i}{\max(x) - \min(x)} \quad (8)$$

Donde  $\beta_i$  es un coeficiente/parámetro,  $N_i$  es la función normalizadora, y  $x_i$  es el atributo morfológico.



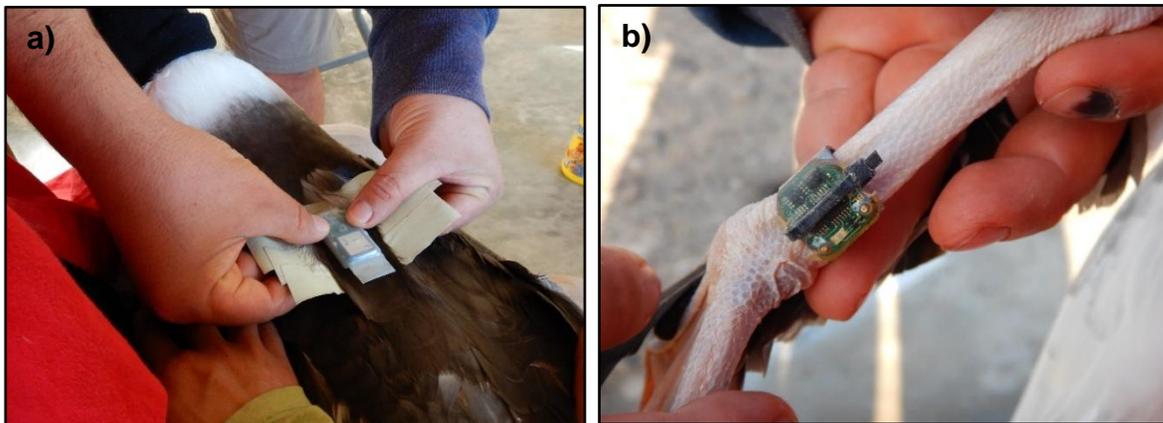
**Figura 6.** Modelo logístico de predicción de sexo basado en datos morfométricos (las hembras se muestran en círculos rojos y los machos se muestran en triángulos azules). La línea negra es el umbral definido por la curva de característica operativa del receptor (ROC), el cual seleccionó quienes serían machos y hembras. El sexo de los individuos de albatros se predijo con éxito en más del 90% de los casos.

#### 6.4 Zonas de alimentación o forrajeo en mar

Se colocaron los dispositivos de geolocalización GPS (2014-2016: modelo GiSPy-4SB, Roma, Italia; 2017-2018: modelo i-gotu, Taipei, Taiwán) para rastrear 36 albatros de Laysan ( $n = 14$  machos, y  $n = 22$  hembras) de 2014-2018. El peso de cada dispositivo GPS fue de 15 a 21 g. Los registradores GPS se unieron a las plumas traseras de individuos de albatros con la cinta Tesa® (No. 4651, Tesa AG, Hamburgo, Alemania) (Kappes *et al.*, 2010; Phillips, *et al.*, 2003). Los GPS se programaron para registrar simultáneamente la posición y la velocidad del albatros cada 20 minutos, lo que permitió grabar de forma continua durante 12 a 15 días (modelo i-gotu) o 60 a 70 días (modelo GiSPy4SB) con esta configuración. El

período de monitoreo GPS se llevó a cabo durante la temporada de reproducción, incluidas las etapas de incubación, empollamiento y crianza de pollos. El GPS se instaló en las aves del 20 de enero al 20 de abril de 2014, del 13 de diciembre al 24 de marzo de 2015, del 25 de febrero al 17 de abril de 2016, del 15 de febrero al 16 de marzo de 2017, del 18 de enero al 10 de febrero de 2018 y del 15 de febrero al 14 de junio del 2019.

Para conocer los hábitos migratorios y zonas de distribución en temporada no reproductiva del albatros de Laysan que anida en isla Guadalupe, se instalaron un total 35 dispositivos de geo-posicionamiento GLS a individuos reproductivos que anidaron en las temporadas 2016, 2017 y 2018 (Fig. 7). De los 35 dispositivos GLS instalados se recuperaron 24 GLS, por lo menos un año después de su instalación, de los cuales se ha podido recuperar información de 20 de ellos. También se colocaron 8 instrumentos GLS en volantones en el año 2016 con el objetivo de obtener información de la distribución en etapa juvenil y no reproductiva, durante esta etapa que puede durar de 3 a 4 años los individuos pasan todo el tiempo en mar sin visitar las colonias reproductivas, estos dispositivos se pretende recuperarlos a partir del año 2020.



**Figura 7.** Instalación de dispositivos de geoposicionamiento. a) Colocación de GPS en el dorso y b) colocación de GLS en el tarso de albatros de Laysan.

#### 6.4.1 Procesamiento de datos

Para definir cada viaje, se filtraron los datos para eliminar los viajes de los residentes (viajes con distancias por debajo del umbral establecido de 60 km) alrededor de la colonia y se eliminaron los viajes de corta distancia (Kotzerka, *et al.*, 2010). No se les realizó interpolación a los datos para suavizarlos. Para cada viaje, se calculó la distancia máxima de viaje (la distancia más lejana registrada desde el punto de origen en la colonia de Isla Guadalupe, 28.85 ° N, 118.2833 ° W) y la longitud del viaje (la distancia total recorrida, es decir, la suma de la distancia entre puntos contiguos). Se filtraron los puntos de datos no confiables, que se atribuyeron al fallo de la etiqueta y solo se incluyeron aquellos puntos de datos con longitudes superiores a 0 ° W. Para evitar el sesgo que podría surgir de la contribución potencial de los viajes múltiples de cada albatros rastreado individualmente, se trató al individuo como un efecto aleatorio en los análisis estadísticos. Para definir las áreas de forrajeo, se utilizó la densidad kernel. El 50% del contorno de la densidad de la trayectoria se asoció con las áreas de forrajeo de aves marinas (Hyrenbach *et al.*, 2002; Worton, 1989; Wood, *et al.*, 2000). Se calculó la densidad del kernel de la trayectoria utilizando la función Kernel Density del paquete `sklearn.neighbors` con un ancho de banda de 0.005 y un tamaño de celda de 100 x100 utilizando métricas de haversine.

Para probar las diferencias en la duración del viaje y la distancia máxima de viaje entre hembras y machos, se utilizó un modelo GLMM (Modelo Lineal Generalizado Mixto), donde el año (variabilidad interanual) y el individuo se trataron como un factor aleatorio.

### 6.5 Evaluación de amenazas

Con base en los resultados de sobrevivencia y éxito reproductivo se identificaron y registraron las principales causas de mortalidad en los individuos de albatros de

Laysan adultos y crías. Durante los últimos 11 años se han registrado la causa de muerte tanto natural como anómala presente en la colonia reproductiva de Isla Guadalupe y sus islotes. Para identificar algunas de las causas de muerte se realizaron necropsias a individuos en cuyos casos la muerte no fue evidente por cuestiones de depredación o fenómenos ambientales extremos.

## **6.6 Conservación y restauración**

Con base a los resultados obtenidos, se estructuró una propuesta para la implementación de medidas de manejo y acciones de conservación del albatros de Laysan en Isla Guadalupe. Dicho documento se pondrá a disposición de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), para su uso e incorporación al Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe.

## 7. RESULTADOS

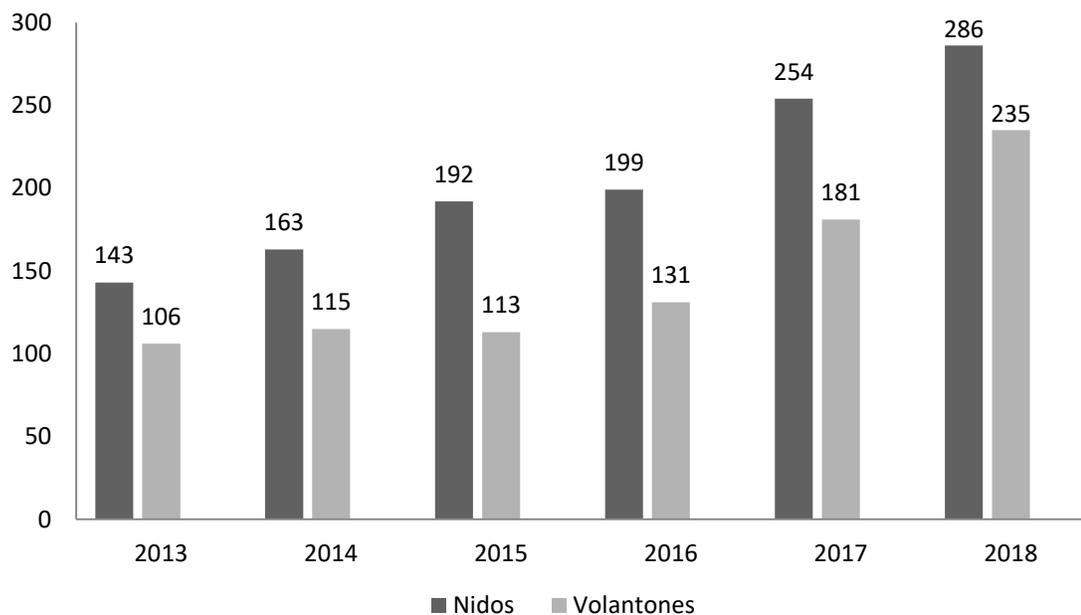
### 7.1 Atributos poblacionales

Como parte del presente proyecto para la estimación del tamaño poblacional y el éxito reproductivo de esta especie, se registró la cantidad total de nidos, huevos y polluelos nacidos y sobrevivientes al final de cada temporada. Actualmente se tiene registro de 11 años consecutivos de datos de la isla principal y 7 años de islotes Morro Prieto y Zapato.

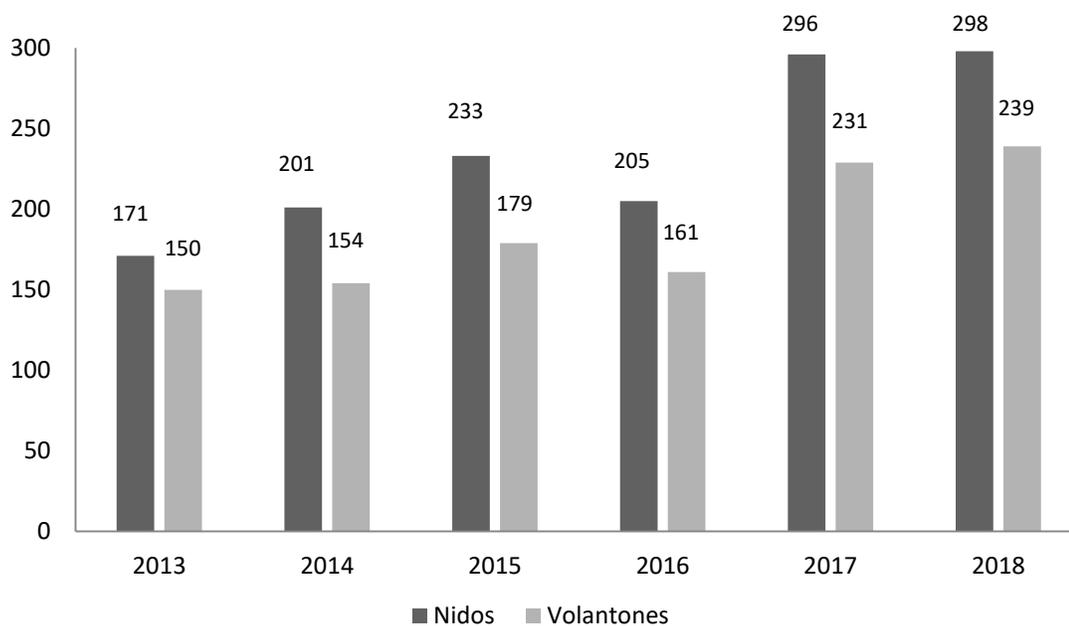
#### 7.1.1 *Tamaño poblacional*

En el año 2019 registramos en las tres colonias de albatros de Laysan un total de 2,418 parejas reproductivas (de los cuales 377 individuos se anillaron este año), 812 adultos solteros o reproductivos de otros años (anillados en otros años como pollos o adultos) y 274 individuos que aún no han sido reproductivos como adultos sin anillar (ASA) generalmente inmigrantes a la colonia y adultos con anillo metálico (ACM) generalmente anillados como pollo, es decir, la colonia estuvo conformada por un total de 3,504 individuos adultos.

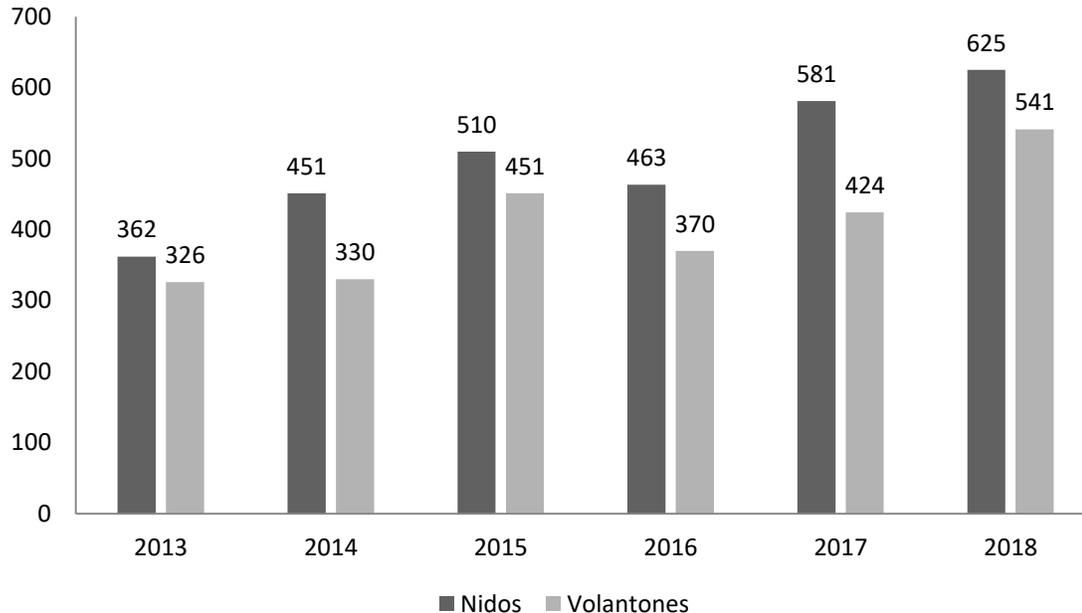
Con respecto a los polluelos en la temporada 2018, se registraron un total de 1,035 en las tres colonias reproductivas, de los cuales se anillaron 1,025 y se lograron un total de 1,015 volantones. En las figuras 8, 9 y 10 se puede observar desglosado el número de nidos registrados y el número de volantones exitosos por colonia durante 6 años consecutivos.



**Figura 8.** Número de nidos y de volantones durante las temporadas reproductivas de albatros de Laysan en 2013 a 2018 en Punta Sur.



**Figura 9.** Número de nidos y de volantones durante las temporadas reproductivas de albatros de Laysan en 2013 a 2018 en Morro Prieto.



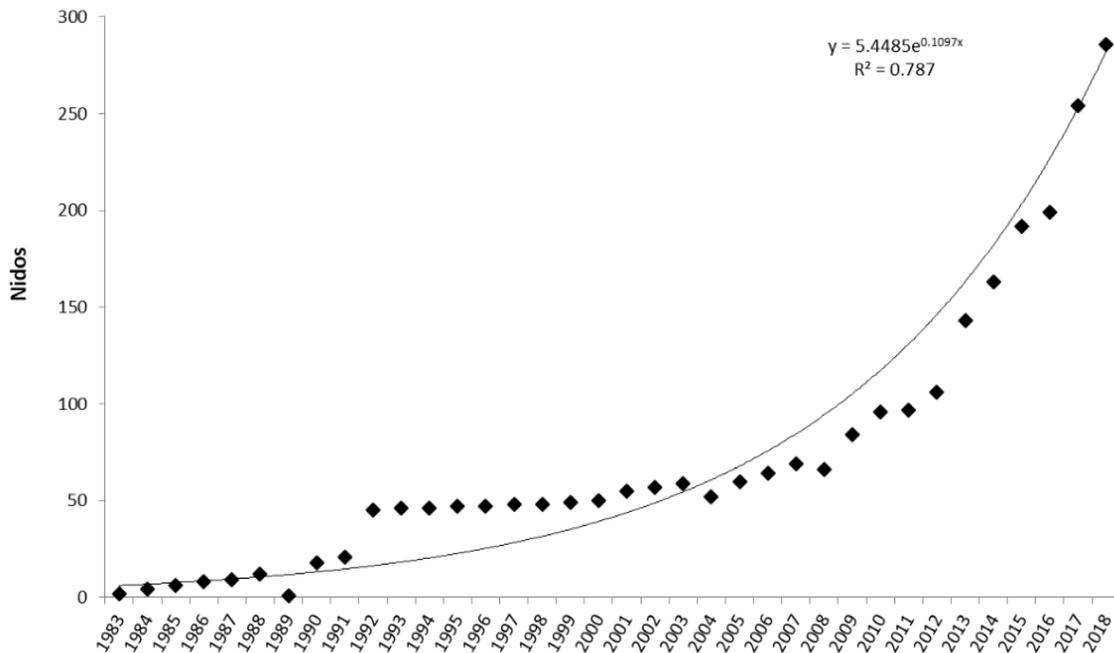
**Figura 10.** Número de nidos y de volantones durante las temporadas reproductivas de albatros de Laysan en 2013 a 2018 en Zapato.

Estos datos nos permitirán evaluar la sobrevivencia de los volantones o juveniles al cabo de algunos años. Los volantones al abandonar la isla se internan al océano por periodos de 3 a 4 años, hasta que alcanzan una madures reproductiva y regresan a tierra (zonas reproductivas y de anidación), continuaran visitando la isla por 2 o 3 años, antes de alcanzar la madures social para poder aparearse, aun después de este periodo es probable que sus primeras puesta de huevo no sean exitosas debido a la inexperiencia en el cuidado al incubar. Esta especie presenta una fuerte tendencia a la filopatría. Sin embargo hemos documentados procesos de inmigración en individuos provenientes de otras colonias reproductivas de las islas de Hawái.

Como se observa en las figuras anteriores hay una tendencia positiva, cada año hay mayor número de nidos registrados, esto nos indica que la isla cuenta con las condiciones adecuadas para que la especie continúe reproduciéndose. Sin embargo, observamos un ligero decaimiento en el número de nidos durante el año

2016 ya que se presentó año Niño y las condiciones climatológicas tuvieron un impacto negativo especialmente reflejadas en las colonias de Morro Prieto y el Zapato.

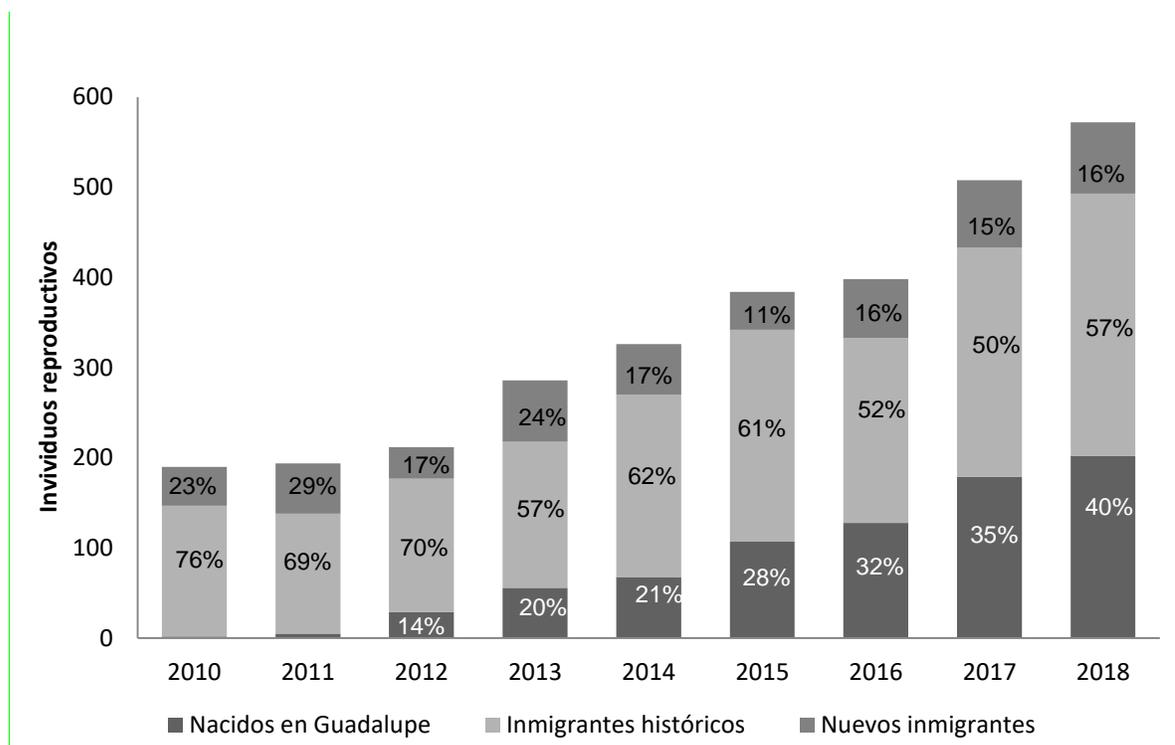
Debido a los antecedentes que se han presentado de depredación de albatros de Laysan por el gato feral en Punta Sur, hemos evaluado el crecimiento de la especie en los últimos 36 años con el fin de conocer el estatus de la población. En la figura 11 se observa un crecimiento exponencial, esta tendencia puede ser asociada a las acciones de restauración llevadas a cabo por el Grupo de Ecología y Conservación de Islas (GECI) que a partir del 2003 iniciaron el control poblacional del gato feral y en el 2014 la instalación del cerco exclusor de gatos (Hernández-Montoya *et al.*, 2014) para que el área quedara totalmente libre de estos depredadores, lo que ha beneficiado en el incremento de la colonia reproductiva en los últimos años. Así como a una aparente inmigración de adultos reproductivos.



**Figura 11.** Tendencia poblacional de albatros de Laysan en la colonia reproductiva de Punta Sur, Isla Guadalupe, durante el período 1983-2018. Modificado de Hernández-Montoya *et al.* (2014).

Este incremento está relacionado a la disminución en la depredación de albatros por gatos ferales, es evidente una expansión de la población original ubicada en el archipiélago de Hawái, donde las condiciones ambientales, oceanográficas, de contaminación y actividades antropogénicas cada vez son más hostiles para la reproducción de esta especie.

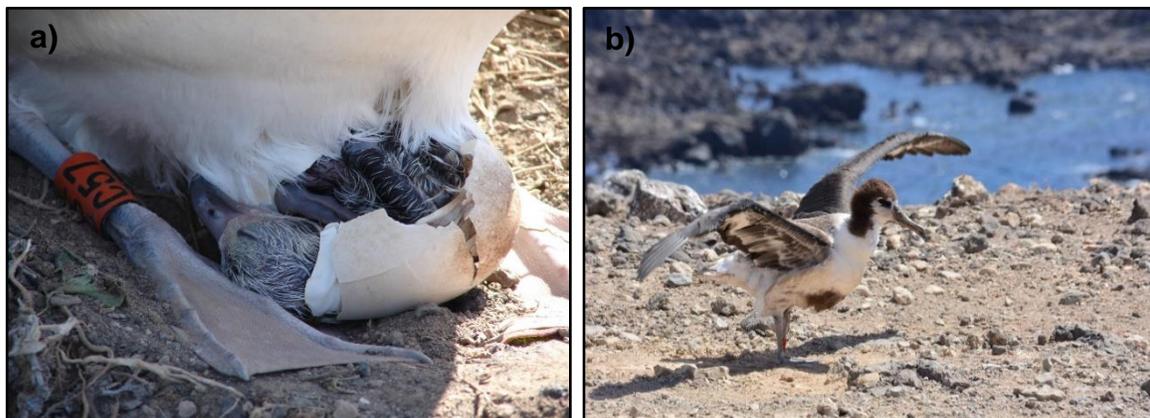
Gracias al monitoreo continuo y sistemático en la identificación de cada uno de los individuos reproductivos de la colonia, se logró identificar el origen y la estructura de la población de Isla Guadalupe. Cada año se anillaron a todos los adultos reproductivos y a los volantones sobrevivientes hasta el final de la temporada, de esta manera se registraron cada año las nuevas incorporaciones a la isla (Fig. 12): tanto de los volantones que regresan varios años después de haber dejado el lugar de nacimiento (Nacidos en Guadalupe); los adultos sin anillo de Guadalupe y que nunca se han reproducido en esta isla, estos individuos nacieron en otra isla y es altamente probable que sean originarios de Hawái (Nuevos inmigrantes); así como, los adultos reproductivos que en años anteriores han anidado en la isla, los cuales fueron anillados y son registrados cada año que visitan la isla ya sea para reproducirse o no (Inmigrantes Históricos).



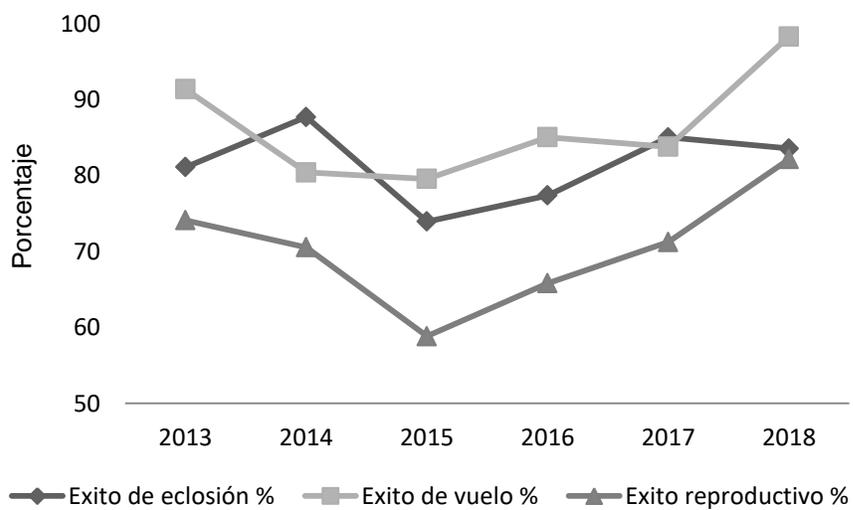
**Figura 12.** Origen y estructura de la población reproductiva de Isla Guadalupe.

### 7.1.2 Éxito reproductivo

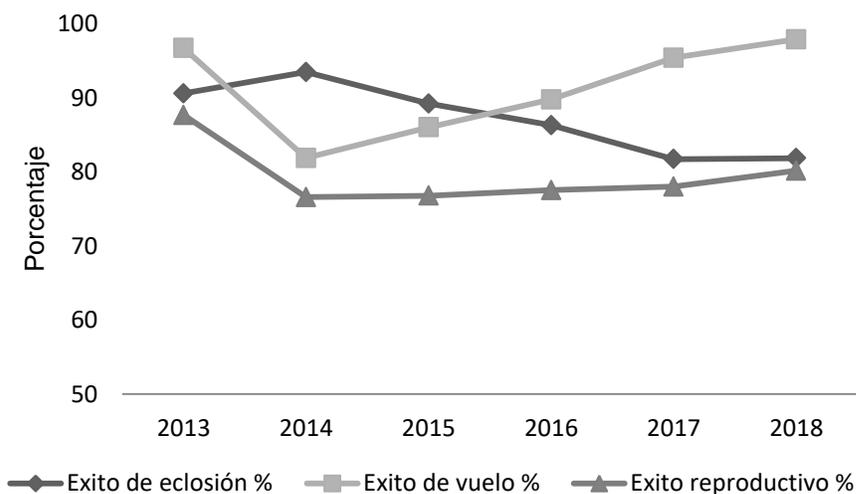
Se presentan tres resultados de éxito reproductivo: (a) Éxito de eclosión, el cual representa la relación en porcentaje de polluelos nacidos con relación al número de nidos en la temporada; (b) Éxito de vuelo, el cual representa la relación en porcentaje de polluelos nacidos con relación al número de volantones en la temporada; y Éxito reproductivo, que representa la relación en porcentaje de volantones y el número de nidos en la temporada (Figs. 13 - 16).



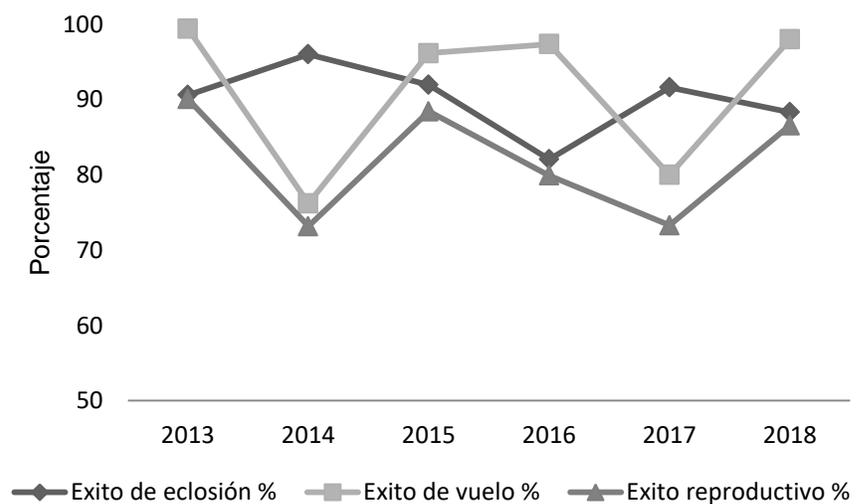
**Figura 13.** Individuos de albatros de Laysan, a) pollo recién nacido (izquierda) y b) volantón (derecha).



**Figura 14.** Éxito reproductivo de la población de albatros en la isla Principal del año 2013 al 2018.



**Figura 15.** Éxito reproductivo de la población de albatros en islote Morro Prieto del año 2013 al 2018.

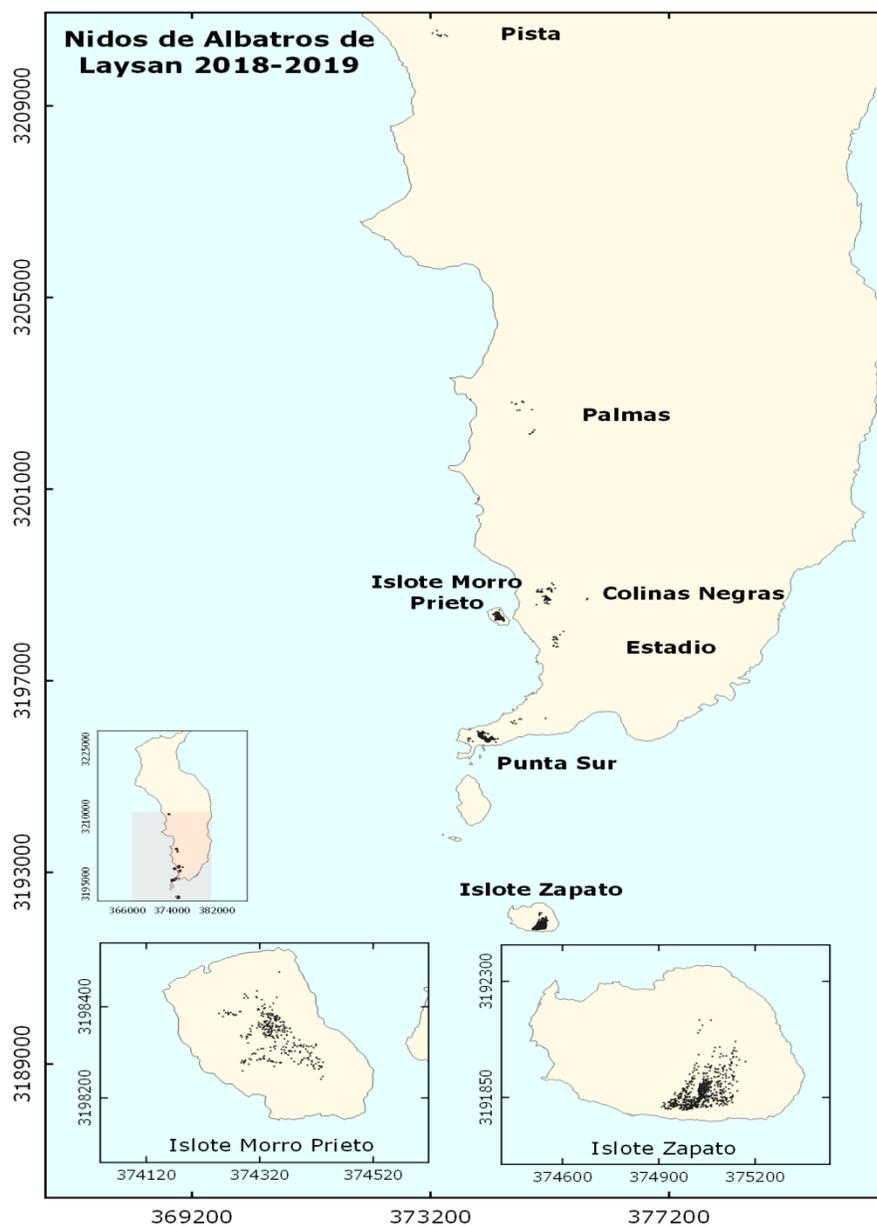


**Figura 16.** Éxito reproductivo de la población de albatros en islote Zapato del año 2013 al 2018.

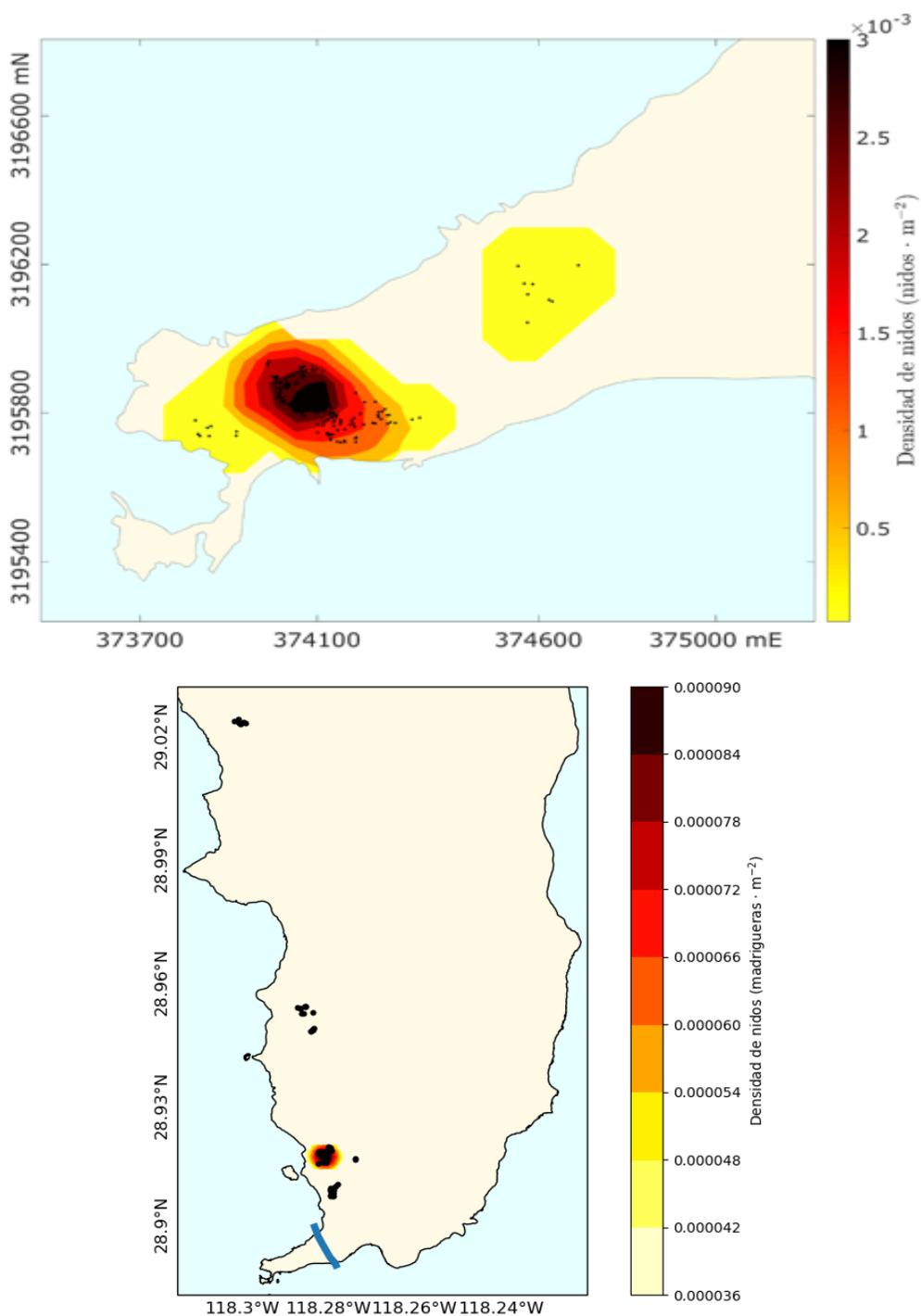
## 7.2 Distribución en zonas de anidación

Se lograron identificar todos y cada uno de los nidos de albatros de Laysan en las distintas localidades en la Reserva de la Biosfera Isla Guadalupe. La distribución

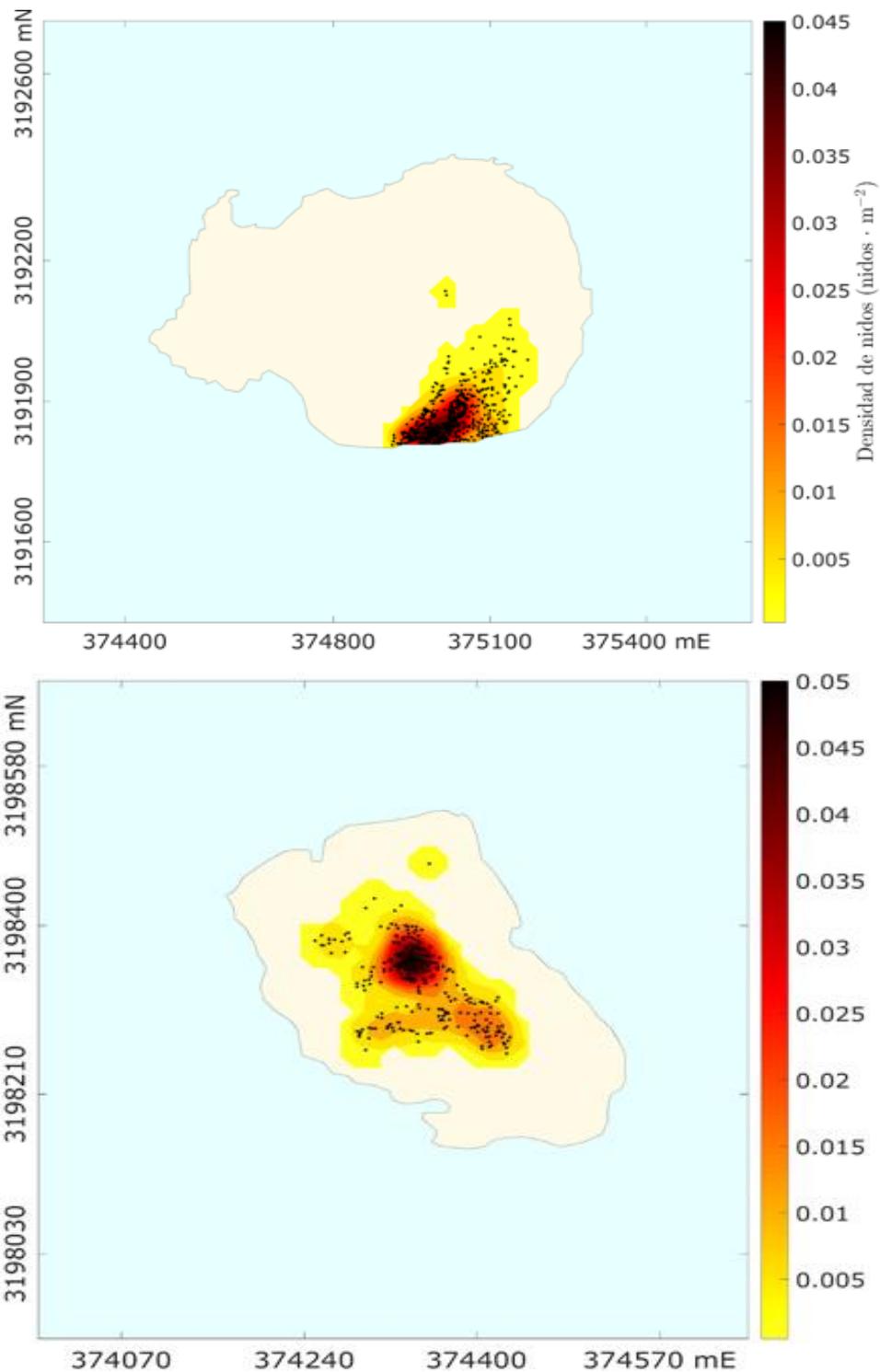
de los nidos de albatros de Laysan en la RBIG se ubica en Punta Sur (la parte sur de la isla) y en los dos islotes. En las figuras 17, 18 y 19 se muestran cada uno de los nidos (puntos grises).



**Figura 17.** Ubicación de las tres subcolonias de anidación de albatros de Laysan en Isla Guadalupe: Punta Sur, Islote Zapato e Islote Morro Prieto. Los puntos indican los nidos en cada una de estas subcolonias.



**Figura 18.** Densidad de nidos de albatros de Laysan en Isla Guadalupe: Localidad Punta Sur, al interior del cerco exclusor de gatos (arriba) y Localidades Colinas Negras, Estadio, Palmas y Pista, fuera del cerco exclusor de gatos (abajo).



**Figura 19.** Densidad de nidos de albatros de Laysan en las subcolonias reproductivas Islot Zapato (arriba) e Islot Morro Prieto (abajo).

### 7.3 Dimorfismo sexual

#### 7.3.1 Dimorfismo morfológico

Los machos fueron significativamente más grandes que las hembras en todos los rasgos morfológicos (prueba t de Student,  $p < 0,05$ ). Las variables morfológicas que presentaron las mayores diferencias fueron la longitud del cráneo (Fig. 20a), la longitud del pico (Fig. 20b), la longitud de la narina (Fig. 20c), la altura del pico (Fig. 20f) y la longitud del tarso (Fig. 20g). Las hembras presentaron un alto coeficiente de variación para la mayoría de los rasgos morfológicos, en contraste con los machos que mostraron una mayor homogeneidad de varianza. Si bien la masa corporal no se consideró en los análisis de dimorfismo sexual, los machos fueron significativamente más pesados que las hembras a pesar de presentar una alta variación (Tabla I).

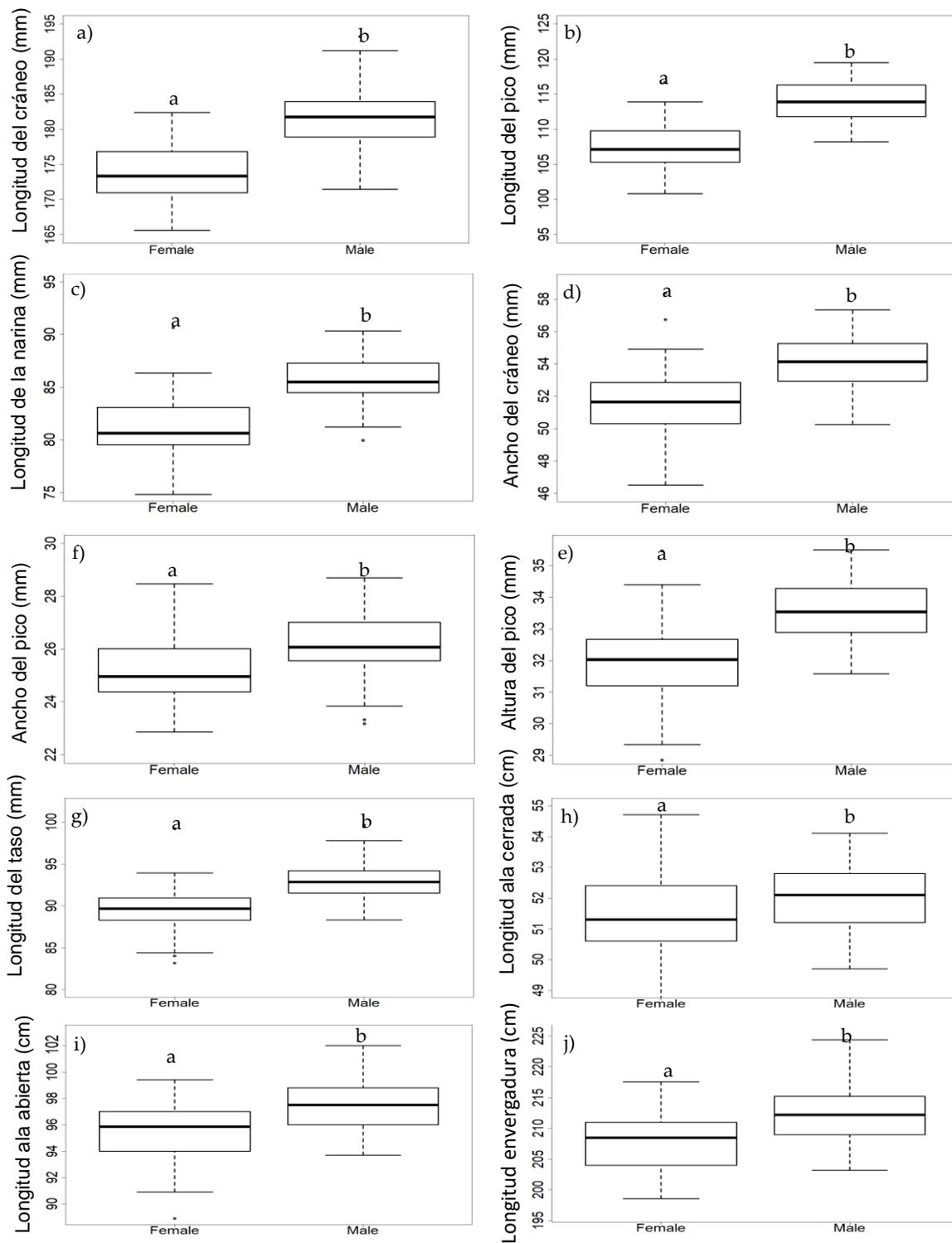
**Tabla I.** Comparaciones entre albatros de Laysan machos ( $n = 61$ ) y hembras ( $n = 74$ ) en isla Guadalupe del año 2014 a 2018 para todas las variables morfológicas. Se presentan la media ( $\bar{x}$ ), la desviación estándar (SD) y el coeficiente de variación (CV).

Variables	Macho			Hembra			t-Test	p-Value
	$\bar{x}$	SD	CV	$\bar{x}$	SD	CV		
Longitud de cráneo (mm)	181.80	4.10	2.26	173.61	3.92	2.26	-11.84	<0.001
Longitud de pico (mm)	113.88	2.64	2.32	107.56	2.93	2.72	-13.05	<0.001
Longitud de narina (mm)	85.66	2.14	2.50	81.19	2.69	3.32	-10.52	<0.001
Ancho de cráneo (mm)	54.15	1.56	2.89	51.67	2.00	3.86	-7.91	<0.001
Altura de pico (mm)	33.57	0.91	2.71	32.01	1.27	3.96	-8.08	<0.001
Ancho de pico (mm)	26.20	1.19	4.55	25.12	1.34	5.32	-4.90	<0.001
Longitud de tarso (mm)	93.14	2.29	2.46	89.61	2.52	2.81	-8.44	<0.001
Longitud de ala cerrada (cm)	52.03	1.05	2.01	51.40	1.26	2.45	-3.10	0.002
Longitud de ala abierta (cm)	97.46	2.07	2.12	95.58	2.16	2.26	-5.14	<0.001
Longitud de envergadura (cm)	212.66	4.14	1.95	207.63	4.72	2.28	-6.50	<0.001
Masa corporal (kg)	2.86	0.34	11.79	2.44	0.23	9.54	-8.55	<0.001

El ACP caracterizó la variabilidad de todas las variables morfológicas en dos componentes principales, y explicó el 68% de la varianza total. El primer componente explicó un 54% de la varianza de los datos morfológicos y el segundo el 14% de la varianza total. El primer componente principal (PC1) se relacionó principalmente con la longitud del cráneo, la longitud del pico y la longitud de la narina, es decir estuvo asociado con el tamaño de los individuos. El PC1 se distribuyó normalmente, y los machos mostraron valores más altos ( $p < 0.01$ ). El segundo componente principal (PC2) se relacionó principalmente con la longitud del ala cerrada, la longitud del ala abierta y la longitud de la envergadura, que son rasgos generalmente asociados con el vuelo. El PC2 se distribuyó normalmente. En todas las mediciones, se encontraron diferencias significativas de sexo. Los componentes posteriores mostraron variaciones menores al 10% (Tabla II).

**Tabla II.** Análisis de componentes principales con los 10 rasgos morfológicos del albatros de Laysan en isla Guadalupe colectados del año 2014 al 2018.

<b>Variable</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>
Longitud del cráneo	-0.38	0.14
Longitud del pico	-0.37	0.23
Longitud de la narina	-0.37	0.23
Ancho del cráneo	-0.27	0.25
Alto del pico	-0.29	0.28
Ancho del pico	-0.27	0.21
Longitud del tarso	-0.33	0.13
Longitud del ala cerrada	-0.23	-0.60
Longitud del ala abierta	-0.30	-0.46
Longitud de la envergadura	-0.34	-0.33
<b>Desviación estándar</b>	2.32	1.17
<b>Proporción de la varianza</b>	0.54	0.14
<b>Proporción acumulada</b>	0.54	0.67



**Figura 20.** Diagramas de caja de las variables morfológicas para hembras ( $n = 74$ ) y machos ( $n = 61$ ) de albatros de Laysan colectados del año 2015 al 2018. La línea en negrita representa la mediana, la parte inferior del cuadro es el primer

cuartil, el tercer cuartil separa el 75% de los datos, los puntos anteriores son los límites de los bigotes (mostrados como líneas discontinuas) y los valores extremos (datos atípicos) o valores atípicos mostrados como círculos abiertos. Letras diferentes (a / b) indican diferencias significativas.

### *7.3.2 Identificación genética del sexo*

De los 135 albatros de Laysan a los cuales se les extrajo sangre para identificar el sexo mediante análisis genéticos, se identificaron 74 hembras y 61 machos.

### *7.3.3 Modelo de Predicción del Sexo*

La regresión por pasos identificó cuatro variables como los mejores predictores: la longitud del tarso, el ancho del cráneo, la altura del pico y la longitud del pico (Tabla III). Las dos primeras columnas de la tabla III contienen el nombre del coeficiente y el valor estimado. Los errores estándar de los coeficientes estimados se presentan en la tercera columna. La cuarta columna muestra el valor z, la relación de los coeficientes estimados a sus errores estándar estimados. Si el valor z es grande en magnitud, el coeficiente de regresión verdadero correspondiente no es cero. Como el tamaño de la muestra es pequeño, se repitió el proceso de ajuste y validación 2000 veces. En cada iteración, se seleccionaron al azar el 80% de las observaciones. Se seleccionó un conjunto de modelos con el mejor rendimiento para la validación y se evaluó con el conjunto de datos completo. El umbral calculado por la curva ROC fue de 0.33. El modelo predijo correctamente el sexo de los individuos albatros en más del 90% de los casos.

**Tabla III.** Variables predictoras.

Variable	Estimado	Error estándar	Value z	Pr (> z )
(Intercepto)	-12.466	2.765	-4.508	0
Longitud del pico	8.661	2.624	3.301	0.001
Altura del pico	5.911	2.662	2.221	0.026
Ancho del cráneo	3.612	1.851	1.952	0.051
Longitud del tarso	4.234	2.254	1.878	0.06

Se desarrolló una aplicación web para predecir el sexo de los individuos adultos de albatros de Laysan (Fig. 21). Esta aplicación solicita cuatro mediciones morfológicas de entrada: (1) longitud del pico, (2) altura del pico, (3), longitud del tarso y (4) ancho del cráneo, los que fueron los mejores predictores morfológicos de nuestro modelo predictor de sexo. Esta aplicación tiene el potencial para su uso en cualquier lugar remoto.

The screenshot shows a web application interface for predicting the sex of Laysan Albatrosses. It features four input fields, each with a corresponding icon and a unit dropdown menu set to 'mm':

- Longitud de pico:** 105.05 mm
- Altura de pico:** 31.31 mm
- Longitud del tarso:** 88.82 mm
- Ancho de cráneo:** 51.64 mm

Below the input fields, a green box displays the prediction: "El individuo medido es una hembra (p=1)". At the bottom, there are two buttons: "Clear input" (blue) and "Calculate" (orange).

**Figura 21.** Ejemplo visual de la aplicación de predicción de sexo para el albatros de Laysan. La aplicación desarrollada para predecir el sexo del albatros de Laysan estará disponible para cualquier usuario. La aplicación estará disponible a partir de agosto de 2019 y se encontrará en el sitio: [app.islas.org.mx/laysan-albatross-sexual-dimorphism](http://app.islas.org.mx/laysan-albatross-sexual-dimorphism).

#### 7.4 Zonas de alimentación o forrajeo en mar

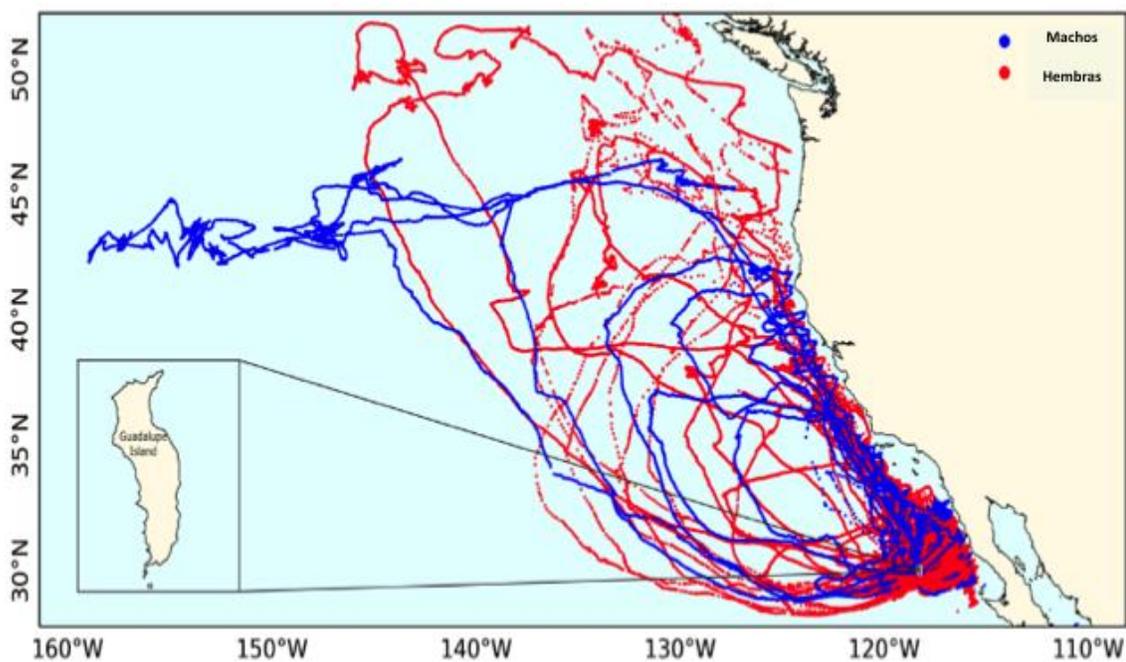
Durante la temporada reproductiva del albatros de Laysan que anida en Isla Guadalupe se registraron viajes de forrajeo de hasta 11,000 km que abarcaron desde Isla Guadalupe hasta la Columbia Británica en Canadá (Fig. 22).

La duración media del viaje fue mayor para los machos que para las hembras, en contraste con la distancia máxima promedio del viaje, que fue mayor para las hembras (Tabla IV). Utilizamos un GLMM para probar esta observación estadísticamente; sin embargo, no hubo diferencias significativas entre machos y hembras para la duración del viaje (GLMM,  $F = 0.017$ ,  $DF = 1, 1$ ,  $p = 0.917 > 0.05$ ) o la distancia máxima de viaje (GLMM,  $F = 0.374$ ,  $DF = 1, 1$ ,  $p = 0.651 > 0.05$ ) considerando el año y el individuo como un efecto aleatorio.

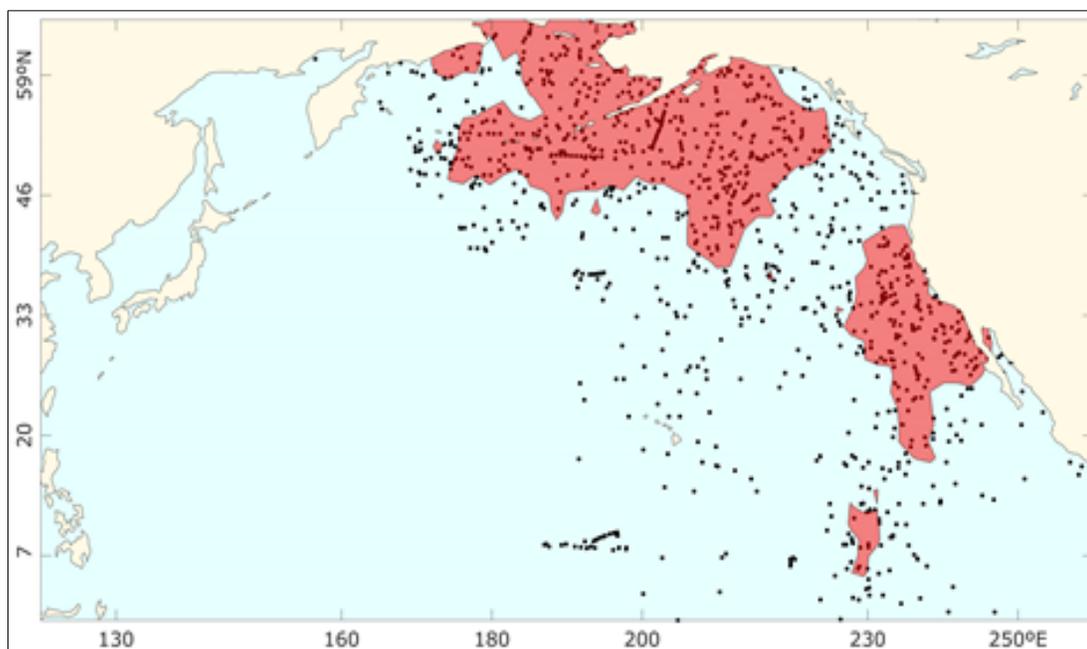
**Tabla IV.** Características del viaje de forrajeo de albatros de Laysan en la isla Guadalupe.

Sexo	<i>n</i>	No. de viajes	Longitud del viaje (km)		Distancia máxima de viaje (km)	
			$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD
Machos	16	96	2270.5	3849.60	401.00	415.80
Hembras	20	148	1874.7	2808.20	420.90	491.50

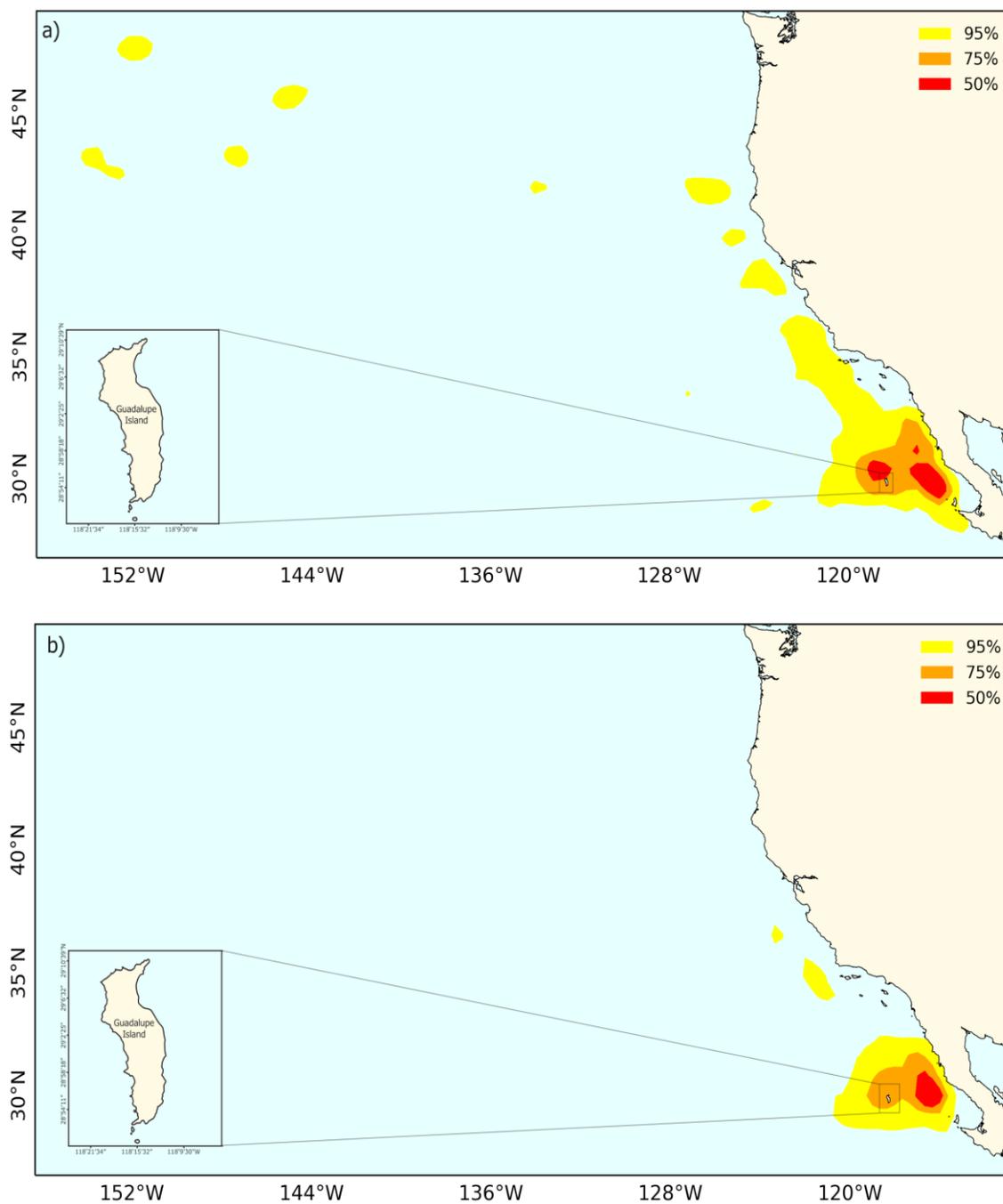
Los patrones de distribución de los viajes de forrajeo de albatros de Laysan durante las temporadas de reproducción 2014-2018 se concentraron a lo largo de la zona costera cercana al Pacífico oriental (Fig. 22). Durante la temporada no reproductiva, con datos obtenidos a través de GLS, se observó que los adultos de albatros de Laysan en Isla Guadalupe se dispersan por gran parte del Pacífico Oriental con dos zonas amplias de mayor importancia (Fig. 23).



**Figura 22.** Viajes realizados por machos de albatros de Laysan ( $n = 36$ ) (líneas azules) y hembras (líneas discontinuas rojas) durante las temporadas de reproducción 2014-2018 en la Isla Guadalupe obtenidas con GPS.



**Figura 23.** Distribución de adultos de albatros de Laysan que anidan en Isla Guadalupe durante la temporada no reproductiva 2016-2018, con datos obtenidos de GLS ( $n=8$ ). Los kernel del 50% se muestran en rojo.



**Figura 24.** Mapas de contorno de trayectorias densidad kernel para el albatros de Laysan (a) machos y (b) hembras durante las temporadas de reproducción de 2014 a 2018 en la Isla Guadalupe. Los colores rojo, naranja y amarillo representan las densidades de kernel del 50%, 75% y 95%, respectivamente.

El núcleo del mapa de contorno (50%) indicó que no había pruebas que sugirieran que los machos explotan diferentes áreas de forrajeo en comparación con las hembras, no se encontraron pruebas sólidas de segregación sexual espacial durante la temporada de reproducción en la Isla Guadalupe (Fig. 24).

## **7.5 Evaluación de amenazas**

### *7.5.1 Mamíferos exóticos invasores*

Históricamente, desde la colonización de isla Guadalupe por el albatros de Laysan en 1983, año con año en las temporadas de anidación tanto adultos como polluelos han sido depredados por gato feral. La consecuencia fue la desaparición de esta especie de algunas zonas donde se habían establecido nidos. Por ejemplo, en una zona conocida como “Colinas Negras” se registraron nidos en el 2,000 (Pitman *et al.*, 2004), sin embargo, en 2003 estos individuos habían sido extirpados, y no fue sino hasta 2007, después de acciones continuas de control de gatos, que se registraron nuevamente nidos en esta zona (Hernández-Montoya *et al.*, 2014). En el año del 2002-2003, durante la temporada reproductiva, los gatos ferales mataron a 35 de los 484 albatros adultos, lo que representó el 7.2% del total de la población reproductiva en isla Guadalupe, y el 30.2% de la colonia de Punta Sur (Hernández-Montoya *et al.*, 2014). El gato feral fue responsable de la duplicación de la tasa de fracasos de los nidos en Punta Sur. En el 2003, GECl comenzó con el control de gatos feral alrededor de la colonia. Así, la mortalidad de albatros se redujo y no se observaron otras muertes de adultos relacionados con los gatos (Keitt *et al.*, 2005b). Desde entonces, se ha continuado con el control de gato feral alrededor de las colonias de albatros de Laysan, con muy buenos resultados debido a la constancia en el control de gatos en la isla. En los últimos 16 años se han retirado más de 2,000 gatos ferales, los cuales ponían en grave peligro a las poblaciones de aves nativas y endémicas de la isla. Gracias a estas acciones de conservación la población de albatros de Laysan ha aumentado su

éxito reproductivo e incrementado su número poblacional a 2,418 adultos reproductivos.

### 7.5.2 Pesca incidental

Una de las principales amenazas para el albatros de Laysan es la pesca incidental, ya sea en palangre pelágico o demersal (Gilman y Freifeld, 2003). En estudios realizados en el 2011 se estimó que la pesca con palangre pelágico en el Pacífico Norte provocan la muerte de 5,000 a 18,000 albatros de Laysan al año, mientras que el palangre en el mar de Bering y el de Alaska provoca la muerte de 700 individuos anualmente (Crowder y Myers, 2002). De acuerdo a los resultados reportados por Arata *et al.* (2009) así como a Naughton *et al.* (2007), las flotas estadounidense, japonesa, coreana y taiwanesa han matado accidentalmente a esta especie desde 1951. Por otro lado, en estudios más recientes se reportó un decremento en la pesca incidental, bajó a 80 individuos anuales, probablemente debido al uso efectivo de las medidas para evitar capturar aves marinas (DFO, 2007). Otra razón para la disminución de las muertes por pesca incidental, fue el cierre de pesquerías en zonas reproductivas.

En otras áreas del orbe se han registrado altas mortandades de especies de aves marinas (albatros y petreles) debido al enganchamiento por lances de pesca, anzuelos, y/o redes (Jiménez y Domingo, 2007).

En particular, el arte de pesca realizado en isla Guadalupe es del tipo artesanal, en el cual el aprovechamiento de los recursos pesqueros se realiza por medio de trampas de fondo para langostas y buceo para obtener el abulón de las profundidades de manera manual, por lo que en este tipo de pesca no se utiliza ningún tipo de redes. Sin embargo, la alimentación del albatros puede abarcar zonas muy amplias y actualmente no existe un programa de monitoreo o un registro sistemático de pesca incidental en California o Baja California.

### 7.5.3 Ingesta de plásticos

Otras amenazas para el albatros de Laysan incluyen los derrames petroleros, la ingesta de plásticos, el envenenamiento por plomo en colonias con presencia de infraestructura militar, el disturbio humano y conflictos con maniobras aéreas. Recientemente se ha identificado en pollos de la isla de O'ahu la viruela aviar pero su impacto a largo plazo es incierto porque la mayoría de los pollos que mostraron la infección abandonaron el nido exitosamente.

#### *7.5.4 Anomalías climáticas*

Actualmente, el planeta está siendo afectado por un cambio climático global (CCG). Este fenómeno comprende entre otros factores, un incremento sostenido en la temperatura que a su vez modifica los patrones de precipitación a nivel mundial. Los efectos de estos cambios ya se están reportando en diversos grupos taxonómicos como plantas y animales terrestres, de agua dulce y marinos, a nivel de poblaciones o especies (Parmesan, 2006). Ejemplo de estas alteraciones climáticas son los fenómenos anómalos de altas temperaturas, huracanes que anteriormente no tenían una distribución en latitudes altas, calentamiento de masas de agua que involucran zonas de alimentación de múltiples especies, tsunamis y el aumento en el nivel del mar disminuye los sitios de anidación en islas de poca altura.

Durante el mes de mayo del 2014 se presentaron anómalos e intensos eventos de Santa Ana en Isla Guadalupe. Este fenómeno se caracteriza por vientos extremadamente secos y con altas temperaturas que aparecen de manera característica en la climatología del sur de California y norte de Baja California durante el otoño y a principios de invierno. Los intervalos de temperatura de estos vientos pueden ser desde cálidos hasta fríos, dependiendo de la temperatura imperante de su lugar de origen, que es la Gran Cuenca y el desierto de Mojave. La presencia e intensidad de este fenómeno durante la primavera 2014, afectó fuertemente la sobrevivencia del albatros de Laysan. Este fenómeno coincidió con la temporada reproductiva de aves marinas, en particular con la etapa de

crecimiento y maduración de las crías de albatros en los nidos de Isla Guadalupe y sus Islotes. Las altas temperaturas que generó este fenómeno, afectaron negativamente a las aves marinas. Se cuantificó la mortalidad de las crías de albatros, nacidas en la temporada reproductiva 2014. La mortalidad de crías de albatros en las tres localidades reproductivas de Isla Guadalupe fue del 21%, de los cuales el 18% murieron por causas relacionadas al fenómeno de Santana.

Con base a lo descrito en las secciones anteriores, se realizó la evaluación de las amenazas actuales y potenciales del albatros de Laysan en Isla Guadalupe a través del método de clasificación de amenazas recomendado en “WWF Standards of Project and Programme Management”. Este método considera tres criterios: alcance, severidad e irreversibilidad. El alcance se refiere a la proporción de la población global que es susceptible de ser afectada dentro de 10 años bajo las condiciones actuales. La severidad mide el grado de reducción de la población de la especie en el período de tiempo especificado en el alcance. La irreversibilidad se refiere al grado en que los efectos de una amenaza dada pueden ser revertidos y la población afectada puede ser restaurada. En la tabla V se muestran las amenazas y el grado en que repercuten en las principales colonias de anidación del albatros de Laysan en Isla Guadalupe.

**Tabla V.** Evaluación de las amenazas actuales y potenciales del albatros de Laysan, identificadas en sus sitios de anidación en México.

<b>Amenaza</b>	<b>Islotes</b>	<b>Isla Guadalupe</b>	<b>Calificación</b>
<b>Mamíferos invasores</b>	Bajo	Muy alto	Alto
<b>Ingesta de plásticos y otros contaminantes</b>	Medio	Medio	Medio
<b>Pesca incidental</b>	Alto	Alto	Alto
<b>Cambio climático</b>	Alto	Alto	Alto

## **7.6 Conservación y restauración**

Con relación a la conservación del albatros de Laysan en Isla Guadalupe, la principal amenaza que presenta son las especies exóticas invasoras, por lo cual es indispensable atender la presencia de los gatos ferales en isla Guadalupe, así como restaurar las poblaciones de estas aves utilizando técnicas de restauración activa como la atracción social. Estas técnicas de atracción han sido utilizadas en varias zonas del mundo con excelentes resultados, en México el programa de restauración de aves en las islas de la península de Baja California es uno de los proyectos más exitosos y con mayor alcance en la restauración de aves marinas.

El Plan de Manejo del albatros de Laysan, que elaboramos con los datos de esta investigación y que ayuda al conocimiento y toma de decisiones para la conservación de esta especie, fue incorporado al Programa de Acción para la Conservación de las Especies (PACE) de Aves Marinas del Pacífico Mexicano, el cual incluye a las especies de aves marinas endémicas de México y con alta prioridad de conservación, este Programa fue elaborado e integrado por El Grupo de Ecología y Conservación de Islas A.C.

Estos documentos de manejo generados a partir de este trabajo de investigación se presentaron ante La Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO) y La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), con la finalidad de gestionar su implementación en las Áreas Naturales correspondientes y zonas de influencia Marina

El Plan de Manejo del albatros de Laysan se presenta descrito en sus partes principales, Objetivos, Metas y Acciones de Conservación en el Anexo A.

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 Atributos poblacionales

En la temporada reproductiva del 2019, en isla Guadalupe se registró un máximo de 1,279 nidos, repartidos en tres subcolonias (Punta Sur, Morro Prieto y Zapato), este resultado es el máximo incremento en anidación de albatros en la Reserva. En la temporada 2014, se identificó el máximo registro de éxito de eclosión con un valor promedio para las tres localidades de 92.42%, así mismo se observó el mínimo registro promedio de éxito reproductivo con un valor de 73.45%. Esta fuerte diferencia entre porcentajes se atribuyó a la alta mortalidad de crías que se generó en mayo del 2014.

Durante el mes de mayo del 2014 se presentaron anómalos e intensos eventos de Santa Ana. Este fenómeno se caracteriza por vientos extremadamente secos que aparecen de manera característica en la climatología del sur de California y norte de Baja California durante el otoño y a principios de invierno. Los rangos de temperatura de estos vientos pueden ser desde cálidos hasta fríos, dependiendo de la temperatura imperante de su lugar de origen, que es la Gran Cuenca y el desierto de Mojave.

La presencia e intensidad de este fenómeno durante la primavera 2014, afectó fuertemente la sobrevivencia del albatros de Laysan. Este fenómeno coincidió con la temporada reproductiva de aves marinas, en particular con la etapa de crecimiento y maduración de las crías de albatros en los nidos de Isla Guadalupe y sus Islotes.

Las altas temperaturas que generó este fenómeno, afectaron negativamente a las aves marinas. Se cuantificó la mortalidad de las crías de albatros, nacidas en la temporada reproductiva 2014. El 18% de la población de crías de albatros de Laysan murieron durante este fenómeno meteorológico.

A pesar de eventos de depredación históricos generados por gatos ferales, así como de puntuales fenómenos atmosféricos anómalos, la tendencia poblacional

de esta especie en isla Guadalupe ha mostrado un crecimiento exponencial, además de que la tasa de éxito reproductivo es una de las más altas que se presentan en todas las colonias andantes de esta especie en el mundo.

La Inmigración ha sido un proceso por el cual la población de albatros de Laysan en isla Guadalupe colonizo y se ha mantenido presente en la isla, en los últimos años la inmigración ha sido relativamente constante, a diferencia del porcentaje de individuos nacidos en Isla Guadalupe que cada año aportan un mayor porcentaje de adultos reproductivos a la población de isla Guadalupe.

## **8.2 Distribución en zonas de anidación**

La población de albatros de Laysan está aumentando su distribución en Isla Guadalupe, principalmente en la isla principal, este efecto obedece a la disminución de la principal amenaza que es la depredación generada por los gatos ferales, durante el año 2019 se registró el asentamiento de nidos más norteño dentro de la isla, con la 8 nidos en la parte media de la isla a la altura de la pista de aterrizaje y campamento oeste de pescadores. Gracias a la erradicación de gatos en isla Guadalupe, la isla ofrece hábitat seguros para la reproducción y sobrevivencia de esta y otras especies de aves en riesgo y con prioridad de conservación.

En el islote zapato aumenta la población de albatros reproductores cada año, sin embargo la distribución de la zona de anidación no ha incrementado de manera considerable, el hábitat de anidación se restringe a la parte superior del islote (cráter de arriba) con una altura de 200 a 220 metros sobre el nivel medio del mar, esta zona es favorecida por los vientos y la cercanía a los acantilados lo cual permite una fácil incorporación al vuelo y el mar por parte de los volantones.

En contraste con el islote Zapato, el Islote Morro Prieto no presenta aumento en la distribución de la zona de anidación, así como sutiles incrementos en el número de nidos, al parecer la restricción de hábitat en este islote está llegando a su capacidad de carga para albergar más nidos de esta especie.

### 8.3 Dimorfismo sexual

La selección sexual puede desempeñar un papel importante en la evolución de los rasgos morfológicos en las aves y en las diferencias morfológicas entre los sexos a menudo están relacionadas con la fisiología o las presiones externas (Fairbairn, 1997; Mayr, 1970; Xavier *et al.*, 2004). En la presente investigación se encontraron rasgos sexualmente dimorfos en los albatros de Laysan de isla Guadalupe. Especialmente, cuatro atributos que fueron los más evidentes: longitud del tarso, ancho del cráneo, altura del pico y largo del pico. Sin embargo, las diferencias no fueron tan evidentes como en otras especies tal como en el albatros errante (*Diomedea exulans*) o el petrel gigante del norte (*Macronectes halli*) (González-Solís, 2004; Xavier *et al.*, 2004). De acuerdo a los resultados reportados por Tickell (2013), en el cual se evaluó el dimorfismo sexual en el albatros errante en la isla Bird, en el sur de Georgia, Reino Unido, y encontraron diferencias significativas entre los sexos en peso, envergadura, culmen, profundidad del pico, tarso y longitud media de la pata, siendo los machos generalmente más grandes que las hembras. Nuestros resultados indicaron diferencias en casi todos los mismos rasgos reportados por otros autores para especies similares. Se ha reportado que la longitud y la envergadura son buenas medidas para diferenciar el sexo (Granadeiro, 1993; Hamer y Furness, 1991). Las diferencias morfológicas encontradas entre los machos y las hembras de albatros de Laysan en nuestro estudio son menos marcadas que las encontradas para otras especies de albatros, como el albatros negro alzado (Prince, *et al.*, 1992; Stahl y Sagar, 2000; Weimerskirch y Jouventin, 1987). Por ejemplo, para el albatros de Campbell se ha reportado que existe una diferencia promedio del 7.2% en la masa corporal entre

machos y hembras, mientras que una del 20.2% para el albatros de ceja negra (Phillips *et al.*, 2004). En nuestro estudio, encontramos una diferencia de 14.7% para el mismo rasgo, lo que indica que hubo un grado medio de dimorfismo sexual en el albatros de Laysan en comparación con otras especies de albatros.

El albatros de Laysan es socialmente monógamo, de larga vida y presenta cuidado biparental (Whittow, 1993a). Sin embargo, el albatros de Laysan muestra este cuidado entre parejas del mismo sexo a largo plazo (hembra-hembra) (Young *et al.*, 2008). Esta cooperación entre individuos del mismo sexo podría resultar en una proporción de sexos sesgada en la población reproductiva, aunque se necesita más investigación sobre este importante tema. Por ejemplo, el 31% de las parejas reproductoras de albatros de Laysan en Oahu, Hawái, fueron hembras-hembras, y la proporción de sexos en general fue del 59% en hembras debido a la inmigración sesgada por el sexo. La proporción de sexos de una población puede cambiar las estructuras sociales y hacer que surja un comportamiento cooperativo en las especies monógamas, lo que enfatiza la importancia de sexar las especies monomorfas y detectar el grado de dimorfismo presente (Young *et al.*, 2008). Con este fin, la investigación de la prevalencia de la cría cooperativa mediante inferencia morfométrica, como en el presente estudio, podría contribuir en gran medida a comprender la dinámica de la población de albatros de Laysan en la Isla Guadalupe.

#### **8.4 Zonas de alimentación o forrajeo en mar**

Las especies de aves marinas sexualmente dimorfas exhiben segregación espacial y distribuciones en el mar restringidas por sus atributos individuales (morfología, color y tamaño), factores ambientales (disponibilidad de presas, interacciones a nivel de especie, límites fisiológicos, patrones de dispersión y comportamiento migratorio) (Kappes *et al.*, 2015; Phillips *et al.*, 2004), y por etapa de reproducción, que dependen a su vez de los requerimientos energéticos

(Phillips *et al.*, 2004; Svärdsön, 1949; Wearmouth y Sims, 2008). Aunque el albatros de Laysan de isla Guadalupe mostró cierto grado de dimorfismo sexual, no se encontraron diferencias significativas en las distancias recorridas entre machos y hembras. Este resultado contrasta con un estudio previo realizado por González-Solis (2004) que reportó diferencias en los esfuerzos de forrajeo (es decir, velocidad de vuelo, distancias cubiertas y la duración de los viajes de forrajeo) entre hembras y machos del petrel gigante (*Macronectes halli*) en el sur Georgia. Este contraste, dichos resultados pueden deberse a las diferencias en el dimorfismo sexual observadas entre estas dos especies de aves marinas dado que *M. halli* es la más dimórfica sexualmente de todas las especies de aves marinas.

Los albatros de Laysan de las islas del noroeste de Hawai tienen que hacer largos viajes de alimentación alrededor de sus colonias de reproducción debido a la reducida abundancia de presas (Ashmole, 1971; Ballance *et al.*, 1997; Suryan *et al.*, 2008; Whittow, 1993b). En contraste, los viajes de alimentación de los albatros de Laysan de isla Guadalupe se dirigen hacia zonas marinas altamente productivas al noreste de su colonia reproductiva, que son el resultado del surgimiento costero y la influencia de la corriente de California. La proximidad fortuita de una zona de forraje altamente productiva a la colonia reproductora favorece el crecimiento de la población de albatros de Laysan en la Isla Guadalupe (Hernández-Montoya *et al.*, 2014) y elimina la necesidad de que los individuos viajen más lejos en busca de lugares de alimentación, independientemente de las diferencias morfológicas basadas en el sexo en esta especie. Eso puede limitar o facilitar la capacidad de viajar.

Se ha encontrado una relación similar entre la proximidad de las zonas de forrajeo productivo y las áreas de reproducción y anidación del albatros ondulado (*Phoebastria irrorata*); específicamente, el albatros que anidan ecuatorialmente tuvo mayor acceso a las aguas altamente productivas de la Corriente de

Humboldt, al surgimiento localizado y a los frentes ecuatoriales durante la incubación (Awkerman, *et al.*, 2005; Kappes *et al.*, 2015). La segregación sexual de los hábitats de forrajeo es relativamente común en la naturaleza (Catry, *et al.*, 2006; Wearmouth y Sims, 2008;) y está bien documentada para el albatros (Hyrenbach *et al.*, 2002; Kappes *et al.*, 2010; Phalan *et al.*, 2007) y otras especies de aves como vadeadores, paseriformes y rapaces, y se ha demostrado que los machos cubren distancias considerablemente mayores que las hembras (Catry, *et al.*, 2006). Esta tendencia puede deberse a que los machos son generalmente más grandes y, por lo tanto, capaces de viajar distancias mayores, o de factores como la competencia en vuelo, que se ha asociado con la mayor envergadura de las alas y la capacidad de volar más lejos (Weimerskirch, *et al.*, 2009). En nuestro estudio, los machos parecían tener un poco más posibilidades de alimentación que las hembras. Esta tendencia a la segregación sexual puede variar a lo largo de escalas temporales y espaciales; sin embargo, no encontramos ninguna evidencia sólida de segregación sexual en el albatros de Laysan de isla Guadalupe. El dimorfismo sexual presente en el albatros de Laysan de la Isla Guadalupe, en el que los machos son generalmente más grandes que las hembras, no estuvo asociado a recorridos de distancias mayores por parte de los machos.

La segregación sexual en áreas de forrajeo también está vinculada a la especialización de las funciones reproductivas, que se ha observado en el albatros de ceja negra y en el albatros de cabeza gris (Phillips *et al.*, 2004). Además, los estudios realizados en las islas noroccidentales de Hawai han demostrado la segregación interespecífica de las áreas de forrajeo central entre Laysan y el albatros de patas negras durante las etapas de incubación y empollamiento, pero no durante la etapa de crianza (Kappes *et al.*, 2015), ya que se necesitaban viajes largos para satisfacer las necesidades nutricionales. Demandas, particularmente durante las etapas de incubación y crianza de pollos (Fernández *et al.*, 2001; Hyrenbach *et al.*, 2002; Kappes *et al.*, 2010). En particular, Connors en el 2015

encontró diferencias en las distancias recorridas durante los viajes de alimentación en el período de crianza, con hembras viajando más lejos de la colonia de reproducción. Estos resultados nos alientan a realizar una investigación más detallada sobre las distancias recorridas por el albatros de Laysan en la isla Guadalupe durante las diferentes etapas reproductivas. Los recursos alimentarios pueden ser un factor fundamental que influye en el crecimiento de la población en especies silvestres (Keddy, 1989). Cuando las interacciones competitivas son graves, se supone que están relacionadas con la densidad de la población (Amundsen *et al.*, 2007). Sin embargo, el sistema de la Corriente de California parece proporcionar aguas ricas y altamente productivas en las que el albatros de Laysan puede alimentarse en condiciones que aparentemente están libres de competencia intraespecífica. Además, la población de albatros de Laysan de la isla Guadalupe está compuesta por 1300 parejas reproductivas (Hernández-Montoya *et al.*, 2014), lo que la hace relativamente pequeña en comparación con la colonia hawaiana. De acuerdo a los resultados reportados por Ashmole (1963), los individuos de colonias más grandes tienen que viajar más lejos para encontrar alimento para sus polluelos que los de colonias más pequeñas, dado que la abundancia de presas en las aguas que rodean las colonias es reducida (Lewis *et al.*, 2001). Además, *P. immutabilis* comparte la misma temporada reproductiva con otras especies de aves en isla Guadalupe; sin embargo, la competencia interespecífica por los recursos alimenticios no se ha desarrollado. No obstante, para determinar qué factores regulan la población de crecimiento dependiente de la densidad en el albatros de Laysan en la Isla Guadalupe, es esencial continuar con el monitoreo de esta especie.

Nuestros resultados indican que la distribución temporal y las posibles áreas de alimentación del albatros de Laysan podrían ser específicas del sitio, lo que podría resultar en el desarrollo de diversas estrategias de alimentación y reproducción. Aunque este estudio proporciona una línea de base que representa el primer intento de comprender los roles desempeñados por el dimorfismo sexual y los viajes de alimentación del albatros de Laysan desde la Isla Guadalupe, sabemos

que muchos otros factores ambientales, ecológicos y biológicos pueden restringir el potencial de forrajeo y las áreas de distribución de esta especie. Se requieren análisis más detallados en el futuro que evalúen específicamente el impacto potencial de las pesquerías en los comportamientos reproductivos y de alimentación del albatros para facilitar la protección del albatros de Laysan en la Isla Guadalupe, ya que esta colonia es la colonia de albatros de Laysan más exitosa e importante en el Pacífico norte oriental (Hernández-Montoya *et al.*, 2014). Además, es bastante posible que el dimorfismo sexual en el albatros de Laysan de la Isla Guadalupe haya surgido de la selección sexual, donde la presencia de machos más grandes y dominantes conduce a la división de roles o especialización de nicho, especialmente durante la temporada de reproducción. La investigación futura sobre el comportamiento y el uso del hábitat del albatros de Laysan es importante para la protección y conservación de esta especie.

## **9. CONCLUSIONES**

### **9.1 Atributos poblacionales**

La población de albatros de Laysan está creciendo y consolidándose en Isla Guadalupe. Esta población fortalece la resiliencia de la especie ante el cambio climático.

La inmigración de individuos fue la condición que permitió el establecimiento de la especie en isla Guadalupe, Actualmente los individuos originarios de Isla Guadalupe son la principal causa del crecimiento de la población reproductiva.

### **9.2 Distribución en zonas de anidación**

La distribución de las colonias reproductivas está creciendo especialmente en la isla principal, esto como respuesta a la disminución de la depredación por parte del gato feral. Isla Guadalupe cada año ofrece un hábitat más seguro para anidar.

Los adultos reproductivos migran al este del pacifico norte durante los meses de julio a noviembre.

### **9.3 Dimorfismo sexual**

Los machos reproductivos de albatros de Laysan en Isla Guadalupe fueron significativamente más grandes que las hembras reproductivas.

Las variables morfológicas que mejor demostraron las diferencias basadas en el sexo en la población reproductiva de albatros de Laysan de isla Guadalupe fueron la longitud del tarso, el ancho craneal, la longitud del pico y la altura del pico.

Se desarrolló un modelo de predictor de sexo y una aplicación web correspondiente para identificar el sexo del albatros de Laysan en la isla Guadalupe. La aplicación web ha demostrado ser una herramienta eficiente que permite la recopilación y el procesamiento de datos a la vez que elimina el uso de técnicas de muestreo invasivas. Además, la aplicación web reducirá los costos financieros involucrados en futuros esfuerzos de investigación, así como el tiempo de manejo involucrado en el muestreo de individuos de albatros de Laysan.

La aplicación web permitirá el sexado en tiempo real de un individuo, lo que proporcionará múltiples ventajas para el monitoreo de esta especie en el campo. Además, la aplicación puede ser utilizada en áreas remotas y por cualquier persona sin la necesidad de capacitación especializada. Por último, la aplicación web de bajo costo aumentará las oportunidades para ampliar nuestro conocimiento de esta especie y facilitará los futuros esfuerzos de conservación.

#### **9.4 Zonas de alimentación o forrajeo en mar**

Los viajes de alimentación en temporada reproductiva pueden llegar a ser hasta de 8,000 km en menos de 15 días, durante estos viajes se identificaron dos tipos de distribución, una costera y otra pelágica, con una fuerte tendencia hacia zonas de surgencia costera.

No se encontraron diferencias significativas entre las distancias recorridas por las hembras de albatros de Laysan frente a los machos durante la temporada reproductiva. Nuestros resultados sugieren que ambos sexos muestran una tendencia a viajar al noreste de su colonia de reproducción hacia las aguas costeras productivas en la plataforma continental de la península de Baja California que están influenciadas por la Corriente de California.

La información sobre la distribución, la abundancia, el comportamiento, la estacionalidad y las amenazas a las colonias de aves es necesaria para identificar las Áreas Importantes de Conservación para las Aves (IBA) que comprenden el hábitat del albatros de Laysan. Creemos que la presente investigación podría proporcionar una línea de base para futuros estudios que buscan identificar áreas mediante el uso de GPS, las cuales deben protegerse para la conservación del albatros de Laysan en el noreste del Pacífico mexicano.

#### **9.5 Evaluación de amenazas**

La depredación por gato es la principal amenaza para la población de albatros de Laysan en Isla Guadalupe.

## 10. LITERATURA CITADA

- Aguirre Muñoz A., A. Samaniego Herrera, L. Luna Mendoza, A. Ortiz Alcaraz, M. Rodríguez Malagon, F. Mendez Sanchez, M. Felix Lizarraga, J.C. Hernandez Montoya, R. Gonzalez Gomez, F. Torres Garcia, J.M. Barredo Barberena y M. Latofski Robles. 2011. Island restoration in Mexico: ecological outcomes after systematic eradications of invasive mammals. En: Veitch C.R, M.N. Clout & D.R. Towns (eds.), *Island Invasives: Eradication and Management. Proceedings of the International Conference on Island Invasives* pp. 250-258.
- Alarcón, P. A. E., J. M. Morales, J. A. Donázar, J. A. Sánchez-Zapata, F. Hiraldo and S. A. Lambertucci. 2017. Sexual-size dimorphism modulates the trade-off between exploiting food and wind resources in a large avian scavenger. *Scientific Reports* 7(1):11461.
- Aljanabi, S. M., I. Martinez. 1997. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques. *Nucleic Acids Res.* 25: 4692-4693.
- Amundsen, P.A., R. Knudsen, A. Klemetsen. 2007. Intraspecific competition and density dependence of food consumption and growth in Arctic charr. *J. Anim. Ecol.* 76:149-158.
- Amundsen, T., H. Pärn. 2006. Female coloration: review of functional and nonfunctional hypotheses. *Bird coloration* 2:280-345.
- Andersson, M., Y. Iwasa. 1996. Sexual selection. *Trends in Ecology & Evolution* 11(2): 53-58.
- Arata, J. A., P. R. Sievert, M. B. Naughton. 2009. Status assessment of Laysan and black-footed albatrosses, North Pacific Ocean, 1923-2005. Reston: US Geological Survey. 2009-5131p.
- Ashmole, N. 1963. The regulation of numbers of tropical oceanic birds. *Ibis.* 103: 458–473.
- Ashmole, N. 1971. Seabird ecology and the marine environment In: *Avian biology.* Farner DS and King JR (Eds.). London. Academic Press. 1:223–286.
- Awkerman, J., A. Fukuda, H. Higuchi and D. Anderson. 2005. Foraging activity and submesoscale habitat use of waved albatrosses *Phoebastria irrorata* during chick-brooding period. *Mar Ecol Prog Ser* 291:289–300.
- Ballance, L., R. Pitman and S. Reilly. 1997. Seabird community structure along a productivity gradient: importance of competition and energetic constraint. *Ecology* 78:1502–1518.

- Barton, D. C., K. E. Lindquist, R. W. Henry III and L. M. Luna-Mendoza. 2004. Landbird and waterbird notes from Isla Guadalupe, Mexico. *Western Birds* 35: 186-196.
- Catry, P., R. A. Phillips, J. P. Croxall, K. Ruckstuhl and P. Neuhaus. 2006. Sexual segregation in birds: patterns, processes and implications for conservation. *Sexual segregation in vertebrates: ecology of the two sexes*. Cambridge University Press; Cambridge, UK:351-378.
- Clutton-Brock, T. H. 1988. *Reproductive Success: Studies of Individual Variation in Contrasting Breeding Systems*. University of Chicago Press. USA, Chicago.
- Clutton-Brock, T. H. 1991. *The evolution of parental care*. Princeton University Press. USA, NJ.
- Connors, M. G., E. L. Hazen, D. P. Costa and S. A. Shaffer. 2015. Shadowed by scale: subtle behavioral niche partitioning in two sympatric, tropical breeding albatross species. *Movement ecology* 3(1): 28.
- Crowder, L. B., R. A. Myers. 2002. A comprehensive study of the ecological impacts of worldwide pelagic longline fishing industry. Unpublished report.
- Croxall, J. P., S. H. M. Butchart, B. Lascelles, A. J. Stattersfield, B. Sullivan, A. Symes, P. Taylor. 2012. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. *Bird Conservation International*, 22(01), 1-34. doi: 10.1017/S0959270912000020
- Cuthbert, R. J., R. A. Phillips, P. G. Ryan. 2003. Separating the Tristan Albatross and the Wandering Albatross using morphometric measurements. *Waterbirds*. 26:338-345.
- Daunt, F., V. Afanasyev, A. Adam, J. Croxall. 2007. Wanless, S. From cradle to early grave. Juvenile mortality in European shags *Phalacrocorax aristotelis* results from inadequate development of foraging proficiency. *Biol. Lett.* 3:371-374.
- Diario Oficial de la Federación. 2005. Decreto por el que se declara área natural protegida, con la categoría de reserva de la biosfera, la zona marina y terrestre que incluye a la Isla Guadalupe, de jurisdicción federal, así como a las demás superficies emergidas.
- Diario Oficial de la Federación. 2010. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas
- Fairbairn, D. J. 1997. Allometry for Sexual Size Dimorphism: Pattern and Process in the Coevolution of Body Size in Males and Females. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28(1):659-687.

- Fairbairn, J., R. Shine. 1993. Patterns of sexual size dimorphism in seabirds of the Southern Hemisphere. *Oikos*: 139-145.
- Fernández, P., D. J. Anderson, P. R. Sievert and K. P. Huyvaert. 2001. Foraging destinations of three low-latitude albatross (*Phoebastria*) species. *Journal of Zoology* 254(3): 391-404.
- Fisher, H. I. 1975. Mortality and survival in the Laysan Albatross, *Diomedea immutabilis*. *Pac. Sci.* 29:279-300.
- Fisher, H. I. 1976. Some dynamics of a breeding colony of Laysan Albatrosses. *Wilson Bulletin.* 88(1):121-142.
- Frederiksen, M., F. Daunt, M. P. Harris, S. Wanless. 2008. The demographic impact of extreme events: Stochastic weather drives survival and population dynamics in a long-lived seabird. *J. Anim. Ecol.* 77:1020-1029.
- Fridolfsson, A. K., H. Ellegren. 1999. A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *J. Avian Biol.* 30:116-121.
- Furness, R.W., M. L. Tasker. 2000. Seabird-fishery interactions: Quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance, and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 202:253-264.
- Gallo-Reynoso J. P., A. Figueroa-Carranza. 1996. The breeding colony of Laysan albatrosses on Isla Guadalupe, México. *Western Birds* 27:70-76.
- Gardali, T., N. E. Seavy, R. T. DiGaudio, L. A. Comrack. 2012. A climate change vulnerability assessment of California's at-risk birds. *PLoS ONE.* 7:e29507.
- Gilman, E., H. Freifeld. 2003. Seabird mortality in North Pacific longline fisheries. *Endangered Species Update* 20:35-46.
- González-Solís, J. 2004. Sexual size dimorphism in northern giant petrels: ecological correlates and scaling. *Oikos* 105(2):247-254.
- Granadeiro, J. 1993. Variation in measurements of Cory's Shearwater between populations and sexing by discriminant analysis. *Ringings & Migration* 14(2):103-112.
- Hamer, K. and R. Furness. 1991. Sexing Great Skuas *Catharacta skua* by discriminant analysis using external measurements. *Ringings & Migration* 12(1): 16-22.
- Harwani, S., R. W. Henry, A. Rhee, M. A. Kappes, D. A. Croll, M. Petreas, J. S. Park. 2011. Legacy and contemporary persistent organic pollutants in North Pacific albatross. *Environ. Toxicol. Chem.* 30:2562-2569.

- Hedrick, A. V., E. J. Temeles. 1989. The evolution of sexual dimorphism in animals: Hypotheses and tests. *Trends Ecol Evol* 4(5):136-138.
- Henry, R. W. 2011. Consequences of range expansion in Laysan Albatrosses. Ecology and evolutionary biology. Doctor of Philosophy. Santa Cruz, University of California. 152 pp.
- Henry, R.W. S. A. Shaffer, M. Kappes, Y. Tremblay, D. A. Croll, D. P. Costa. 2007. Movement of the high seas: Consequences of range expansion for a pelagic top consumer, the Laysan Albatross. *COS*.146–148.
- Hernández-Montoya, J. C., L. Luna-Mendoza, A. Aguirre-Muñoz, F. Méndez-Sánchez, M. Félix-Lizárraga, J. M. Barredo-Barberena. 2014. Laysan Albatross on Guadalupe Island, México: current status and conservation actions. *Monographs of the western North American Naturalist* 7:543-554.
- Howell, S. N., S. Webb. 1990. The sea birds of Las Islas Revillagigedo, Mexico. *The Wilson Bulletin*: 140-146.
- Hyrenbach, K. D., P. Fernández, D. J. Anderson. 2002. Oceanographic habitats of two sympatric North Pacific albatrosses during the breeding season. . *Marine Ecology Progress Series* 233:283-301.
- Jehl, J.R. Jr., W. T. Everett. 1985. History and status of the avifauna of Isla Guadalupe, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History*, 20:313-336.
- Jennings, G. Y. 1987. Guadalupe. *Oceans* 20(5):40-45.
- Jiménez, S., A. Domingo. 2007. Albatros y Petreles: su interacción con la flota de palangre pelágico uruguayo en el Atlántico Sudoccidental (1998-2006). *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*. 60(6):2110-2117.
- Jouventin P., G. de Monicault, J. M. Blosseville. 1981. La danse de l'albatros, *Phoebetria fusca*. *Behaviour*. 78(1-2):43-80.
- Kappes, M. A., S. A. Shaffer, Y. Tremblay, D. G. Foley, D. M. Palacios, P. W. Robinson, S. J. Bograd, D. P. Costa. 2010. Hawaiian albatrosses track interannual variability of marine habitats in the North Pacific. *Progress in Oceanography* 86(1-2): 246-260.
- Kappes, M. A., S. A. Shaffer, Y. Tremblay, D. G. Foley, D. M. Palacios, S. J. Bograd, D. P. Costa. 2015. Reproductive constraints influence habitat accessibility, segregation, and preference of sympatric albatross species. *Movement ecology* 3(1):34.
- Keddy, P.A. 1989. *Competition*. Chapman & Hall. UK, London.

- Keitt, B., S. Junak, L. Luna-Mendoza, A. Aguirre-Muñoz. 2005a. The restoration of Guadalupe Island. *Fremontia* 33(4):20-25
- Keitt, B., W. Henry, A. Aguirre, C. García, L. Luna, M. Hermosillo, B. Tershy, D. Croll. 2005b. El impacto de los gatos introducidos (*Felis catus*) en el ecosistema de Isla Guadalupe. *Isla Guadalupe: Restauración y Conservación*. Instituto Nacional de Ecología, México. 219-229p.
- Ketterson, E. D., V. Nolan Jr. 1994. Male parental behavior in birds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 25((1):601-628.
- Kotzerka, J., S. Garthe, S. A. Hatch. 2010. GPS tracking devices reveal foraging strategies of Black-legged Kittiwakes. *J. Ornithol.* 151:459-467.
- Kuletz, K. J., M. Renner, E. A. Labunski, G. L. Jr. Hunt. 2014. Changes in the distribution and abundance of albatrosses in the eastern Bering Sea: 1975–2010. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*109:282-292.
- León de la Luz, J. L., J. P. Rebman, T. A. Oberbauer. 2003. El estado actual de la flora y la Vegetación de Isla Guadalupe. En: E. Peters y K. Santos (Eds.). *Restauración y Conservación de la Isla Guadalupe*. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.
- Lewis, S., S. Benvenuti, L. Dall-Antonia, R. Griffiths, L. Money, T. N. Sherratt, S. Wanless, K. C. Hamer. 2002. Sex-specific foraging behavior in a monomorphic seabird. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 269:1687-1693.
- Lewis, S., T. N. Sherratt, K. C. Hamer, S. Wanless. 2001. Evidence of intra-specific competition for food in a pelagic seabird. *Nature.* 412:816-819.
- Mayr, E. 1970. *Populations, species, and evolution: an abridgment of animal species and evolution.* . Harvard University Press. Cambridge, USA.
- Moore, A. J. 1990. The evolution of sexual dimorphism by sexual selection: the separate effects of intrasexual selection and intersexual selection. *Evolution* 44(2): 315-331.
- Moran, R. 1996. The flora of Guadalupe Island, Mexico. *Memoirs of the California Academy of Sciences*, 19.
- Nau, R. *Statistical Forecasting: Notes on Regression and Time Series Analysis. Stepwise and All Possible Regressions.* Disponible online: <https://people.duke.edu/~rnau/regstep.htm> (accessed on 2 May 2019).
- Naughton, M., M. Romano, T. Zimmerman. 2007. A Conservation Action Plan for Black-footed Albatross (*Phoebastria nigripes*) and Laysan Albatross. Obtenido en: <http://www.fws.gov/pacific/migratorybirds/conservation.htm>.

- Nebel, S., G. T. Thompson. 2011. The evolution of sexual bill-size dimorphism in shorebirds: A morphometric test of the resource partitioning hipótesis. *Evolutionary ecology research* 13(1):35-44.
- Orians, G. H. 1969. On the Evolution of Mating Systems in Birds and Mammals. *The American Naturalist* 103(934):589-603.
- Owens, I. P., I. R. Hartley. 1998. Sexual dimorphism in birds: why are there so many different forms of dimorphism? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 265(1394):397-407.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:637–669.
- Phalan, B., R. A. Phillips, J. R. Silk, V. Afanasyev, A. Fukuda, J. Fox and J. P. Croxall. 2007. Foraging behaviour of four albatross species by night and day. *Marine Ecology Progress Series* 340:271-286.
- Phillips, R. A., J. C. Xavier, J. P. Croxall. 2003. Effects of satellite transmitters on albatrosses and petrels. *Auk*. 120:1082-1090.
- Phillips, R. A., J. R. Silk, B. Phalan, P. Catry, J. P. Croxall. 2004. Seasonal sexual segregation in two *Thalassarche* albatross species: competitive exclusion, reproductive role specialization or foraging niche divergence? *Proc Biol Sci* 271(1545):1283-1291.
- Pitman, R. L. 1985. The marine birds of Alijos Rocks, Mexico. *Western Birds* 16: 81-92.
- Pitman, R., W. Walker, W. Everet, J. P. Gallo-Reynoso. 2004. Population status, foods and foraging of Laysan Albatross *Phoebastria immutabilis* nesting on Guadalupe Island, Mexico. *Marine Ornithology* 32:159-165.
- Price, T. 1998. Sexual selection and natural selection in bird speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 353(1366):251-260.
- Prince, P. A., A. G. Wood, T. Barton and J. P. Croxall. 1992 Satellite tracking of wandering albatrosses (*Diomedea exulans*) in the South Atlantic. *Antarct. Science* 4:31-36.
- R, Development, Core and Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Online. Available at [cran.r-project.org/doc/](http://cran.r-project.org/doc/). Accessed on November 26, 2018.
- Rahn H., R. A. Ackerman, C. V. Paganelli. 1984. Eggs, yolk and embryonic growth rate. En: Whittow G.C. & H. Rahn (eds.), *Seabird Energetics*. Plenum Press. New York. 89-112pp.

- Rice, D. W., K. W. Kenyon. 1962. Breeding distribution, history, and populations of North Pacific Albatrosses. *Auk*. 79:365-386.
- Robertson, C. J. R. 2003. Albatrosses (Diomedidae). En: Hutchins M. (ed.), *Grzimek's Animal Life Encyclopedia*. Gale Group. Farmington Hills, MI. 113-116pp.
- Selander, R. K. 1966. Sexual dimorphism and differential niche utilization in birds. *The Condor* 68(2):113-151.
- Shaffer, S. A., H. Weimerskirch, D. P. Costa. 2001. Functional significance of sexual dimorphism in Wandering Albatrosses, *Diomedea exulans*. *Functional Ecology* 15(2):203-210.
- Shine, R. 1989. Ecological causes for the evolution of sexual dimorphism: a review of the evidence. *Q Rev Biol* 64(4):419-461.
- Stahl, J. C., P. M. Sagar. 2000. Foraging strategies and migration of southern Buller's albatrosses *Diomedea b. bulleri* breeding on the Solander Islands, New Zealand. *J. R. Soc. NZ* 30:319-334.
- Suryan, R. M., D. J. Anderson, S. A. Shaffer, D. D. Roby, Y. Tremblay, D. P. Costa, P. R. Sievert, F. Sato, K. Ozaki, G. R. Balogh. 2008. Wind, waves, and wing loading: morphological specialization may limit range expansion of endangered albatrosses. *PLoS One* 3(12): e4016.
- Svårdson, G. 1949. Competition and habitat selection in birds. *Oikos*. 1949 1:157–174.
- Templeton, A. R. 1992. The meaning of species and speciation: a genetic perspective. *The units of evolution*: 159-185.
- Tickell, W. L. 2013. The Biology of the Great Albatrosses, *Diomedea Exulans* and *Diomedea Epomophora*. In *Antarctic Bird Studies*, O. L. Austin Ed.. American Geophysical Union, USA, Washington D.C.
- Trivers, R. 1972. Parental investment and sexual selection Harvard University. *Sexual selection and the descent of man*. B. Campbell, ed. Aldine Press. USA, Chicago.
- Van Der Werf, E. A., L. C. Young. 2011. Estimating survival and life-stage transitions in the Laysan albatross (*Phoebastria Immutabilis*) using multistate mark-recapture models. *Auk*. 128:726-736.
- Warham, J. 1990. The petrels: their ecology and breeding systems. Academic Press. USA, San Diego, California.

- Wearmouth, V. J., D. W. Sims. 2008. Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals: behaviour patterns, mechanisms and conservation implications. *Advances in marine biology* 54:107-170.
- Weimerskirch, H., F. Bonadonna, F. Bailleul, G. Mabile, G. Dell’Omo, H. P. Lipp. 2002. GPS tracking of foraging albatrosses. *Science*. 295:1259-1259.
- Weimerskirch, H., Le Corre M., Gadenne H., Pinaud D., Kato A., Ropert-Coudert, C. A. Bost. 2009. Relationship between reversed sexual dimorphism, breeding investment and foraging ecology in a pelagic seabird, the masked booby. *Oecologia* 161(3): 637-649.
- Weimerskirch, H., P. Jouventin. 1987. Population dynamics of the wandering albatross, *Diomedea exulans*, of the Crozet Islands: causes and consequences of the population decline. *Oikos* 49:315–322.
- West-Eberhard, M. J. 1983. Sexual Selection, Social Competition, and Speciation. *The Quarterly Review of Biology* 58(2): 155-183.
- Whittow, G. C. 1993a. Laysan Albatross: *Diomedea immutabilis*. American Ornithologists' Union.
- Whittow, G. 1993b. Black-footed albatross (*Diomedea nigripes*). The American Ornithologists' Union.
- Wood, A., B. Naef-Daenzer, P. Prince, J. Croxall. 2000. Quantifying habitat use in satellite-tracked pelagic seabirds: Application of kernel estimation to albatross locations. *J. Avian Biol.* 31:278-286.
- Worton, B. J. 1989. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*. 70:164-168.
- Xavier, J., P. Trathan, J. Croxall, A. Wood, G. Podesta, P. Rodhouse. 2004. Foraging ecology and interactions with fisheries of wandering albatrosses (*Diomedea exulans*) breeding at South Georgia. *Fisheries Oceanography* 13(5):324-344.
- Young, L. C., B. J. Zaun, E. A. VanderWerf. 2008. Successful same-sex pairing in Laysan albatross. *Biology Letters* 4(4):323-325.

## 11. ANEXOS

### 11.1 Anexo A

#### PROGRAMA DE ACCIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS ESPECIES AVES MARINAS DEL PACIFICO MEXICANO.

##### PLAN DE MANEJO ALBATROS DE LAYSAN (*Phoebastria immutabilis*)

#### Objetivo general

Conservar las poblaciones de albatros de Laysan en las islas Guadalupe y Revillagigedo a través de la implementación de acciones de manejo y restauración basadas en información científica y su línea base.

#### Objetivos particulares

- Fortalecer la protección de las colonias, recursos alimenticios y hábitat de la especie mediante esquemas legales de protección, implementación de medidas de bioseguridad insular y actividades de inspección y vigilancia.
- Generar conocimiento científico sobre la biología y ecología del albatros de Laysan que permita mejorar las acciones de conservación.
- Coadyuvar a la restauración del ecosistema y sitios de anidación del albatros de Laysan en Isla Guadalupe y Revillagigedo por medio de la erradicación y/o control de especies depredadoras introducidas.
- Promover a nivel nacional e internacional una conciencia ambiental para la valoración y el cuidado de la especie y su hábitat.
- Implementar técnicas de restauración para incrementar el tamaño de su población en las islas y ampliar sus zonas de anidación.
- Disminuir o eliminar las perturbaciones antropogénicas en tierra y mar.
- Implementar actividades de divulgación sobre el cuidado y la importancia de esta especie con la comunidad que habita estas Islas, para así reducir el

disturbio causado por actividades humanas que conlleva a la perturbación de esta especie.

### **Metas generadas**

- Proteger bajo un esquema legal a todas las colonias reproductivas de la especie.
- Evitar la introducción de especies invasoras de flora y fauna a las islas donde anida la especie.
- Contar con una base sólida de conocimiento científico para el buen manejo de la especie.
- Realizar el monitoreo continuo de las poblaciones para evaluar las fluctuaciones a través del tiempo y detectar posibles amenazas a largo plazo.
- Participación activa de los actores clave en acciones para la conservación de las poblaciones de albatros de Laysan.

### **Acciones de conservación**

Como resultado del diagnóstico de conservación actual del albatros de Layan, a continuación se enlistan las acciones a implementar para la protección y conservación de la especie. Para facilitar la aplicación de las medidas, las actividades se categorizaron en seis componentes: protección, manejo, restauración, conocimiento, cultura y gestión.