



INFORME FINAL

DISEÑO CONCEPTUAL DE NIDOS ARTIFICIALES PARA GOLONDRINAS DE MAR EN EL NORTE DE CHILE



Red de Observadores de Aves de Chile y Vida Silvestre de Chile

Abril 2022



Servicio ejecutado por: Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC).

Coordinación: Rodrigo Silva, Pablo Gutiérrez.

Redacción del informe: Pablo Gutiérrez, Rodrigo Silva.

Diseño del estudio y revisión de informes: Ivo Tejeda, Rodrigo Silva, Fernando Medrano, Ronny Peredo.

Desarrollo mapas y figuras: Benjamín Gallardo.

Toma de datos: Rodrigo Silva, Ronny Peredo, Pablo Gutiérrez, Benjamín Gallardo, Nelson Contardo.

Contraparte ENEL: Bernardino Camousseigt.

Fotografía de portada: Archivo ROC.

Contacto: proyectogolondrinas@redobservadores.cl

Índice

1	Introducción	6
2	Objetivos.....	7
2.1	Objetivo principal.....	7
2.2	Objetivos específicos	7
3	Materiales y metodologías	8
3.1	Metodologías.....	8
3.2	Fecha de ejecución	14
3.3	Área de estudio	15
4	Resultados.....	17
4.1	Síntesis del conocimiento sobre golondrinas de mar que se reproducen en el desierto de Atacama.....	17
4.1.1	Antecedentes generales.....	17
4.1.2	Reproducción de las golondrinas de mar	18
4.1.3	Golondrina de mar negra	20
4.1.4	Golondrina de mar de collar	22
4.1.5	Golondrina de mar peruana.....	24
4.1.6	Golondrina de mar chica	26
4.1.7	Conservación de las golondrinas de mar en el norte de Chile	28
4.2	Revisión de experiencias internacionales de nidos artificiales para petreles que anidan en cavidades.....	28
4.2.1	Contexto y generalidades.....	28
4.2.2	Nidos artificiales en golondrinas de mar	31
4.3	Caracterización preliminar de la biología reproductiva de la golondrina de mar negra en las principales colonias	37
4.3.1	Dimensiones, tipos de entrada y profundidad.....	37
4.3.2	Temperatura al interior de los nidos	40
4.4	Evaluación del éxito reproductivo de la golondrina de mar negra en una temporada para poder comparar a futuro con el éxito de los nidos artificiales	41
4.4.1	¿Cuánto demoraron los huevos en eclosionar?	41

4.4.2	¿Cuánto demoraron las crías desde que nacieron hasta que abandonaron el nido?	41
4.4.3	Éxito reproductivo	43
4.5	Propuesta de Diseño de nidos artificiales para golondrinas de mar.....	44
4.5.1	Modelos de nidos artificiales	44
4.5.2	Habilitación de cavidades naturales	51
4.6	Plan de implementación	52
4.6.1	Emplazamiento	52
4.6.2	Fecha de instalación de los nidos artificiales	54
4.6.3	Uso de atractores sociales y olfativos	54
4.6.4	Monitoreo de la actividad reproductiva	55
4.7	Costos.....	57
5	Discusión	61
6	Bibliografía.....	63

Índice de figuras

Figura 3-1	Ejemplos de tipos de entrada descritos para los nidos de golondrina de mar negra...	9
Figura 3-2	Guía visual de estimación de edad de polluelos de golondrina de mar negra.....	12
Figura 3-3	Ubicación del área de estudio para la caracterización en terreno.....	16
Figura 4-1	Cavidad utilizada por golondrinas de mar para la nidificación	18
Figura 4-2	Ubicación de los sitios reproductivos de golondrinas de mar en el norte de Chile	19
Figura 4-3	Golondrina de mar negra en mar abierto.....	20
Figura 4-4	Esquema de la fenología reproductiva de la golondrina de mar negra	21
Figura 4-5	Distintas etapas del proceso reproductivo de la golondrina de mar negra: adultos incubando y pollo	22
Figura 4-6	Golondrina de mar de collar en mar abierto.....	23
Figura 4-7	Esquema de la cronología reproductiva de la golondrina de mar de collar	24
Figura 4-8	Golondrina de mar peruana en altamar	25
Figura 4-9	Golondrina de mar chica en altamar	26
Figura 4-10	Esquema de fenología de la golondrina de mar chica	27
Figura 4-11	Diseño de nido artificial para golondrinas de mar	31
Figura 4-12	Ejemplo de nido artificial a base de cerámica para golondrinas de mar.....	33

Figura 4-13 Ejemplo de nido artificial a base de cemento para golondrinas de mar	33
Figura 4-14 Toma de medidas de nidos de golondrinas de mar	38
Figura 4-15 Gráfico resumen de la orientación en el eje cardinal de los nidos evaluados (N=283)	39
Figura 4-16 Datalogger ubicado dentro de un nido de golondrina de mar	40
Figura 4-17 Cría de pocos días de vida de golondrina de mar negra.....	41
Figura 4-18 Cría de 1 o 2 días de vida, bajo uno de sus padres con restos de huevo eclosionado	42
Figura 4-19 Volantón de golondrina de mar negra registrado por cámara trampa	42
Figura 4-20 Diseño y dimensiones del modelo A (Herradura) para golondrinas de mar	47
Figura 4-21 Acoplamiento del modelo A (Herradura).....	48
Figura 4-22 Maqueta del modelo A (Herradura) a menor escala. El hormigón se puede moldear para imitar la estructura de las costras salinas.	48
Figura 4-23 Diseño y dimensiones del modelo B (Cajón) para golondrinas de mar	50
Figura 4-24 Cavidad habilitada para nido en sustrato natural.	51
Figura 4-25 Ubicación de las parcelas donde se implementarán los nidos artificiales	53
Figura 4-26 Ejemplo de parlante omnidireccional a utilizar en sistemas de atracción	59

Índice de Tablas

Tabla 3-1 Programación en detalle del servicio	14
Tabla 3-2 Nidos de golondrina de mar negra evaluados durante el servicio	15
Tabla 4-1 Resumen de las experiencias de nidos artificiales en golondrinas de mar.....	35
Tabla 4-2 Tabla resumen de los tipos de entrada detectados.....	37
Tabla 4-3 Éxito reproductivo y ocupación de golondrina de mar negra para la temporada 2021- 2022 por sectores.....	43
Tabla 4-4 Éxito reproductivo y ocupación de golondrina de mar negra para la temporada 2021- 2022 por tipo de entrada	43
Tabla 4-5 Resumen comparativo de los dos modelos de nidos artificiales a implementar	58

1 Introducción

Las golondrinas de mar, pertenecientes a las familias Oceanitidae e Hydrobatidae, son pequeñas aves pelágicas, de vuelo rápido y ágil, que viven la mayor parte de sus vidas en alta mar. El orden al que pertenecen, de los Procelariformes, se caracteriza por nidificar de forma gregaria, mostrando gran fidelidad a sus colonias reproductivas. Son especies longevas, que ponen un solo huevo, por cuanto las alteraciones con efectos en su reproducción son particularmente sensibles para su conservación.

Existen cuatro especies de golondrinas de mar que se reproducen en el norte de Chile, entre las regiones de Arica y Parinacota y el norte de Coquimbo. Estas corresponden a la golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*), la golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*), la golondrina de mar peruana (*Hydrobates tethys*) y la golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*).

Durante los últimos años se ha identificado una serie de amenazas para estas aves marinas, lo que ha llevado a la elaboración del Plan de Recuperación, Conservación y Gestión de golondrinas de mar en el norte de Chile (RECOGE). Dentro de estas amenazas, una de las más relevantes es el desarrollo de proyectos mineros y energéticos sobre sitios de reproducción, que puede implicar la destrucción de su hábitat de nidificación. En efecto, procesos de evaluación ambiental en los que se ha identificado la potencial interacción de proyectos energéticos con colonias de estas especies han derivado en el rechazo o desistimiento de estos proyectos.

En este contexto, una posible medida de manejo ambiental para compensar impactos sobre poblaciones de golondrinas de mar es la creación de nidos artificiales con el objetivo de aumentar la oferta de cavidades para su reproducción. ENEL Chile, a través Global Power Generation (GPG), contrató los servicios de la Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC) con el objetivo de elaborar un diseño conceptual de nidos artificiales para estas especies, como también para evaluar la factibilidad de su implementación en el norte de Chile.

Esta medida se inserta dentro de la Política de Biodiversidad de ENEL, la cual establece que, en caso de impactos residuales, se deben implementar medidas compensatorias que respeten el principio de “pérdida neta cero” de biodiversidad (*no net loss*); principio que es consistente con la Política Energética del Gobierno de Chile 2050.

Este documento corresponde al informe final del estudio “Diseño conceptual de nidos artificiales para golondrinas de mar en el norte de Chile”, cuyos objetivos se detallan a continuación.

2 Objetivos

2.1 Objetivo principal

Elaborar el diseño conceptual de nidos artificiales como medida de compensación frente a impactos sobre poblaciones de golondrinas de mar en el norte de Chile.

2.2 Objetivos específicos

- I. Elaborar una síntesis del conocimiento sobre golondrinas de mar que se reproducen en el desierto de Atacama.
- II. Desarrollar una revisión de experiencias internacionales de nidos artificiales para petreles que anidan en cavidades.
- III. Realizar una caracterización preliminar de la biología reproductiva de la golondrina de mar negra en sus principales colonias.
- IV. Evaluar el éxito reproductivo de la golondrina de mar negra en una temporada para orientar el objetivo de pérdida neta cero en los nidos artificiales.
- V. Elaborar un plan de implementación de nidos artificiales, que permita evaluar su efectividad como medida de compensación.

3 Materiales y metodologías

3.1 Metodologías

El servicio contempló variadas metodologías para cubrir las distintas etapas, incluyendo tanto trabajo de gabinete como de caracterización en terreno según se detalla a continuación:

1. Síntesis del conocimiento sobre golondrinas de mar que se reproducen en el desierto de Atacama

La metodología aplicada correspondió a la búsqueda sistemática de literatura relacionada a golondrinas de mar en el norte de Chile. La literatura consultada consideró artículos científicos, informes de servicios públicos y consultoras, complementados con datos no publicados del equipo consultor.

Se consideró como palabras claves: *golondrina de mar*, *Hydrobates*, *Oceanodroma*, *Oceanites*, *markhami*, *hornbyi*, *gracilis*, *tethys*. Como motores de búsqueda se utilizó: Google y Google Scholar. Además se consultaron las plataformas de documentación y bases de datos de eBird (<https://ebird.org>), Inaturalist (<https://www.inaturalist.org>) y del Servicio de Evaluación Ambiental (<https://sea.gob.cl/sea>).

Esta síntesis correspondió a la primera etapa desarrollada durante la ejecución del servicio, considerando cuatro semanas en total para la búsqueda de literatura, sistematización de la información y desarrollo del texto para su uso en informes.

2. Revisión de experiencias internacionales de nidos artificiales para petreles que anidan en cavidades

Para la revisión de experiencias internacionales en el uso de nidos artificiales se realizó una búsqueda sistemática de literatura, que consideró artículos científicos y planes de manejo que involucraran la implementación o evaluación de nidos artificiales para aves marinas.

Se utilizaron las siguientes palabras claves: *artificial nest*, *seabird*, *nestbox*, *Hydrobates*, *Oceanites*, *storm petrel*. Como motores de búsqueda se utilizaron Google, Google Scholar y ScienceDirect.

La búsqueda de literatura, sistematización de la información y elaboración del texto para uso en informes tuvieron una duración de ocho semanas y fue la segunda etapa desarrollada en la ejecución del servicio.

3. Caracterización de la biología reproductiva de colonias de golondrina de mar negra

Entre mayo 2021 y marzo 2022 se visitaron, una vez al mes, los sectores de nidificación de golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) ubicados en Pampa Chaca y Pampa Camarones, Región de Arica y Parinacota. Las visitas a terreno fueron realizadas por un equipo de 2 a 4 investigadores con experiencia en aves marinas y tuvieron una extensión de 4 a 6 días.

En los sectores de estudio se visitaron 10 parcelas de 70 metros de radio, en cuyo interior existen 329 nidos de golondrina de mar negra, identificados con anterioridad al inicio de este servicio. Todos los nidos se monitorearon con una frecuencia mensual durante todo el período, con excepción de los meses de agosto y noviembre de 2021, en los que se realizaron dos visitas mensuales con el objetivo de detectar con mayor precisión el número de huevos y polluelos en los nidos, en períodos teóricamente críticos para la determinación del éxito reproductivo. La evaluación de los nidos en terreno se realizó mediante las siguientes metodologías:

Medición e identificación de entrada: Para cada uno de los nidos de golondrina de mar negra previamente identificados se tomaron las medidas de ancho, alto, profundidad y orientación de la cavidad. Para la toma de medidas de la entrada (alto y ancho) se utilizó una cinta de medir, mientras que para estimar la profundidad se utilizó un boroscopio (cámara sonda), considerando la distancia entre la entrada y la cámara interior del nido. El modelo del boroscopio utilizado para esta metodología y la descrita a continuación es Depstech DS450. La orientación de los nidos se registró con una brújula, considerando hacia donde apunta la cavidad.

Todos los nidos fueron clasificados según el tipo de entrada a la cavidad, en relación al ángulo en que ingresan y salen los individuos. A modo general, la descripción del tipo de entradas a los nidos es la que se muestra en la Figura 3-1.

La orientación de los nidos fue evaluada mediante una brújula, considerando la dirección en la que salen los ejemplares desde el nido hacia el exterior. La orientación de los nidos con entrada del tipo L (N=46) no fue evaluada, ya que este tipo de entradas es perpendicular al suelo. En definitiva, para la evaluación de la orientación se consideró un total de 283 nidos.

Figura 3-1 Ejemplos de tipos de entrada descritos para los nidos de golondrina de mar negra



Fuente: Equipo ROC en terreno.

Tipo L: entrada en perpendicular al eje horizontal.

Recto: entrada en paralelo al eje horizontal.

Intermedia: entrada en diagonal al eje horizontal.

Múltiple: nido con más de una entrada.

Inspección con boroscopio: Se realizó una inspección con boroscopio en cada uno de los nidos, lo que permitió examinar visualmente el interior de la cavidad mediante una cámara ubicada al final de un cable semi-rígido. A través de esta herramienta se pesquisaron signos de ocupación dentro de las cavidades y se estableció el estado reproductivo en cada visita.

En algunos casos, la complejidad de la cavidad dificultó la observación de ejemplares o signos de ocupación en un nido, por lo que el método anterior se complementó con el uso de *playback*.

Uso de playback o señuelos acústicos: Se reprodujeron vocalizaciones de golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) a través de un pequeño parlante o teléfono celular en la entrada de cada nido. Las vocalizaciones se emitieron por 30 segundos, para luego esperar en silencio durante 1 minuto cualquier indicio de respuesta de algún ejemplar dentro de la cavidad. El objetivo de esta metodología fue detectar la ocupación de las cavidades, obteniendo como resultado la respuesta desde dentro de la cavidad de una pareja, un adulto incubando o un polluelo.

Uso de dataloggers: Para recabar información sobre la temperatura interna de los nidos se instalaron 4 dataloggers, modelo Thermochron DS1921G-F5. Estos fueron ubicados dentro de cuatro nidos en distintos estados reproductivos (tres en nidos con adulto incubando y uno en nido con pollo). La instalación de los dataloggers se realizó en nidos de profundidad igual o menor a 15-20 cm, ya que esto permitió una instalación y retiro expedito. Estos equipos fueron instalados en septiembre de 2021, manteniéndose en terreno por 2 meses, siendo retirados en noviembre 2021.

La información entregada por los equipos corresponde a la hora, fecha y temperatura ambiental. Los equipos fueron configurados para entregar esta información cada 4 horas. Para comparar y analizar los resultados de temperatura, se consultaron, de forma complementaria, las bases de datos ambientales de sitios meteorológicos como: MeteoBlue y Explorador Climático Chile.

4. Evaluación del éxito reproductivo de la golondrina de mar negra en una temporada para orientar el objetivo de pérdida neta cero en los nidos artificiales

Para la evaluación del éxito reproductivo se consideró el estado reproductivo de los nidos de golondrina de mar negra (N=329) durante toda la temporada reproductiva, en los sectores de Chaca y Camarones. Se consideró como exitoso a los nidos desocupados, sin signos de depredación, cuya evaluación mensual anterior consideró un volantón de más de 2 meses y medio de edad.

Para evaluar el número de días que tomaron los huevos en eclosionar, se consideraron los registros de nidos cuyo huevo había sido colocado muy recientemente al momento de su detección. Para la detección precisa de huevos nuevos se tomaron en consideración los siguientes parámetros.

- Aspecto: huevos de color blanquecino brillante, sin rugosidades ni secciones quebradas.
- Evaluación bimensual: durante agosto se evaluó cada nido dos veces, lo que implica que los nidos detectados en estas visitas fueron colocados como con una antigüedad máxima de 15 días.

Posterior a la detección de huevos nuevos, al detectar a través del boroscopio a crías de pocos días de vida en los mismos nidos se pudo estimar con un bajo porcentaje de error los días promedio en que se demoraron los huevos en eclosionar. Para evaluar la edad de las crías, se diseñó una guía visual del aspecto de los pollos cada cierto número de días (Figura 3-2).

Figura 3-2 Guía visual de estimación de edad de polluelos de golondrina de mar negra.



Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar los días que demoran las crías desde que nacen hasta que abandonan el nido, se tomó en consideración los registros de crías de pocos días de vida, específicamente aquellas observadas a través del boroscopio aún sin romper el cascarón del huevo en su totalidad. Estos registros indican que al momento de ser detectados, estos polluelos se encontraban en el día 1 o 2 desde su eclosión.

Como método complementario para la evaluación del estado y éxito reproductivo durante la temporada, se implementó la siguiente metodología:

Uso de cámaras trampa: Se instalaron seis cámaras trampa, modelo Moultrie M50, a 1,5 metros de distancia de la entrada de la cavidad de nidos de golondrinas de mar en estado de pollo o volantón. Las cámaras se instalaron durante los meses de octubre 2021 a enero 2022. La configuración de los equipos fue seleccionando el modo 'fotos y video' a una sensibilidad media del sensor de movimiento. Se instalaron tres equipos en el sector de Chaca y tres equipos en el sector de Camarones.

El objetivo de esta metodología fue obtener registros audiovisuales de las golondrinas de mar al momento de ingresar y egresar de los nidos para obtener información relevante sobre la frecuencia de visitas de las golondrinas para alimentar al polluelo, los horarios de actividad y la cantidad de días que se mantiene el pollo en el nido antes de salir. Las cámaras instaladas en nidos con presencia de volantón permitieron obtener registros audiovisuales con las fechas exactas del momento en que éstos hicieron abandono del nido.

De esta manera, al evaluar mensualmente las variables de:

- Nidos detectados desde el momento de su eclosión (polluelos con resto de huevo).
- Nidos que llegaron a término del ciclo (volantón haciendo abandono del nido).
- Nidos en los que se obtuvo registros audiovisuales del momento en que abandonaron el nido a través del uso de cámaras trampa.

Se pudo estimar con un bajo grado de error los días que transcurren desde la eclosión del huevo hasta que hace abandono el volantón.

Para el cálculo del **éxito reproductivo** se tomó en consideración la cantidad de volantones que abandonaron el nido en relación a la cantidad de huevos puestos en la temporada (León & Minguez 2003).

5. Formulación de propuesta de nidos artificiales

A partir de los resultados de la revisión de experiencias internacionales y la descripción de biología y éxito reproductivo, el equipo consultor elaboró dos propuestas a criterio experto.

Los modelos propuestos cumplieron con las tres siguientes condiciones generales: **a)** tener características físicas semejantes a los nidos naturales, **b)** ser funcionales para el resguardo del ciclo reproductivo y **c)** permitir un monitoreo adecuado de la actividad reproductiva. Otras características de los modelos propuestos se presentan como resultados.

3.2 Fecha de ejecución

El servicio del diseño conceptual de nidos artificiales para golondrinas de mar se ejecutó entre mayo 2021 y marzo 2022, con una duración total de 11 meses. El detalle de las actividades realizadas durante la ejecución del servicio se encuentra en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Programación en detalle del servicio

Actividad	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Reunión de kick-off	X										
Reunión de avance		X	X	X	X	X	X			X	
Revisión golondrinas de mar en el norte de Chile	X										
Revisión experiencias internacionales	X	X									
Desarrollo de informes			X	X						X	X
Entrega de informe de avance				X							
Caracterización en terreno	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Diseño conceptual nidos artificiales							X	X	X	X	X
Planificación de pruebas experimentales							X	X	X	X	X
Reunión de cierre											X
Entrega de informe final											X

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Área de estudio

El área de estudio para la caracterización de biología reproductiva correspondió a los sectores de Pampa Chaca y Pampa Camarones, provincia de Arica, Región de Arica y Parinacota.

Previo a la ejecución de este servicio, se identificaron y marcaron nidos de golondrina de mar negra en ambos sectores, con el objetivo de recabar información relevante de su biología mediante un monitoreo a largo plazo. Estos mismos nidos fueron aquellos donde se obtuvo la información relevante para la ejecución de este servicio.

Los nidos se encuentran dentro de parcelas de 70m de radio (1,54 hectáreas), este radio fue establecido con el objetivo de poder estudiar y monitorear una cantidad de nidos y un área total accesible a la capacidad del equipo de investigadores durante un largo plazo (Figura 3-3).

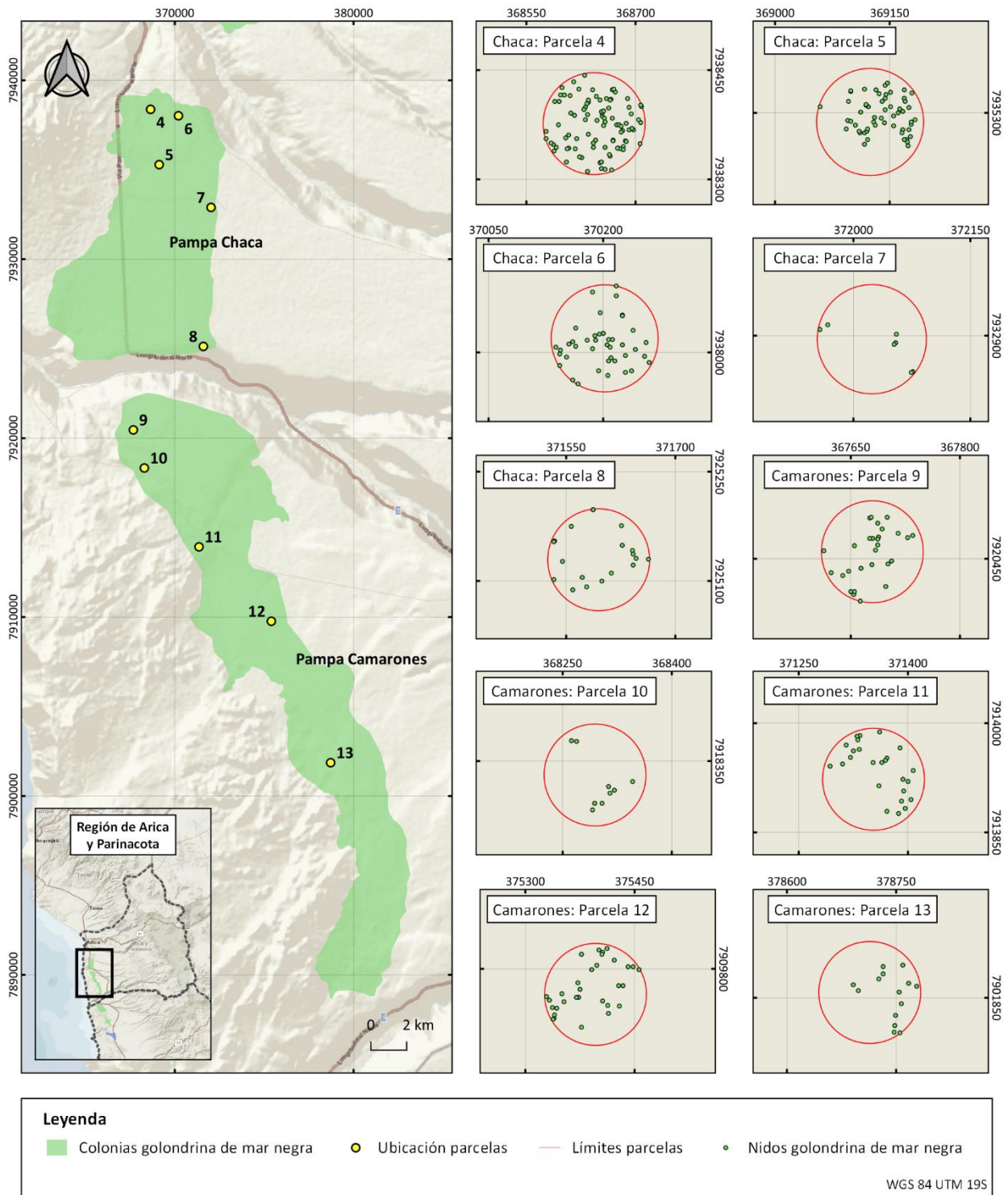
Para la caracterización en terreno se consideraron 329 nidos de golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) ubicados en 10 parcelas distintas en los sectores de Pampa Chaca (N=220) y Pampa Camarones (N=109). El detalle del número de nidos por sector y parcela se encuentra en Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Nidos de golondrina de mar negra evaluados durante el servicio

Parcela ID	Sector	N° de Nidos
4	Pampa Chaca (n=220)	94
5		58
6		41
7		7
8		20
9	Pampa Camarones (n=109)	28
10		10
11		25
12		32
13		14
Total	-	329

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Ubicación del área de estudio para la caracterización en terreno



Fuente: Elaboración propia.

4 Resultados

4.1 Síntesis del conocimiento sobre golondrinas de mar que se reproducen en el desierto de Atacama.

4.1.1 Antecedentes generales

Las golondrinas de mar son pequeñas aves marinas, pertenecientes a las familias Oceanitidae e Hydrobatidae, del orden Procellariiformes. Habitan aguas marinas alejadas de la costa, donde se alimentan de pequeños peces, crustáceos y cefalópodos.

Se reproducen en tierra firme, en colonias que generalmente se encuentran en islas o acantilados costeros, aunque algunas especies –como aquellas que habitan el norte de Chile- pueden estar decenas de kilómetros tierra adentro. Nidifican gregariamente, mostrando gran fidelidad a sus sitios reproductivos.

En Chile habitan regularmente nueve especies de golondrinas de mar, distribuidas desde el extremo norte hasta los mares subantárticos y aguas adyacentes a islas oceánicas. Cinco de estas habitan el océano Pacífico en el norte de Chile y en cuatro se ha confirmado la reproducción en la zona norte del país. La golondrina de mar fueguina (*Oceanites oceanicus chilensis*) es una especie presente en bajos números en aguas del norte de Chile, siendo más abundante en la zona central y sur del país. Los sitios reproductivos confirmados de esta especie en el país se ubican en islas de Cabo de Hornos; sin embargo, la presencia de volantes caídos en las mismas fechas y sitios, durante aproximadamente 100 años, sugiere que nidificaría en la cordillera de los Andes entre las regiones de Coquimbo y Ñuble. En el norte de Chile las especies nidificantes son la golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*), golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*), golondrina de mar peruana (*Hydrobates tethys*) y golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*) (Figura 4-2).

El conocimiento de la biología y ecología de estas cuatro especies es rudimentario, tanto en lo referido a su vida en el mar como en cuanto a su reproducción. En el norte de Chile, hasta hace pocos años sólo se conocía la reproducción de la golondrina de mar chica y peruana en colonias pequeñas en islotes no muy alejados de la costa. Solo en 2013 se descubrió que la golondrina de mar negra nidifica en el desierto interior de Chile y desde entonces, esta estrategia reproductiva se ha documentado en otras dos especies (golondrina de mar de collar y golondrina de mar chica). Con todos los antecedentes, actualmente se conocen diversos sitios reproductivos para estas cuatro especies, entre las regiones de Arica y Parinacota y Atacama, hasta 75 km tierra adentro (en el caso de las golondrinas de mar de collar y chica).

Las principales brechas de información para estas especies tienen que ver con la existencia de colonias que aún permanecen desconocidas y con las rutas que conectan las áreas de distribución en el mar con los sitios de reproducción. Uno de los factores que ha contribuido a

este desconocimiento es el hecho de que las golondrinas de mar visiten sus colonias de noche, lo que dificulta su detección y a la vez explica una de sus principales amenazas. Asimismo, no se conocen con precisión las zonas de mayor relevancia mar adentro, que utilizan para alimentarse y donde pasan la mayor parte del tiempo.

4.1.2 Reproducción de las golondrinas de mar

Las golondrinas de mar no construyen sus nidos, sino que utilizan cavidades existentes (Figura 4-1). Se reproducen como máximo una vez por año, poniendo un solo huevo, por lo que la pérdida de nidos supone un evento que puede tener impactos relevantes sobre su conservación.

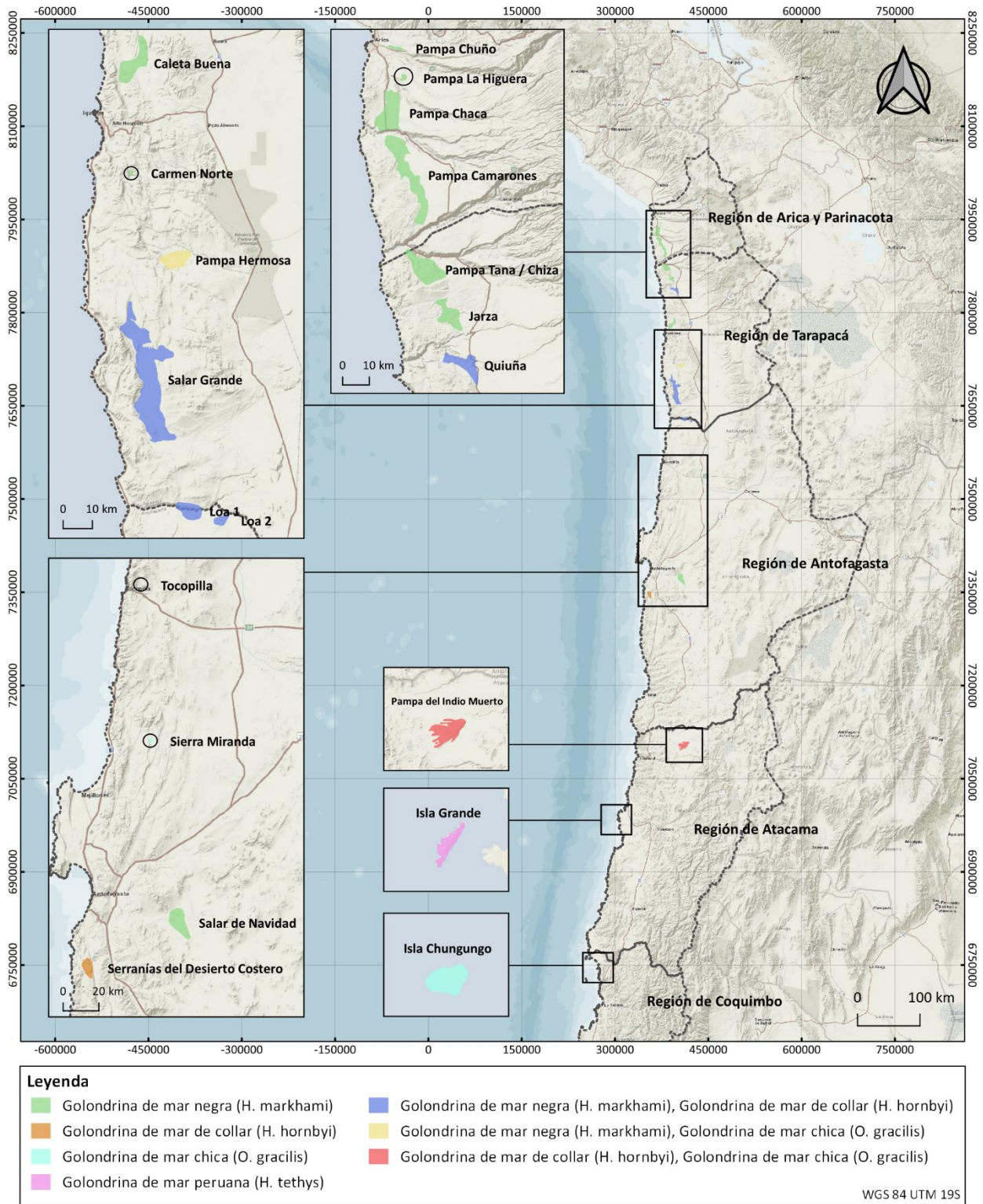
La temporada reproductiva se sub-divide en las etapas de (i) marcaje de territorios, (ii) incubación de los huevos, (iii) alimentación de los pichones y (iv) salida de los volantones del nido, extendiéndose por entre 3,5 y 5,7 meses para cada pareja (en el caso de la golondrina de mar negra, Jahncke 1994). Como no todas las parejas comienzan su reproducción simultáneamente, distintos nidos de una misma colonia puedan encontrarse en distintas etapas. Adicionalmente, factores como ciclos lunares y disponibilidad de recursos alimenticios podrían causar una variación interanual en el comienzo de la reproducción.

Figura 4-1 Cavidad utilizada por golondrinas de mar para la nidificación



Fuente: Banco de imágenes ROC

Figura 4-2 Ubicación de los sitios reproductivos de golondrinas de mar en el norte de Chile



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Golondrina de mar negra

La golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) habita aguas tropicales y pelágicas del océano Pacífico, desde Centroamérica hasta el norte de Chile (Murphy 1936, Spear & Ainley 2007) (Figura 4-3). Se alimenta de cefalópodos, peces pelágicos y mesopelágicos (García-Godos 2002, Vargas 2019) y solo visita tierra firme durante la época reproductiva.

Figura 4-3 Golondrina de mar negra en mar abierto



Fuente: Fernando Díaz.

Las colonias reproductivas se ubican en sectores con afloramientos de sal que ofrecen fisuras y cavidades naturales (Jahncke 1993, Torres-Mura & Lemus 2013, Barros *et al.* 2019, Medrano *et al.* 2019). En la actualidad se conoce su reproducción en los siguientes sectores del norte de Chile:

Región de Arica y Parinacota: Pampas Chuño, La Higuera, Chaca y Camarones (Torres-Mura & Lemus 2013, Barros *et al.* 2019, Medrano *et al.* 2019).

Región de Tarapacá: Pampa Tana/Chiza, Salar de Quiuña, Jarza, Caleta Buena (Pampa Perdiz), El Carmen norte, Pampa Hermosa y Salar Grande (Barros *et al.* 2019, Malinarich & Vallverdú 2019, Medrano *et al.* 2019).

Región de Antofagasta: Río Loa y Salar de Navidad (Medrano *et al.* 2019).

Su población se estima en 700.000 - 1.600.000 individuos a partir de conteos en mar abierto (Spear & Ainley 2007), pero solo en 115.000 – 116.000 individuos mediante conteos en colonias reproductivas (Barros *et al.* 2019, Medrano *et al.* 2019).

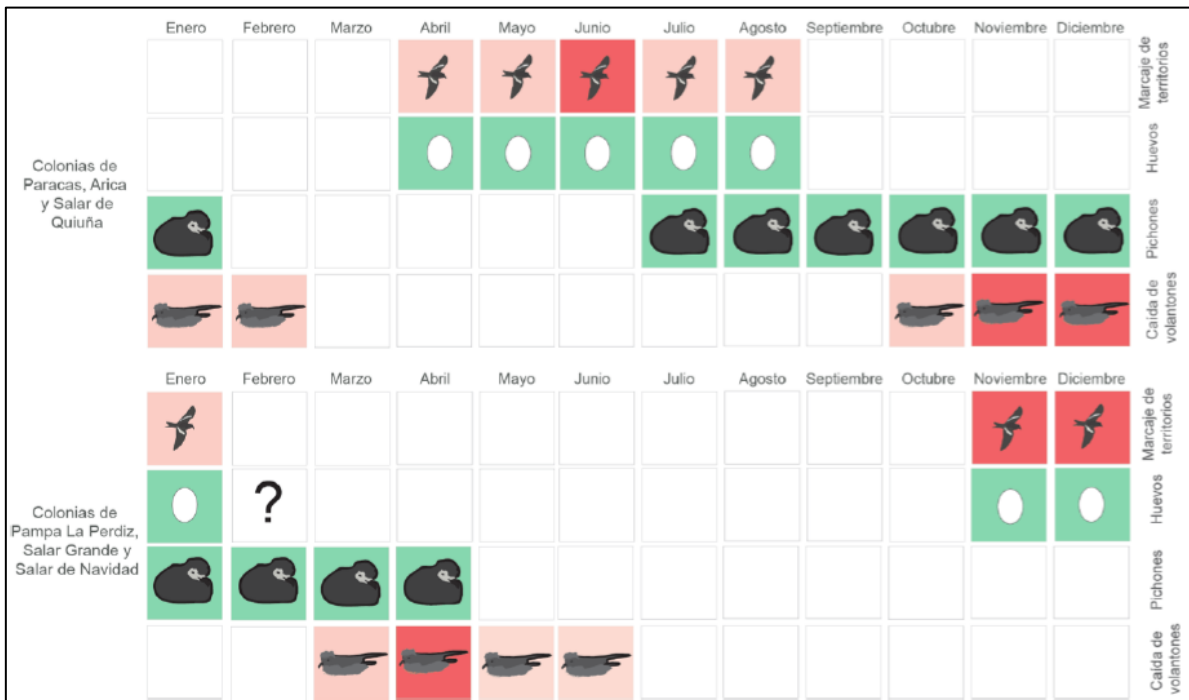
Existen dos poblaciones con distinta fenología reproductiva: una compuesta por las colonias de Quiuña al norte y otra compuesta por las colonias de Caleta Buena al sur (Barros *et al.* 2019, Medrano *et al.* 2019) (Figura 4-4).

En la población norte, el marcaje de territorios ocurre entre abril y agosto, con un *peak* de despliegues reproductivos en junio. Se observan nidos con huevos (Figura 4-5) entre abril y agosto y las crías de la temporada (volantones) abandonan los nidos entre octubre y febrero, con un *peak* en diciembre.

Por otro lado, la población sur inicia los despliegues y marcajes de territorio durante noviembre y diciembre. La incubación de huevos ocurre entre noviembre y febrero y el ciclo concluye en mayo-junio, con un *peak* de salida de volantones en el mes de abril.

En las colonias de Quiuña, río Loa, Salar Grande y Salar de Navidad comparte los sitios de nidificación con *H. hornbyi* en una proporción que aún se desconoce. En Pampa Hermosa comparte el sitio con *O. gracilis* (Malinarich & Vallverdú 2019, Medrano *et al.* 2019).

Figura 4-4 Esquema de la fenología reproductiva de la golondrina de mar negra



Fuente: Medrano *et al.* 2019.

Figura 4-5 Distintas etapas del proceso reproductivo de la golondrina de mar negra: adultos incubando y pollo



Fuente: Banco de imágenes ROC

La golondrina de mar negra se encuentra clasificada “En Peligro” debido a un restringido número de localidades (colonias) que se encuentran sometidas a constantes amenazas (MMA 2018). A nivel global, la especie está clasificada como Casi Amenazada (Birdlife International 2019).

4.1.4 Golondrina de mar de collar

La golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*) es un ave pelágica que se desenvuelve mar adentro entre 40 y 300 km de la costa, siendo endémica de la corriente de Humboldt (Figura 4-6). Su distribución abarca desde el sur de Ecuador hasta los mares de la región de Atacama en Chile (Medrano *et al.* 2021).

Es una especie cuyos sitios reproductivos eran desconocidos hasta el año 2017, cuando se encontró la primera colonia en Pampa del Indio Muerto, Región de Atacama (Barros *et al.* 2018). Además de esta colonia, se han reportado sitios con nidos aislados en los sectores de Quiuña, Salar Grande, río Loa, Salar de Navidad y Serranías del Desierto costero (Malinarich & Vallverdú 2019, Medrano *et al.* 2019, Pino *et al.* 2021) (Figura 4-2). Es altamente probable que existan sitios reproductivos aún sin descubrir, debido a las observaciones de volantones caídos en las ciudades de Lima, Arica, Iquique y Antofagasta.

La estimación de su tamaño poblacional se encuentra limitada debido a la falta de conocimiento de muchos aspectos de la especie. Birdlife International (2017) estima una población de 500.000 a 800.000 individuos, sin embargo, estimaciones en la única colonia reproductiva descrita de la

especie estiman una población de unas 7.900-8.000 parejas reproductivas, es decir 16.000 individuos maduros (Medrano *et al.* 2019).

Figura 4-6 Golondrina de mar de collar en mar abierto



Fuente: Pio Marshall

Similar a otras golondrinas de mar, la golondrina de mar de collar únicamente visita tierra firme para reproducirse. Utiliza cavidades naturales en afloramientos de costra salina y yeso (Barros *et al.* 2018) y en pequeñas cuevas en quebradas rocosas (Pino *et al.* 2001). Nidifica tanto en colonias como en nidos aislados. En la colonia de Pampa del Indio Muerto se evidenció la nidificación de golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*) junto a esta especie (Barros *et al.* 2021).

Respecto a su fenología, se reportan nidos con huevos entre diciembre y enero, lo que implicaría despliegues reproductivos posiblemente entre noviembre y enero. Los polluelos se han observado entre febrero y junio, y volantones fuera del nido atraídos por luminarias entre abril y septiembre, con un *peak* de caída de volantones en mayo y junio (Medrano *et al.* 2019, Silva *et al.* 2020) (Figura 4-7). A diferencia de la golondrina de mar negra, en esta especie sólo se ha encontrado un calendario reproductivo, con un *peak* de actividad entre diciembre y junio (Barros *et al.* 2018, Medrano *et al.* 2019).

Figura 4-7 Esquema de la cronología reproductiva de la golondrina de mar de collar



Fuente: Medrano *et al.* 2019

En relación a su estado de conservación, durante el proceso 16° de Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) fue clasificada en la categoría Vulnerable (MMA 2020), mientras que a nivel global se encuentra Casi Amenazada (Birdlife International 2019).

4.1.5 Golondrina de mar peruana

La golondrina de mar peruana (*Hydrobates tethys*) es un ave pelágica con 2 subespecies reconocidas (Figura 4-8). La subespecie 'tethys' se distribuye en aguas circunscritas alrededor de las Islas Galápagos, mientras que 'kelsalli' tiene distribución desde Baja California hasta el norte de Chile (Carboneras *et al.* 2020).

En Galápagos, la subespecie *tethys*, nidifica en dos localidades confirmadas (islas Pitt y Genovesa) y se cree que podría nidificar en una localidad adicional (Roca redonda) (Carboneras *et al.* 2019). En Perú, la subespecie *kelsalli* se reproduce en al menos ocho islas (Foca, Chao, Corcovado, Ferrol, Pescadores, San Lorenzo, San Gallán y La Vieja) (Carboneras *et al.* 2019, García-Olaechea 2020). En Chile solo se conoce un área de nidificación, en la Isla Grande de Atacama (Bernal *et al.* 2006) (Figura 4-2), pero a partir del hallazgo de volantones en la aduana Loa, se sospecha que podría existir sitios reproductivos en esa latitud, en islas o el desierto interior (Barros y la Red de observadores de aves, 2019).

Figura 4-8 Golondrina de mar peruana en altamar



Fuente: Fernando Díaz

La población de esta especie se estima en 620.000-1.100.000 individuos a partir de conteos en mar abierto (Spear & Ainley 2007). En las Islas Galápagos la población de ‘tethys’ se estima en al menos 200.000 parejas, mientras que para ‘kelsalli’ en Perú y Chile no se conocen estimaciones poblacionales. La única colonia conocida en Chile, en Isla Grande, Región de Atacama, está estimada en unos 100 individuos maduros; sin embargo, puede haber individuos no registrados (Bernal *et al.* 2006).

La golondrina de mar peruana nidifica en rocas o bajo la cobertura arbustiva (Carboneras *et al.* 2019), en cuevas o grietas de 15 cm de diámetro de entrada y unos 15-30 cm de profundidad (Ayala *et al.* 2008). Como una particularidad, la población de Islas Galápagos visita las colonias durante el día, lo que es una excepción para *Hydrobatidae* (Carboneras *et al.* 2020). Por otro lado, en Perú y Chile la especie tiene actividad nocturna en las colonias.

En la Isla Grande de Atacama los nidos se han registrado a nivel del suelo y en laderas de quebradas, en parches dispersos de hasta 10 nidos, reconocibles por las marcas de guano en la entrada de las cuevas. Los nidos ubicados en el extremo norte de la isla, se encuentran junto a nidos de otras aves marinas como son el yunco de Humboldt (*Pelecanoides garnotii*) y el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) (Luna 2018).

En relación a su fenología, ‘tethys’ en Islas Galápagos, se reproduce durante todo el año, con *peak* de actividad en mayo y junio (Harris 1969), mientras que ‘kelsalli’ en Perú, coloca huevos

entre mayo y junio (Ayala *et al.* 2004). Para Chile, la información de la Isla Grande de Atacama, describe la postura de huevos en diciembre, con los volantones saliendo del nido de marzo a abril (Bernal *et al.* 2006, Luna 2015). Esta fenología coincide con el hallazgo de juveniles atraídos por luces en las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá (eBird 2021, Barros y la red de observadores de aves 2019, Silva *et al.* 2020).

A nivel global la especie se encuentra catalogada en Preocupación Menor (Birdlife International 2019), mientras que para Chile el 16° proceso del Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) la clasificó en categoría de Vulnerable (MMA 2020).

4.1.6 Golondrina de mar chica

La golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*) es una especie pelágica, asociada a la corriente de Humboldt (Figura 4-9). Se describen dos subespecies, 'galapagoensis' circunscrita a las aguas alrededor de las Islas Galápagos y 'gracilis' distribuida desde Ecuador hasta la Región de Coquimbo mar adentro hasta 500 km de la costa (Medrano *et al.* 2018, Howell & Zufelt 2019).

A pesar de ser una especie abundante, existen muchos aspectos de su ciclo de vida aún desconocidos. Para la subespecie 'gracilis', hasta el año 2019, solo se conocía una colonia reproductiva ubicada en la Isla Chungungo, Región de Coquimbo (Hertel & Torres-Mura 2003). Actualmente se conocen sitios reproductivos tierra adentro en Pampa Hermosa (Región de Tarapacá), Tocopilla y Sierra Miranda (Región de Antofagasta) y Pampa del Indio Muerto (Región de Atacama) (Malinarich & Vallverdú 2019, Barros *et al.* 2021) (Figura 4-2)

Figura 4-9 Golondrina de mar chica en altamar



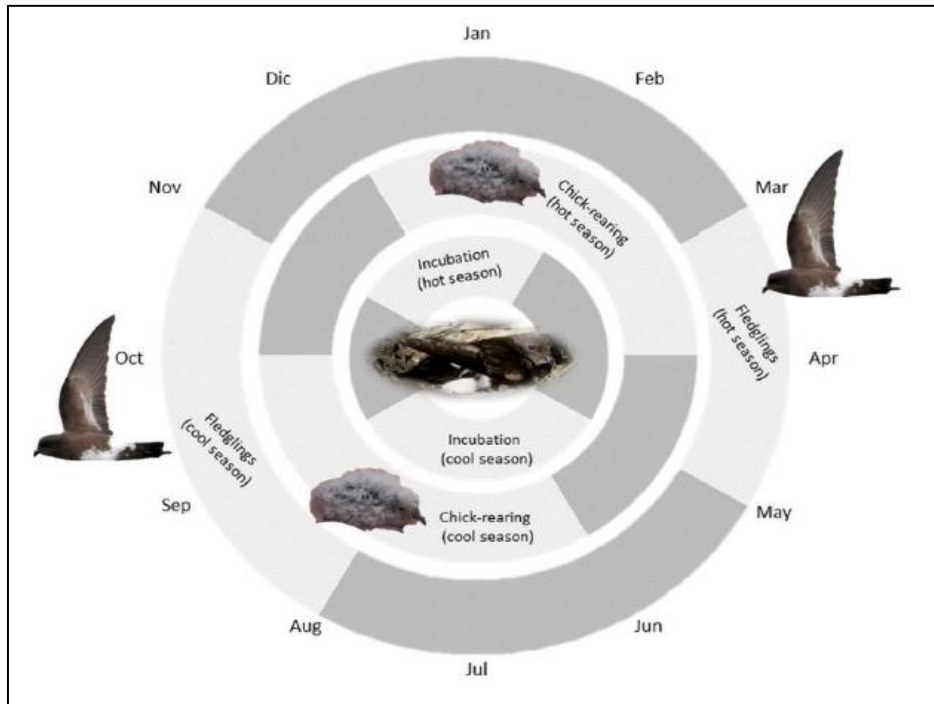
Fuente: Rodrigo Silva

La población de esta especie se estima en unos 340.000– 1.000.000 individuos a partir de conteos en el mar (Spear & Ainley 2007). Actualmente no hay estimaciones poblacionales derivadas del conteo en colonias reproductivas. Se conocen 14 nidos en la colonia de Pampa Hermosa y 11 en isla Chungungo (Barros *et al.* 2021).

Se ha registrado nidificando en sectores con presencia de otras especies: a) En la colonia de Pampa Hermosa, cuyos afloramientos de sal presentan abundantes cavidades naturales, utilizadas por golondrina de mar chica y golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) (Malinarich & Vallverdú 2019); b) En la colonia de Pampa del Indio Muerto en cavidades naturales de sustrato salino y yeso se registraron nidos de golondrina de mar chica donde prevalece una colonia de golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*). Las cavidades encontradas poseen entradas angostas (<10 cm) y longitud variable (40-150 cm) (Barros *et al.* 2021).

Respecto a la fenología de la especie, la información es aún escasa, sin embargo, parece presentar un patrón bimodal de reproducción. Una población se reproduciría iniciando en mayo, con salida de volantones en agosto; mientras otra población empezaría entre noviembre y enero con la puesta de huevos, finalizando en marzo-abril con la salida de volantones (Barros *et al.* 2021) (Figura 4-9).

Figura 4-10 Esquema de fenología de la golondrina de mar chica



Fuente: Elaboración propia.

Actualmente la golondrina de mar chica se encuentra catalogada como 'Datos Insuficientes' por el 14° proceso del Reglamento de Clasificación de Especies (RCE) (MMA 2018) y globalmente en la misma categoría (Birdlife International 2019).

4.1.7 Conservación de las golondrinas de mar en el norte de Chile

Las cuatro golondrinas de mar que se reproducen en el norte de Chile han sido clasificadas según el Reglamento de Clasificación de Especies silvestres (RCE).

El plan de recuperación, conservación y gestión de las golondrinas de mar del norte de Chile (RECOGE), actualmente en etapa de toma de razón por Contraloría para su promulgación, identifica las siguientes amenazas como principales: (i) Contaminación lumínica (ii) Emplazamiento de obras areales en sitios de reproducción (iii) Construcción, ampliación y funcionamiento de caminos primarios y secundarios que cruzan colonias (iv) Dispersión de basura por el viento, que obstruye cavidades (principalmente latas y botellas plásticas).

El fenómeno de atracción y caída producto de iluminación artificial es actualmente la amenaza de mayor relevancia para las golondrinas de mar. Este fenómeno afecta en su mayoría a volantones, por lo que ocurre principalmente cuando las crías de la temporada dejan sus nidos. Esta amenaza ha sido evidenciada en mayor proporción en la golondrina de mar negra (*H. markhami*) ocurriendo en Arica principalmente entre noviembre y enero, con *peak* en diciembre, mientras que en Iquique tiene el *peak* durante abril.

4.2 Revisión de experiencias internacionales de nidos artificiales para petreles que anidan en cavidades.

4.2.1 Contexto y generalidades

Las aves marinas son un particular grupo de aves, cuyos ciclos de vida se han adaptado al mar. No existe una definición única para el concepto 'aves marinas', sin embargo, este normalmente considera a aquellas especies de los órdenes Procellariiformes (albatros y petreles), Sphenisciformes (pingüinos), Suliformes (cormoranes) y algunos miembros del orden Charadriiformes (Salteadores, gaviotas, gaviotines y pollitos de mar) (Schreiber *et al.* 2001).

Algunas de las características que comparten las aves marinas, en especial los Procellariiformes, están relacionadas a la reproducción y ciclos de vida. En general, una gran cantidad de especies tiene en común que: a) forman colonias reproductivas, las cuales varían en el número de individuos, pudiendo llegar a cientos de miles en algunas especies; b) nidifican en cavidades, roqueríos o acantilados, usualmente en islas y sitios de difícil acceso a depredadores; c) muestran una gran fidelidad a los sitios reproductivos, pudiendo volver al mismo nido por muchos años; y d) son aves longevas, cuya madurez sexual toma varios años en ser alcanzada y en general colocan un solo huevo (Gaston 2004).

Actualmente, gran parte de las especies de aves marinas se encuentran bajo algún grado de amenaza en su conservación (Dias *et al.* 2019). Las principales amenazas que se han identificado a nivel global son la pesca incidental, la contaminación lumínica, la polución de los océanos y aquellas que afectan su reproducción, como la introducción de especies invasoras, la expansión humana provocando perturbación en colonias y el cambio climático (Rodríguez *et al.* 2019).

Una medida en beneficio de la conservación de muchas de estas especies amenazadas es la implementación de nidos artificiales. Estos han sido utilizados por más de un siglo, describiéndose el uso de cavidades artificiales en el siglo XIX para la captura y consumo de aves marinas en Portugal (Warham 1982). Desde otra perspectiva, los nidos artificiales como herramienta de uso científico son implementados desde al menos la década de los 50' en aves marinas como petreles, fardelas, golondrinas de mar y otras especies en una gran cantidad de ambientes y sitios en el mundo (Warham 1982, Bolton *et al.* 2004), permitiendo estudiar las características reproductivas de una especie en un ambiente semicontrolado (Priddle & Carlie 1995).

En el ámbito de la conservación, el objetivo principal de los nidos artificiales es ser una medida que aumente la reproducción de la especie objetivo de la siguiente forma: a) aumentando el hábitat disponible para la reproducción en ambientes degradados o con déficit de cavidades naturales, b) estableciendo nuevas poblaciones en sitios con ausencia de depredadores y perturbaciones, pero desprovistos de cavidades naturales.

El uso de nidos artificiales se aplica en distintos casos, ya sea especies con problemas de conservación, o en sitios reproductivos que se han visto afectados negativamente. Estos nidos pueden proveer una mayor estabilidad en las poblaciones de aves marinas, siendo en algunos casos más resistentes al efecto de erosión y cambios de suelo por variables ambientales que los nidos naturales.

Algunos de los materiales más utilizados en la confección de nidos artificiales para aves marinas corresponden a: plástico y sus derivaciones como polietileno y PVC, cerámica, madera y cemento, que presentan distintas propiedades que deben ser consideradas al momento de su implementación. Uno de los mayores desafíos para el diseño y puesta en marcha de los nidos artificiales es imitar de la mejor manera las características específicas del nido de la especie de interés, permitiendo el correcto desarrollo del ciclo reproductivo dentro de este, al igual que el uso de materiales que soporten las condiciones ambientales del lugar.

El plástico y sus derivaciones tienen la ventaja de poseer una mediana a larga duración en terreno, así como una fácil forma de transporte y elaboración. Sin embargo, el uso de nidos artificiales de plástico se encuentra limitado al ambiente de la especie a evaluar, debido a que son propensos a calentarse demasiado en sectores de alta temperatura o constante exposición solar.

Por otro lado, para mitigar el efecto de sobrecalentamiento de los nidos artificiales, algunos estudios utilizan madera en su diseño (Fromant *et al.* 2020). Este material tiene como ventaja adicional, tener un bajo costo de elaboración. Sin embargo, este tipo de nidos tiene una baja duración, debiendo ser reemplazados más frecuentemente que aquellos de plástico.

En estudios de mediano a largo plazo, donde la duración de los nidos artificiales está proyectada a varios años, se ha empleado como alternativa de material base el uso de cemento. Este material presenta una larga duración, es de bajo costo y mantiene la temperatura de mejor manera que los nidos elaborados a partir de plástico. Entre sus desventajas se describe que son de difícil transporte y en general deben ser elaborados cercanos al sitio de instalación.

Además de proveer un sustrato adecuado para la reproducción de aves marinas, el uso de nidos artificiales ha beneficiado el estudio de un gran número de especies. Muchos de los diseños de estos nidos incluyen aperturas o tapas desmontables que permiten la visualización y manejo de las aves. Esto ha sido utilizado para la instalación de cámaras, instrumentos de medición de variables como temperatura y humedad, anillos y transmisores satelitales, entre otros.

Para evaluar este tipo de medidas en el tiempo es importante conocer previamente las características y requerimientos reproductivos de la especie, así como su fenología y éxito reproductivo en condiciones naturales¹.

Un factor importante a considerar observado en múltiples estudios en el uso de nidos artificiales en aves marinas, es que el proceso es lento. Es común que la ocupación de los nidos artificiales en los primeros años de implementación sea baja y en algunos casos incluso nula. A medida que pasa el tiempo, la ocupación de los nidos artificiales aumenta y se han reportado experiencias donde el éxito reproductivo llega a superar al de cavidades naturales.

Los nidos artificiales para aves marinas han tenido un uso limitado como medida de compensación (prácticamente todas las experiencias encontradas respecto al uso de nidos artificiales corresponden a iniciativas de conservación de especies amenazadas), sin embargo, existen casos puntuales. Nidos artificiales se han propuesto como medida de compensación en proyectos energéticos, como en el caso de plataformas artificiales que brindan sustrato para la nidificación de aves marinas en Norfolk, isla del Reino Unido (HaskoningDHV 2020) e islotes del condado de Humboldt, California, Estados Unidos (Fish and Wildlife Service 2008). La implementación de esta medida en California fue finalmente rechazada debido a la incertidumbre del éxito por carencia de estudios previos (Fish and Wildlife Service 2008).

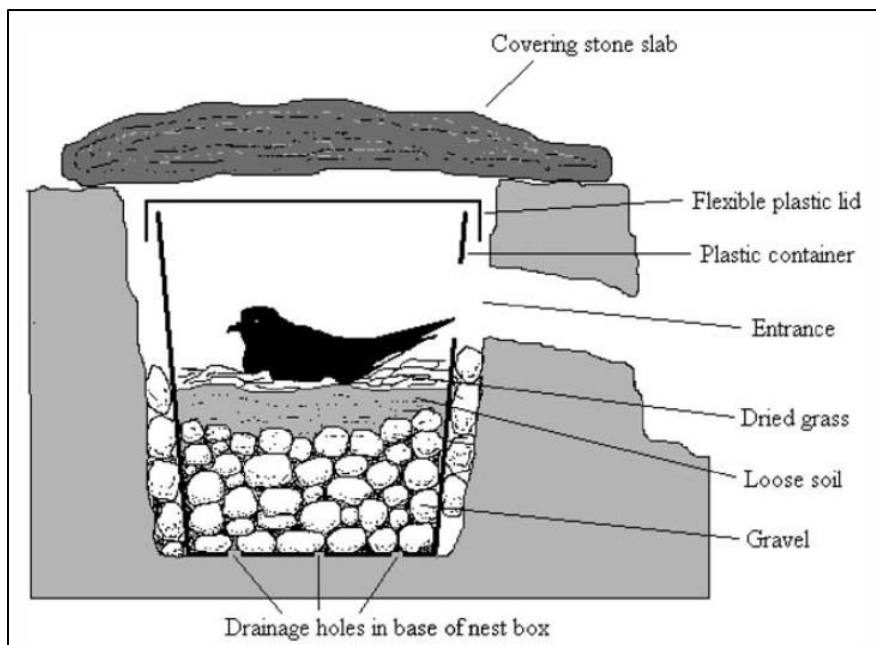
¹ Leon & Minguéz (2003) describen el éxito reproductivo como la proporción de volantones que abandonan el nido en relación a la cantidad de huevos puestos en la temporada

4.2.2 Nidos artificiales en golondrinas de mar

Esta sección presenta los resultados de una revisión sistemática de experiencias de nidos artificiales con golondrinas de mar (familia Oceanitidae y familia Hydrobatidae) a nivel internacional (once artículos). También se presenta un resumen de cada uno, así como el año de publicación, especie estudiada, material del nido y el éxito reportado se presenta en la Tabla 4-2.

Existen múltiples experiencias del uso de nidos artificiales en golondrinas de mar, siendo utilizados en colonias de distintas especies, con hábitats diversos, pero siempre en islas. Estas experiencias se han enfocado en reducir la dificultad de monitorear sistemáticamente las complejas y pequeñas cavidades donde se reproducen las golondrinas de mar, existen grandes vacíos de conocimiento en muchas de estas especies (Brooke 2004, Rodríguez *et al.* 2019). Por esta razón, la implementación de nidos artificiales es una herramienta útil tanto para aumentar la oferta de cavidades en un área como para realizar estudios a largo plazo en estas aves (Fromant *et al.* 2020) (Figura 4-11). Así, hasta la fecha, todas las experiencias de uso de nidos artificiales han tenido fines científicos, y no para compensar los impactos antrópicos generados en una colonia de golondrinas de mar, por lo que la utilización de esta medida sería una innovación para la conservación.

Figura 4-11 Diseño de nido artificial para golondrinas de mar



Fuente: Bolton *et al.* 2004

La calidad del hábitat y la competencia por los sitios reproductivos (intra e interespecifica) son factores que definen el éxito reproductivo de estas especies. Por esta razón, la implementación de nidos artificiales ha sido utilizada tanto en sectores de alta ocupación y poca oferta de

cavidades (León & Minguez 2003, Fromant *et al.* 2020), como en sectores desprovistos de cavidades y ocupación previa (Bolton *et al.* 2004).

En relación al diseño y elaboración de los nidos artificiales de golondrinas de mar, existen experiencias en el uso de plástico (PVC) (León & Minguez 2003, Bolton *et al.* 2004, Bried *et al.* 2009, Nizuma *et al.* 1999), cerámica (McRiver *et al.* 2016) (Figura 4-12) y cemento (Bedolla-Guzmán *et al.* 2016) (Figura 4-13).

El tipo de material base a utilizar es evaluado en relación a las condiciones climáticas del sector, los costos asociados y la proyección en el tiempo de la medida. Sectores cuya temperatura y exposición son altas deben evitar el uso de nidos artificiales a base de plástico, ya que estos pueden sobrecalentarse y producir estrés térmico en las aves (Miskelly *et al.* 2009).

Por otro lado, el costo de elaboración de los nidos artificiales es variado y depende del material utilizado y la labor de construcción. Por ejemplo, Bedolla-Guzmán *et al.* (2016) describen que el costo asociado a la elaboración de los nidos artificiales para golondrinas de mar en base a cemento (Figura 4-13) tuvo un valor de 7.50 \$USD por unidad, mientras que otra experiencia con aves marinas de tamaño levemente mayor como lo descrito en Carlie *et al.* (1995) tuvo un costo de 36 \$USD por nido artificial elaborado a base de plástico.

Una alternativa a la elaboración de nidos artificiales es la implementación de cavidades manufacturadas a mano, para aquellas especies en que el sustrato lo permite. Podolsky & Kress (1998) elaboraron 264 cavidades a mano para golondrinas de mar, de las cuales 46 fueron utilizadas durante la primera temporada de estudio. Esta medida es factible además en sitios donde las cavidades pueden estar tapadas por elementos naturales como plumas o arena o antrópicos, como basura.

Figura 4-12 Ejemplo de nido artificial a base de cerámica para golondrinas de mar



Fuente: MCriver *et al.* 2016

Figura 4-13 Ejemplo de nido artificial a base de cemento para golondrinas de mar



A) Nido artificial de cemento finalizado. B) Nido instalado en terreno

Fuente: Bedolla *et al.* 2016

Algunas de las medidas utilizadas para mejorar la ocupación de los nidos artificiales en golondrinas de mar son: a) la implementación de atrayentes olfativos (plumas, fecas y sustrato con olor) dentro de las cavidades artificiales (MCriver *et al.* 2016); b) uso de atrayentes sonoros, en específico la reproducción de las vocalizaciones de la especie en las cercanías de los nidos (Podolsky & Kress 1998, MCriver *et al.* 2016).

Experiencias en la implementación de atrayentes auditivos han encontrado un aumento de colonización en aquellos nidos cercanos a las fuentes de sonido (Podolsky & Kress 1989, Bolton *et al.* 2004). Podolsky & Kress (1989) encontraron que en sitios donde se implementó el uso de atrayentes auditivos, 70% de las cavidades artificiales ubicadas a menos de 50 cm de un parlante fueron ocupadas, mientras que aquellas cavidades ubicadas a más de tres metros de la fuente de sonido solo fueron ocupadas en un 16%.

A modo general, la ocupación de los nidos artificiales es baja en los primeros años de implementación y va aumentando con el paso de los años, sin embargo, esta medida ha resultado de manera positiva en múltiples oportunidades, alcanzando igual o mayor éxito reproductivo en los nidos artificiales que en cavidades naturales (León & Minguéz 2003, Bolton *et al.* 2004, Bried *et al.* 2009).

En el islote Praia, Portugal, Bried *et al.* (2009) reportaron un aumento de tan solo unas pocas parejas reproductivas de la golondrina de mar de Castro (*Oceanodroma castro*), en el año 2000, a una estimación de 800 parejas reproductivas en el año 2006, tras la instalación de nidos artificiales en el primer año de estudio.

Por otro lado, León & Minguéz (2003) describen un 6% de ocupación de nidos artificiales durante el primer año, el cual fue aumentando hasta un 29% de ocupación cuatro años más tarde. Cabe destacar que además durante este estudio se alcanzó un porcentaje de éxito reproductivo (40-75%) mayor al detectado en cavidades naturales (36-49%).

Para conocer el éxito reproductivo en nidos artificiales de golondrinas de mar se requiere un monitoreo de los nidos durante las temporadas reproductivas posteriores a su instalación. Acorde a la literatura consultada (Tabla 4-1), se estima adecuado evaluar por al menos 3 a 4 temporadas reproductivas. La implementación de tapas retirables en las cajas nidos, en conjunto con otros métodos, como cámaras trampa o cámaras endoscópicas, son beneficiosos para levantar los datos asociados a la reproducción de las aves (huevos, volantones, etc) de una manera adecuada (Wilson 1996).

Tabla 4-1 Resumen de las experiencias de nidos artificiales en golondrinas de mar

Año de publicación	Nombre artículo	Autor	País	Especie	Material	Éxito reproductivo/ocupación
1996	Energy expenditure, body-weight and foraging performance of Storm Petrels <i>Hydrobates pelagicus</i> breeding in artificial nesting chambers	Bolton M.	Escocia	European Storm-Petrel (<i>Hydrobates pelagicus</i>)	PVC	1° año: 75% éxito reproductivo y 35% ocupación (de un total de 85 nidos) 2* año: 35% ocupación (no se midió éxito)
1998	Factors Affecting Colony Formation in Leach's Storm-Petrel	Podolsky R. & Kress S.	EEUU	Leach's storm-Petrels (<i>Oceanodrom leucorhoa</i>)	Cavidades cavadas a mano en sustrato natural	1° año: 17% ocupación, 0% éxito reproductivo. 2° año: 6% ocupación, 0 % éxito reproductivo. 3° año: 5,3% ocupación, 14% éxito reproductivo
1999	Energy Expenditure of Incubating Leach's Storm-petrels in Artificial Nestboxes in the Wild	Nizuma Y. <i>et al.</i>	Japón	Leach's storm-Petrels (<i>Oceanodrom leucorhoa</i>)	Polipropileno	1° año: 53% ocupación (8 de 15 nidos)
2003	Occupancy rates and nesting succes of European storm-petrels breeding inside artificial nest-boxes	León A. & Minguez E.	España	European storm petrel (<i>Hydrobates pelagicus</i>)	PVC	1° año- 6% de ocupación 2° año- 8% de ocupación 3° año- 21% de ocupación 4° año- 26% de ocupación 5° año- 29% de ocupación El éxito reproductivo de los nidos artificiales (63% año 5) llegó a ser mayor que el de las naturales (48%)
2004	The use of artificial breeding chambers as a conservation measure for cavity-nesting procellariiform seabirds: a case study of the Madeiran storm petrel (<i>Oceanodroma castro</i>)	Bolton <i>et al.</i>	Portugal	Madeiran storm petrel (<i>Oceanodroma castro</i>)	Plástico	1° año: 21,7% de ocupación (32 de 147 nidos)
2009	Seabird Habitat Restoration on Praia Islet, Azores Archipelago	Bried <i>et al.</i>	Portugal	Madeiran storm-petrel (<i>Oceanodroma castro</i>)	Plástico	1° año: 21,7 % ocupación (32 de 147 nidos)

Año de publicación	Nombre artículo	Autor	País	Especie	Material	Éxito reproductivo/ocupación
						2° año: 55.6% ocupación (84 de 151 nidos).
2012	An Experimental Study of Social Attraction in Two Species of Storm-Petrel by Acoustic and Olfactory Cues	Buxton R.	EEUU	Leach's (<i>Oceanodroma leucorhoa</i>) y Fork-tailed Storm-Petrels (<i>Oceanodroma furcata</i>)	Madera y tapa de plástico (acrílico)	No se evaluó.
2012	Nest boxes: A successful management tool for the conservation of an endangered seabird	Libois <i>et al.</i>	España	Mediterranean Storm Petrel (<i>Hydrobates pelagicus melitensis</i>)	Plástico	1° año: Ocupación de 2% (2 de 85) 9° año: Ocupación de 42% (36 de 85) El éxito reproductivo al año 9° llegó a niveles mayores que en cavidades naturales (valores específicos no entregados)
2013	Status and conservation of Madeiran Storm-petrel <i>Oceanodroma castro</i> in Farilhão Grande, Berlengas, Portugal: relevance to the management plan of this protected area	Neto A.	Portugal	Madeiran storm petrel (<i>Oceanodroma castro</i>)	Plástico y piedra	1° año: Ocupación de 2% (1 nido de 36)
2016	A wood-concrete nest box to study burrow-nesting petrels	Bedolla-Guzmán <i>et al.</i>	México	Black Storm-Petrel (<i>Oceanodroma melania</i>) Leach's Storm-Petrel (<i>O. leucorhoa</i>), Least Storm-Petrel (<i>O. microsoma</i>)	Base : Madera y Cemento Entrada: PVC	1° año: 0% de ocupación (72 nidos) 2° año: 2,7% de ocupación y 50% éxito reproductivo 3° año: 11% ocupación y 87.5% éxito reproductivo
2016	Use of social attraction to restore ashy storm-petrels <i>Oceanodroma homochroa</i> at orizaba rock, santa cruz island, california	MCiver <i>et al.</i>	EEUU	Ashy Storm-Petrels (<i>Oceanodroma homochroa</i>)	Cerámica	1° año: 38% de ocupación (8 de 21) 2° año: 26,9% de ocupación (7 de 26) 3° año: 26,6% de ocupación: (8 de 30) 4° año: 46,6% de ocupación (14 de 30)

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Caracterización preliminar de la biología reproductiva de la golondrina de mar negra en las principales colonias

4.3.1 Dimensiones, tipos de entrada y profundidad

Del total de nidos evaluados (N=329), se evaluó el tipo de entrada, la profundidad y las dimensiones en 323 de ellos. El mayor porcentaje (70,89%) corresponde a nidos con entrada del tipo Intermedio (N=229), seguido en porcentaje por entrada del tipo L (14,24%) (N=46) y en menor medida del tipo Recto (7,73%) (N=25) y Múltiples (7,12%) (N=25) (Tabla 4-2).

Respecto a la entrada de las cavidades (Figura 4-14), el nido más pequeño evaluado tuvo como medidas 4,5 cm ancho x 3 cm de alto, mientras que las medidas del nido de mayor diámetro fueron de 45 cm de ancho x 19 cm de alto. En base a todos los nidos medidos, el nido promedio tuvo como medidas: 9,5 cm de ancho x 6,5 cm de alto.

Del total de nidos evaluados durante esta campaña (N=329), por diversos motivos no se tomaron medidas ni se evaluó el tipo de entrada en seis de estos.

Tabla 4-2 Tabla resumen de los tipos de entrada detectados

Tipo de entrada	Nidos con este tipo de entrada	Proporción del total de nidos cuyas medidas fueron tomadas N=323
Tipo Intermedio (diagonal)	229	70,89%
Tipo L (perpendicular)	46	14,24%
Tipo Recto	25	7,73%
Tipo Múltiple	23	7,12%
Total	323	100%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14 Toma de medidas de nidos de golondrinas de mar

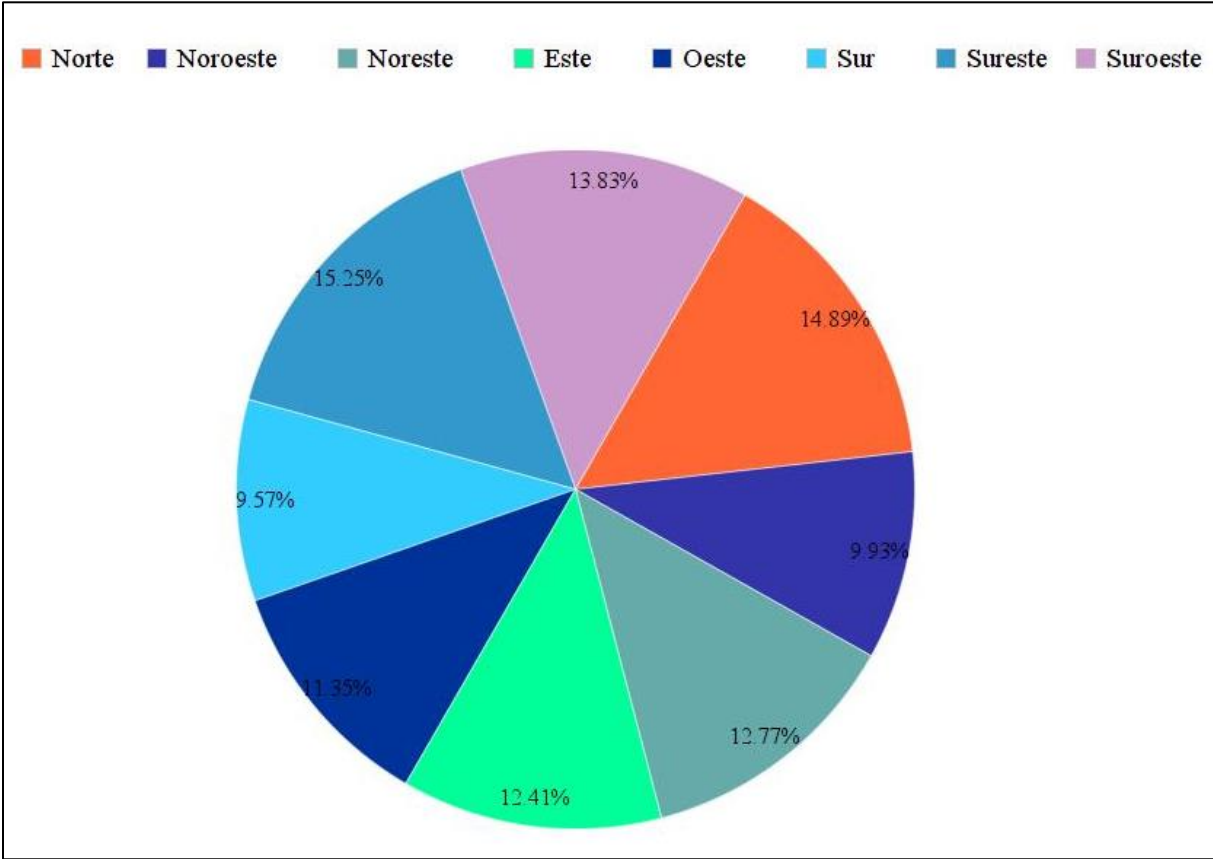


Fuente: Equipo ROC en terreno

El nido con menor profundidad fue de 16 cm, mientras que la cavidad más profunda tuvo una extensión de 175 cm. Considerando todos los nidos medidos (N=323), el promedio de profundidad de los nidos es de 52,9 cm.

La orientación de los nidos se distribuyó de manera semejante entre las ocho categorías consideradas. Entre estos, los nidos con orientación SE (Sureste) tuvieron el mayor porcentaje (15,25%), en contraste con los nidos con orientación Sur, que tuvieron el menor porcentaje (9,57%). El total de los valores en relación a la orientación de los nidos se encuentra en la Figura 4-15.

Figura 4-15 Gráfico resumen de la orientación en el eje cardinal de los nidos evaluados (N=283)



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Temperatura al interior de los nidos

Todos los dataloggers utilizados (N=4) fueron recuperados para su revisión (Figura 4-16). Los equipos detectaron que los nidos tuvieron una oscilación de temperatura entre los 14,3°C como valor mínimo y 31,5°C en su valor máximo.

Durante los meses de octubre y noviembre, en los periodos del día de mayor temperatura (13:00 a 16:00 pm), mientras la temperatura ambiental máxima alcanza en promedio 25 a 33 grados C°, la temperatura dentro de los nidos se mantuvo entre 5 y 7 grados menos. Por otro lado, en los períodos del día de menor temperatura (03:00 a 6:00 am), mientras la temperatura ambiental alcanza en promedio 5 a 10°C, la temperatura dentro de los nidos se mantuvo 10 a 12 grados por encima de la temperatura del exterior.

Figura 4-16 Datalogger ubicado dentro de un nido de golondrina de mar



Fuente: Equipo ROC en terreno

4.4 Evaluación del éxito reproductivo de la golondrina de mar negra en una temporada para poder comparar a futuro con el éxito de los nidos artificiales

4.4.1 ¿Cuánto demoraron los huevos en eclosionar?

Para esta temporada, la estimación del promedio de días para eclosión de los huevos fue de **45 a 55 días**. Las variables descritas en la sección 3.1 para estimar con un nivel bajo de error el número de días de eclosión de los huevos de golondrina de mar negra se cumplieron en su conjunto en ocho nidos durante la temporada (Figura 4-17).

Figura 4-17 Cría de pocos días de vida de golondrina de mar negra



Fuente: Registro en terreno

4.4.2 ¿Cuánto demoraron las crías desde que nacieron hasta que abandonaron el nido?

La estimación durante esta temporada de los días transcurridos entre que un ejemplar eclosiona del huevo y hace abandono del nido fue de **100 a 110 días**. Para esta evaluación, las variables que permitieron estimar con un bajo grado de error los días de desarrollo del polluelo de golondrina de mar negra se cumplieron en su conjunto en tres nidos durante la temporada (Figura 4-18) (Figura 4-19).

Figura 4-18 Cría de 1 o 2 días de vida, bajo uno de sus padres con restos de huevo eclosionado



Fuente: Registro en terreno

Figura 4-19 Volantón de golondrina de mar negra registrado por cámara trampa



Fuente: Registro en terreno

4.4.3 Éxito reproductivo

Durante la temporada reproductiva 2021-2022, el éxito reproductivo de los nidos en Pampa Chaca fue de 64,94% y en Pampa Camarones de 78,02%. Considerando ambos sectores en conjunto, el éxito reproductivo fue de un 69,43% (Tabla 4-3).

Tabla 4-3 Éxito reproductivo y ocupación de golondrina de mar negra para la temporada 2021-2022 por sectores.

Sector	Nidos por sector	Cantidad de nidos que tuvieron huevos (a)	Cantidad de nidos en que el volantón abandonó el nido (b)	Éxito reproductivo (b/a)	Ocupación (a/nidos por sector)
Pampa Chaca	220	174	113	64,94%	79,09%
Pampa Camarones	109	91	71	78,02%	83,48%
Total	329	265	184	69,43% (promedio)	80,54% (promedio)

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la información obtenida durante la temporada también fue suficiente para evaluar la ocupación de los distintos sectores. Para los nidos ubicados en el sector de Pampa Chaca (N=220) la ocupación alcanzó un 79,09%, mientras que para el sector de Pampa Camarones, la ocupación fue de 83,45%. El porcentaje obtenido considerando ambos sectores en conjunto para esta temporada fue de 80,54%.

Tabla 4-4 Éxito reproductivo y ocupación de golondrina de mar negra para la temporada 2021-2022 por tipo de entrada

Tipo de entrada	Nidos con este tipo de entrada	Cantidad de nidos que tuvieron huevos (a)	Cantidad de nidos en el que el volantón abandonó el nido (b)	Éxito reproductivo (b/a)	Ocupación (a/nidos por tipo)
Tipo Intermedio (diagonal)	229	183	129	70,49%	79,91%
Tipo L (perpendicular)	46	39	27	69,23%	84,78%
Tipo Recto	25	20	15	75,00%	80,00%
Tipo Múltiple	23	18	12	66,66%	78,26%
Nidos no medidos	6	5	1	-	-
Total	329	265	184	69,43% (promedio)	80,54% (promedio)

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al éxito reproductivo y ocupación por tipo de entrada (Tabla 4-4), se obtuvo un éxito reproductivo de 70,49% para los nidos de entrada del **tipo intermedio** y una ocupación del 79,91%. Para los nidos del **tipo L**, es decir, de entrada perpendicular, el éxito reproductivo fue de 69,23% y su ocupación de 84,78%. Los nidos de **tipo recto** obtuvieron el porcentaje más alto en cuanto al éxito reproductivo (75%) y su ocupación fue de 80%. El menor porcentaje de éxito reproductivo (66,66%) y ocupación (78,26%) fue para los nidos del **tipo múltiple**.

4.5 Propuesta de Diseño de nidos artificiales para golondrinas de mar

4.5.1 Modelos de nidos artificiales

Para la elaboración de los modelos de nidos artificiales para golondrinas de mar, se tomaron en consideración una gran cantidad de variables, entre las que destacan:

- Costo (que el costo de elaboración no sea alto)
- Transporte (que pueda manufacturarse y transportarse fácilmente en la ciudad de Arica)
- Material (que sea duradero para resistir las condiciones ambientales del desierto)
- Dimensiones (que las dimensiones del diseño sean las adecuadas para la especie)
- Aspecto en el paisaje (que no sobresalga de sobremanera ni genere contaminación visual al instalarse en el desierto)
- Tipo de entrada (se eligieron los tipos de entrada con mayor ocupación y éxito reproductivo evaluado durante la temporada, es decir, del tipo L y tipo recto, respectivamente).
- Temperatura interior de los nidos (se debe alcanzar una temperatura que oscile entre 14 y 31 grados, tal y como en los nidos naturales)

Considerando estas variables, se proponen 2 modelos de nidos artificiales para golondrinas de mar. Los modelos se denominan: (a) Modelo Herradura y (b) Modelo Cajón. Los modelos difieren en partes de su estructura, pero poseen varias similitudes entre sí, que se detallan a continuación.

De forma adicional, se sugiere experimentar también la habilitación de nidos en sustrato natural, lo que implica el ensanchamiento de cavidades con un tamaño de apertura insuficiente para el paso de golondrinas de mar, pero que posiblemente tienen cámaras subterráneas apropiadas para la reproducción. La habilitación de cavidades en sustrato natural ha sido probada con cierto éxito en EE.UU. con *Oceanodroma leucorhoa* (Podolsky & Kress, 1998) y puede ser una medida complementaria de nidos artificiales, con una aplicación que además resulta más sencilla y económica. Si bien esta alternativa no formó parte de este estudio, durante la temporada de reproducción de golondrina de mar negra 2020-2021 en Arica y Parinacota, la ROC realizó un piloto habilitando 9 cavidades, siendo 3 de ellas ocupadas y una con reproducción exitosa.

Aspectos generales de nidos artificiales

Tabique y/o pasillo: Ambos modelos poseen una separación entre la zona de entrada y la cámara de incubación. De esta forma, los modelos “obligan” a las golondrinas de mar a avanzar más profundamente en el nido, hacia una cámara de incubación que les brinda mayor seguridad. De esta forma se quiere emular lo que sucede en las cavidades naturales.

Techo respirable: Para favorecer la ventilación, el techo de los modelos posee pequeñas aperturas. Esto es similar a lo que ocurre en los nidos naturales, en los que la mayoría posee pequeñas aperturas por donde el ave puede recibir luz solar si lo necesita y mejorar el flujo de aire hacia el interior.

Tipo de material que los recubre: Ambos modelos comparten al hormigón como material exterior de los nidos, para mantener una barrera resistente a las temperaturas altas del desierto y la erosión.

Tapa removible: Ambos modelos poseen una tapa removible, que se encuentra ubicada sobre la cámara de incubación de los nidos. Esta tapa tiene como objetivo poder levantarse para visualizar o tener acceso al interior de los nidos en caso de manejo de los ejemplares.

Modelo A – Tipo Herradura (Figura 4-20)

Materialidad: Hormigón en toda su estructura.

Tipo de entrada: Posee una entrada del tipo L, perpendicular al eje horizontal en la zona superior del modelo.

Características generales: Este modelo de nido artificial es una estructura simple, con forma de herradura. Una vez ingrese el ejemplar, este deberá cruzar un pasillo para llegar a una zona más amplia y plana, donde se espera que el ave coloque el huevo (cámara de incubación).

La estructura interna de la entrada alberga un tabique rugoso en su interior de modo de facilitar el ingreso y egreso del ave, pudiendo la golondrina usar esta estructura para afirmar sus patas y cuerpo.

Este tipo de modelo posee pequeñas aperturas en su base, para ayudar a la filtración de los desechos del ave hacia el suelo. El nido debe ser colocado en un lugar plano como arena o

sustrato asociado a costras salinas donde nidifica la especie. El techo también incluye pequeños agujeros para posibilitar la ventilación y el ingreso en menor medida de la luz solar.

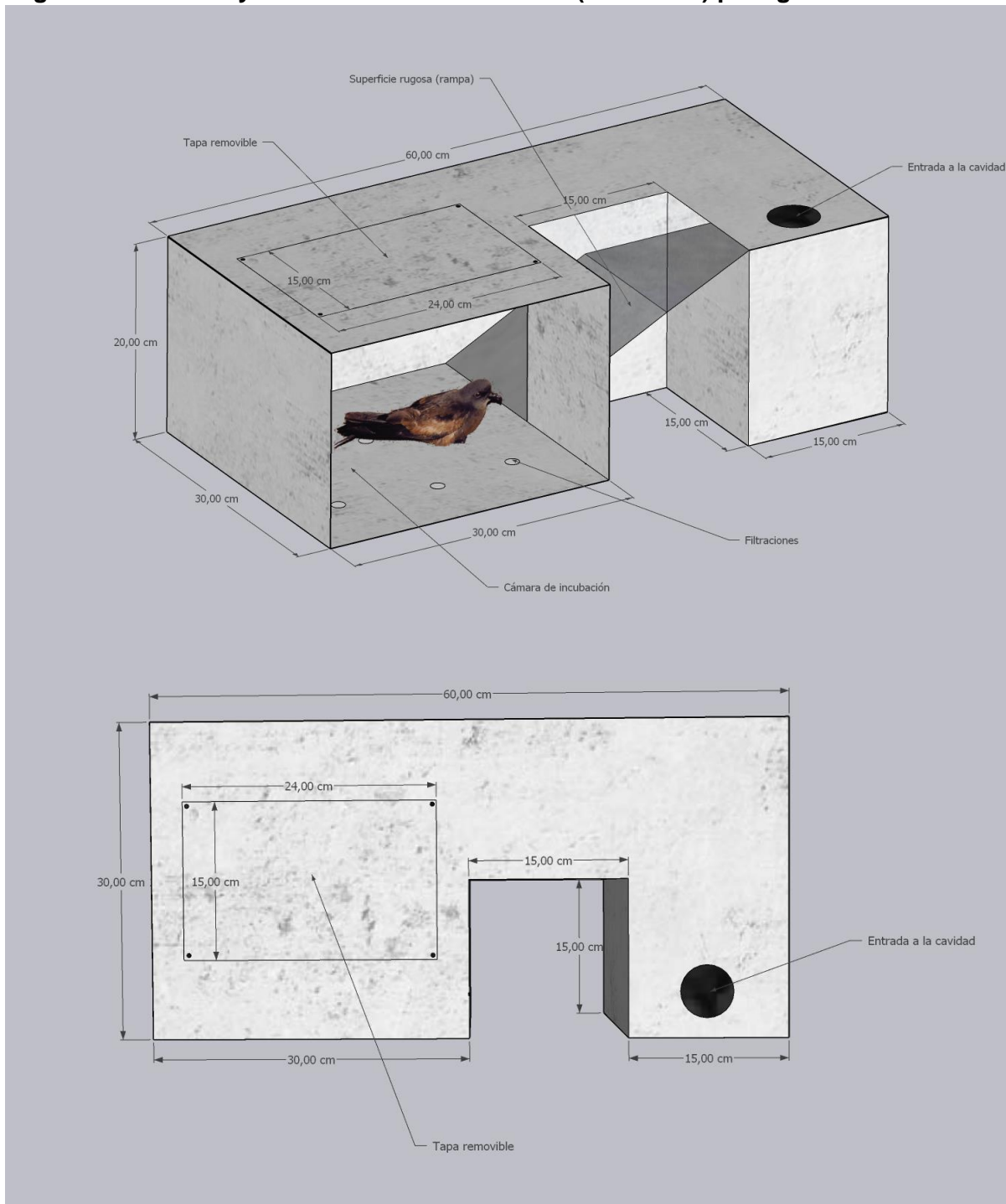
Su estructura tiene la capacidad de poder acoplarse a otro nido idéntico, de forma de encajarse un mayor número de nidos artificiales en un sector, en caso de ser necesario (Figura 4-21).

Este modelo puede instalarse en suelo fijo o medianamente suelto, como arenilla, pudiendo ser enterrado unos 2 centímetros en el sustrato para que quede fijo.

En la elaboración del diseño se construyó una maqueta a menor escala del modelo a modo de ejemplo (Figura 4-22).

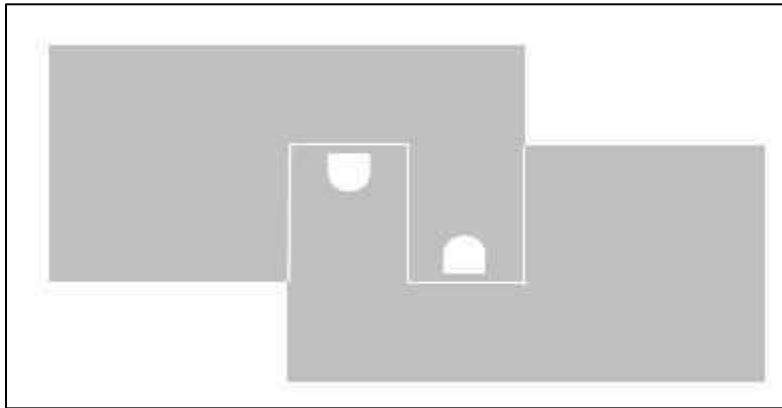
Justificación: El modelo A fue diseñado a partir de las características observadas en terreno, considerando un diseño simple, de elaboración fácil y que pueda ser implementado en terreno emulando las cavidades naturales. La decisión de implementar una entrada superior en este modelo, del tipo L, se justifica por los resultados obtenidos durante la evaluación de la temporada reproductiva, donde el tipo L, obtuvo el mayor porcentaje de ocupación entre los nidos (84,78%). Por otro lado, la experiencia en terreno del equipo consultor, sostuvo que este tipo de entrada es la menos propensa a obstruirse por arena o basura arrastrada por el viento.

Figura 4-20 Diseño y dimensiones del modelo A (Herradura) para golondrinas de mar



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-21 Acoplamiento del modelo A (Herradura)



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-22 Maqueta del modelo A (Herradura) a menor escala. El hormigón se puede moldear para imitar la estructura de las costras salinas.



Fuente: Elaboración propia

Modelo B – Tipo Cajón (Figura 4-23)

Materialidad: Madera en su estructura interna y tubo de PVC en su entrada, ambas recubiertas de hormigón.

Tipo de entrada: Entrada al nido a través de un tubo de 20 centímetros de largo y 5 centímetros de diámetro, por el frente del nido, en orientación paralela al suelo, emulando la entrada del tipo recto.

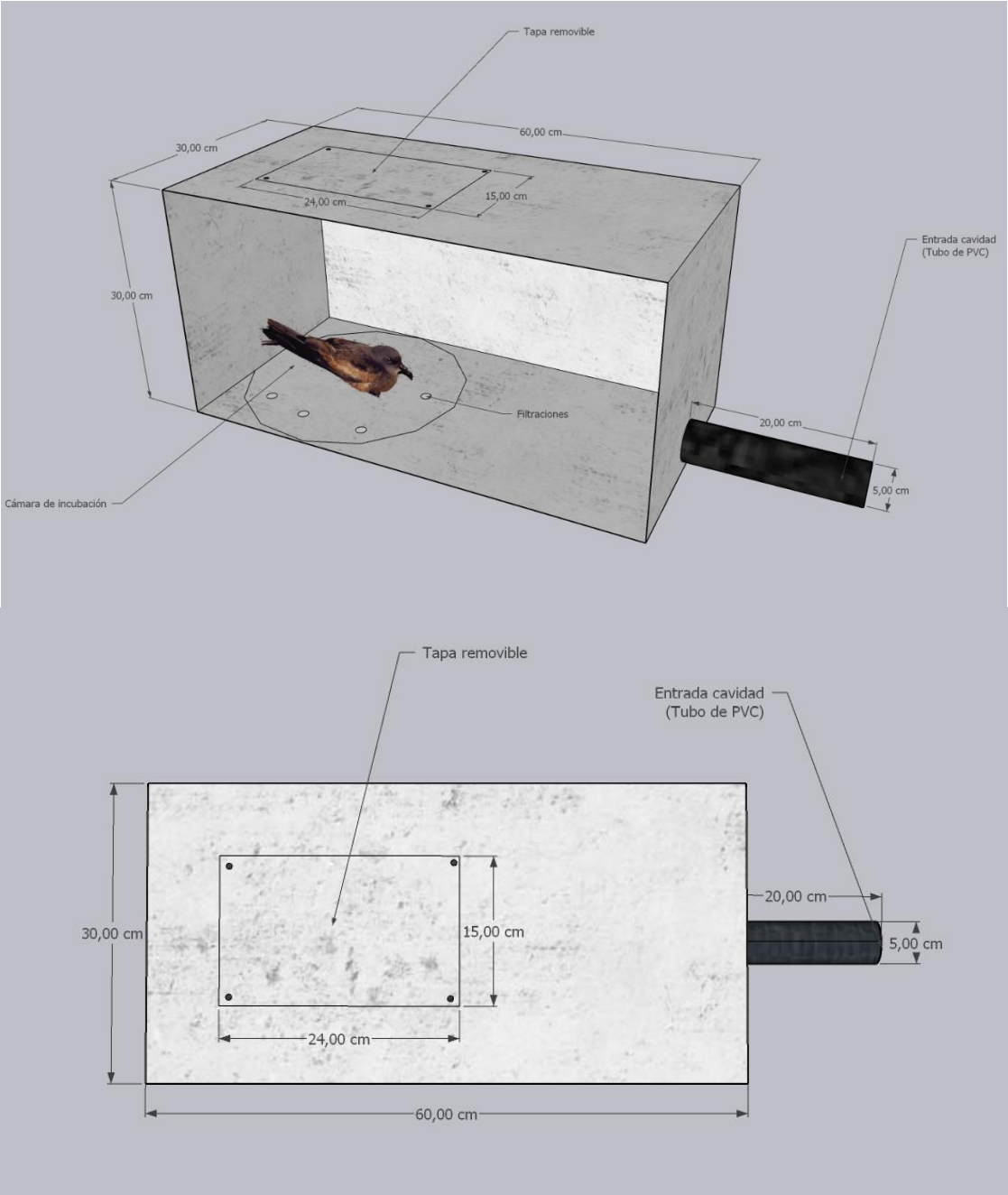
Características generales: El modelo de nido artificial del tipo cajón consiste en una estructura rectangular. El ave hace ingreso al nido por el frente de este, a través de un tubo orientado en forma recta. El tubo debe ser rugoso en su interior, para que el ave pueda ingresar y salir del nido sin problema. Una vez ingrese el ave, se encontrará con la cámara de incubación. El suelo de este modelo contiene agujeros para permitir la filtración de residuos del ave. Además, el techo posee pequeñas filtraciones para posibilitar el ingreso de aire y luz solar.

Para camuflar el tubo de ingreso y el nido en general, se usarán piedras y arena para tapar la mayor cantidad del nido de forma que solo la entrada al tubo quede al descubierto.

Justificación: El modelo B se diseñó considerando dos factores principalmente:

- a) las experiencias realizadas por investigadores internacionales en relación a nidos artificiales en pequeños petreles. Por esta razón, el diseño contempla una elaboración más compleja que el modelo A, añadiendo madera en su estructura interna y un tubo de PVC para la entrada a éste.
- b) Los resultados obtenidos durante la evaluación de la temporada reproductiva, ya que el tipo de entrada recta, obtuvo el mayor porcentaje de éxito reproductivo (75%) entre los tipos de nido evaluados.

Figura 4-23 Diseño y dimensiones del modelo B (Cajón) para golondrinas de mar



Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Habilitación de cavidades naturales

La habilitación de cavidades implica el ensanchamiento de entradas existentes que no cumplen con las medidas mínimas para el uso por parte de golondrinas de mar, de acuerdo a la caracterización de este estudio (menores a 4,5 cm x 3 cm). Con una herramienta metálica se puede agrandar la apertura hasta superar ese mínimo, o alcanzando un diámetro de 5 cm aprox., similar al utilizado en los nidos artificiales propuestos. Asimismo, debe verificarse con cámara endoscópica si hay una cavidad suficientemente profunda para la reproducción.

Un ejemplo de habilitación de cavidades se muestra en la Figura 4-24.

Figura 4-24 Cavidad habilitada para nido en sustrato natural.



Fuente: Registro ROC en terreno.

4.6 Plan de implementación

En esta sección se detalla el plan de implementación de nidos artificiales para golondrinas de mar in situ. Este plan se presenta de manera conceptual y considera recomendaciones para una correcta evaluación de los nidos artificiales en el tiempo.

El plan considera como primera medida la confección de **100 nidos artificiales**, considerando 50 unidades del modelo A (Herradura) y 50 unidades del modelo B (Cajón). Asimismo, se sugiere habilitar un mínimo de 20 cavidades naturales, aunque este número dependerá de la disponibilidad en el sustrato de cavidades apropiadas para la nidificación, que además tengan entradas estrechas.

4.6.1 Emplazamiento

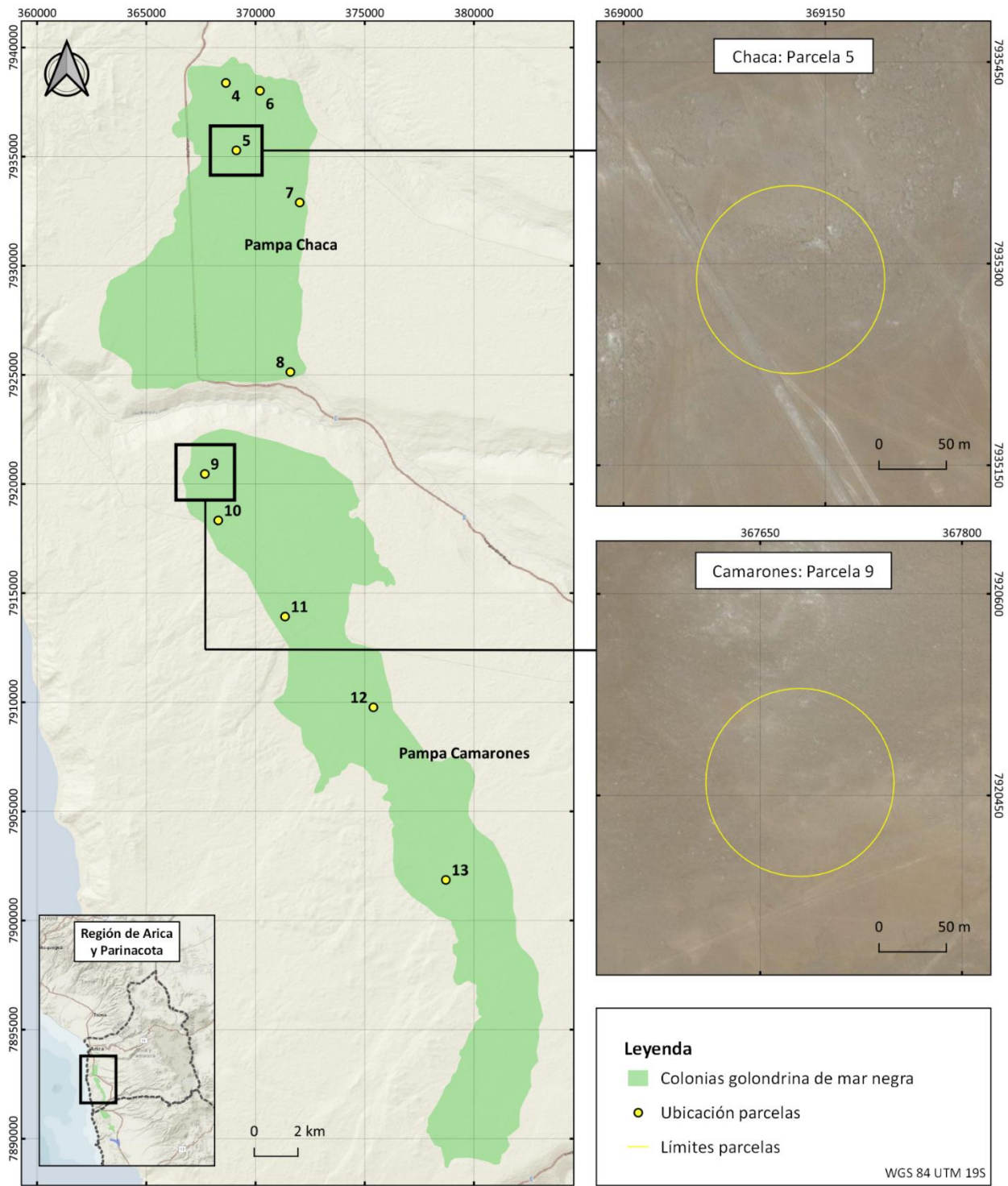
Los nidos artificiales serían instalados en sectores aledaños a los sitios de muestreo de esta temporada (**Pampa Chaca y Pampa Camarones**). De esta manera, se puede considerar el éxito reproductivo evaluado durante esta temporada y compararlo con el conseguido en las temporadas posteriores a la instalación de los nidos.

Para evitar la pérdida de los nidos artificiales, éstos serían instalados en sitios aledaños a las parcelas de muestreo con menor presencia humana y de basura. En específico, la parcela ROC 5 de Pampa Chaca y la parcela ROC 9 de Pampa Camarones (Figura 4-25).

De modo de que la medida de atracción auditiva para los nidos artificiales no produzca efectos de atracción en individuos de golondrina de mar negra de las parcelas de monitoreo (Ver sección 4.6.3), los nidos se emplazarían a una distancia aproximada de 300 metros de las parcelas 5 y 9.

Del mismo modo, la habilitación de cavidades naturales se realizaría a una distancia aproximada de 300 metros de los sitios con nidos artificiales, y a una distancia aproximada de 100 metros de ambas parcelas. La habilitación de cavidades requiere de áreas con un sustrato apropiado para ello.

Figura 4-25 Ubicación de las parcelas donde se implementarán los nidos artificiales



Fuente: Elaboración propia

De esta forma, si se implementan 100 nidos artificiales en total, la propuesta consideraría instalar:

-25 Nidos Modelo A + 25 Nidos Modelo B + 10 cavidades habilitadas en parcela 5 (Pampa Chaca).

25 Nidos Modelo A + 25 Nidos Modelo B + 10 cavidades habilitadas en parcela 9 (Pampa Camarones).

4.6.2 Fecha de instalación de los nidos artificiales

Para evitar el estrés innecesario en las aves, los nidos se deben instalar entre temporadas reproductivas. Considerando la fenología de la población de Arica de la golondrina de mar negra (Medrano *et. al.* 2019) y los resultados obtenidos en esta temporada, los meses adecuados para la instalación de los nidos corresponden a **febrero y marzo**.

De esta forma, antes de que empiece una nueva temporada de marcajes y elección de cavidades por parte de la golondrina de mar negra, los nidos artificiales ya se encontrarían instalados y podrán ser potencialmente utilizados en la temporada.

4.6.3 Uso de atractores sociales y olfativos

Para disminuir el tiempo entre la instalación y la ocupación por parte de golondrinas de mar, se propone efectuar dos medidas de atracción al momento de implementar los nidos artificiales.

1) Atracción olfativa:

El sentido del olfato se encuentra muy desarrollado en las aves marinas en general y en específico en las golondrinas de mar. De esta forma, para aumentar la ocupación de los nidos artificiales se colocarían restos de plumas, guano y sustrato con olor a petrel dentro de las cavidades. El objetivo es entregar un ambiente lo más cercano a la realidad, incrementando el uso potencial de los nidos por parte de ejemplares de golondrinas.

2) Atracción social:

Además de los atractores olfativos, se emplearía el uso de vocalizaciones de golondrina de mar mediante equipos instalados cercanos a los nidos artificiales. Se propone instalar 2 sistemas de sonido. Uno en los nidos artificiales aledaños a la parcela 5 de Pampa Chaca y uno en los nidos artificiales aledaños a la parcela 9 de Pampa Camarones. Estos sistemas de sonido corresponderían a tres parlantes, un reproductor de mp3 y un sistema de baterías recargables alimentadas por un panel solar. Para el emplazamiento de los nidos, se instalarían algunos nidos artificiales a menos de 60 cm de uno de los tres parlantes, pues se ha probado que puede tener cierto efecto (Podolsky & Kress 1989). Otro conjunto de nidos quedarían distanciados hasta 1 metro a la redonda de un segundo parlante, y el resto de los nidos quedaría a una distancia mayor

a 1 metro del tercer parlante. Se propone este tipo de emplazamiento para evaluar la eficiencia de los nidos influidos por cada parlante. Los parlantes estarán al menos a 50 metros entre sí.

Los horarios de reproducción de las vocalizaciones serían fijados entre el anochecer y 11:00 pm, debido a que estos horarios son aquellos donde más activos se encuentran los ejemplares. El volumen de las reproducciones será de 80-90 dB y la frecuencia se estima de una llamada de un minuto de duración cada 10 minutos. Se reproducirían únicamente llamadas de golondrina de mar negra.

La ejecución de la atracción social mediante vocalizaciones se recomienda para el inicio de la temporada reproductiva, iniciando en abril hasta mitad de mayo, totalizando 6 semanas de implementación.

4.6.4 Monitoreo de la actividad reproductiva

Se propone que posterior a la instalación de los nidos artificiales se realice un monitoreo de los nidos naturales y artificiales del área de estudio, estimando visitas con una frecuencia mensual, donde se evalúe su ocupación y estado. Se debería monitorear la temporada reproductiva completa de la golondrina de mar negra, es decir, desde abril hasta enero según la fenología de las poblaciones de Arica.

La evaluación debería considerar obtener el éxito reproductivo y ocupación de los nidos naturales (N=329), los nidos artificiales a implementar (N=100) y las cavidades naturales habilitadas (N=20), con el objetivo de poder comparar estas variables en la misma temporada.

Para la completa evaluación del éxito y ocupación de los nidos artificiales durante cada temporada reproductiva se considera el siguiente diseño metodológico:

Esfuerzo en terreno:

- Visita mensual entre los meses de abril y octubre (considerando que el proyecto piloto se realiza en la colonia de Arica)
- Visita quincenal entre los meses de noviembre y enero (considerando que el proyecto piloto se realiza en la colonia de Arica), que es el momento de salida de las crías de la temporada
- Por parte de un equipo de al menos dos investigadores, por una duración de tres a cuatro días.
- Por al menos 3 temporadas reproductivas desde la implementación de los nidos.

Evaluación del éxito reproductivo y ocupación.

- Inspección mediante boroscopio y uso de *playback* en todos los nidos naturales (detalles de metodología en Sección 3.1). En nidos artificiales revisión directa removiendo la tapa.
- Instalación de 4 equipos de dataloggers en nidos artificiales, para comparar resultados de temperatura entre los nidos naturales y nidos artificiales.
- Instalación de 6 cámaras trampa a 1,5 mts de distancia de los nidos artificiales, con el objetivo de obtener registros audiovisuales de la ocupación, intentos de uso o cualquier información relevante.

4.7 Costos

4.7.1. Cajas anideras

Los modelos A y B utilizan materiales de bajo costo como madera, hormigón y PVC en su estructura (Tabla 4-5).

Materiales e insumos para la elaboración del Modelo A (Herradura):

-Hormigón (Costo referencial de un saco de 25kg: 3.500 \$ Cada saco puede proveer hormigón suficiente para aproximadamente 3 nidos. Costo unitario: **1.150\$**)

-Horas hombre (En base a la elaboración de la maqueta, se estima que en una jornada completa de 8horas, una persona puede elaborar aproximadamente 5 nidos. Considerando 1 HH= 0.3 UF, el costo unitario por mano de obra es: **15.208\$**)

Costo de elaboración estimado para el modelo A por unidad: **16.358 \$**

Materiales e insumos para la elaboración del Modelo B (Cajón):

-Hormigón (Costo referencial de un saco de 25kg: 3.500\$ Cada saco puede proveer hormigón suficiente para aproximadamente 4 nidos. Costo unitario: **875 \$**)

-Madera (Costo referencial de un pliego de madera de 3,2 metros: 3.690\$ Cada pliego puede proveer madera suficiente para aproximadamente 2 nidos. Costo unitario: **1.845 \$**).

-Tornillos rosca para madera (Costo referencial de un paquete de 100 unidades: 3.500\$. Cada paquete puede proveer tornillos para aproximadamente 10 nidos. Costo unitario: **350 \$**).

-Tubo de PVC (Costo referencial de un tubo de 10metros, 15.500 \$. Cada tubo de 10m puede proveer material para elaborar 60 nidos. Costo unitario: **260 \$**)

-Horas hombre (Se estima que en una jornada completa de 8horas, una persona puede elaborar aproximadamente 3 nidos. Considerando 1 HH= 0.3 UF, El costo unitario por mano de obra por unidad es: **25.295 \$**)

Costo de elaboración estimado para el modelo B por unidad: **28.625 \$**

Tabla 4-5 Resumen comparativo de los dos modelos de nidos artificiales a implementar

	Modelo A (Herradura)	Modelo B (Cajón)
Material de estructura	Hormigón	Madera, PVC y Hormigón
Tipo de entrada	Entrada en L	Entrada recta
Tipo de suelo	Suelo de hormigón con filtraciones	Suelo de madera con filtraciones
Costo unitario estimado	16.358 \$	28.625 \$
Sustrato a instalar	Sustrato plano (ej costra o arena)	Sustrato plano (ej costra o arena)

Fuente: Elaboración propia.

Costo estimado de elaboración de 50 unidades de cada modelo (100 total) es:

Modelo A = 817.930\$

Modelo B = 1.431.250\$

Total: 2.249.180 \$ (70UF)

4.7.2. Sistemas de sonido

Para establecer la atracción auditiva descrita en la sección 4.6.3, se utilizarán parlantes omnidireccionales, como el de la Figura 4-26. Estos parlantes estarán conectados a una fuente de energía (baterías de auto) que se cargarán en el día con paneles solares.

Figura 4-26 Ejemplo de parlante omnidireccional a utilizar en sistemas de atracción



Fuente: Google.

Materiales e insumos para la elaboración de sistemas de sonido para la atracción social:

-Parlante omnidireccional: Cada sistema de sonido tendrá asociados 3 parlantes. Por ende, deben ser 6 parlantes. Costo unitario estimado: **\$200.000**. Costo total estimado: \$1.200.000.

-Cable: 500 metros de cable. Costo unitario estimado: \$700/metro. Costo total estimado: **\$350.000**.

-Panel solar: Cada sistema de sonido tendrá asociado 1 panel solar. Por ende, serán 2 paneles. Costo unitario estimado: **\$250.000**. Costo total estimado: \$500.000.

-Batería. Dos baterías de auto por sistema de sonido. Al ser dos sistemas de sonido, serían cuatro baterías. Costo unitario: **\$100.000**. Costo total estimado: \$400.000.

-Reproductor de sonido (ej: MP3). Un reproductor por sistema de sonido. Al ser dos sistemas de sonido, serían dos reproductores. Costo unitario: **\$50.000**. Costo total estimado: \$100.000.

El costo total estimado para el sistema de sonido es de 2.550.000 \$. (**80UF**)

4.7.3. Materiales para la evaluación del estado y éxito reproductivo de los nidos

Para la evaluación de los nidos naturales y artificiales en relación al estado reproductivo durante las temporadas se emplearán las metodologías y materiales descritos en la sección **4.6.4**. Estos materiales no están considerados como costos asociados al Plan de implementación.

Las evaluaciones del estado reproductivo y posterior análisis tras cada temporada entregarán los valores de éxito reproductivo y ocupación, para los nidos naturales y artificiales.

5 Discusión

La información recabada sobre las golondrinas de mar del desierto de Atacama muestra un panorama actualizado del conocimiento existente sobre la biología e historia natural de este grupo de especies, siendo una buena referencia para definir alcance geográfico, hábitat y fenología reproductiva para la eventual implementación de un proyecto de nidos artificiales en el norte de Chile.

Las experiencias internacionales en el uso de nidos artificiales para pequeños petreles comparten varias similitudes entre sí, independiente de la localidad específica en que estos se han implementado. A pesar de que los nidos artificiales se han utilizado en distintas especies y países, este estudio no identificó experiencias en un ambiente equivalente al desierto del norte de Chile, cuya extrema exposición al sol y alta temperatura, erosión del viento y salinidad, constituyen un desafío para la implementación de un proyecto de este tipo. Además, estas experiencias en general han tenido como objetivo el facilitar el estudio científico de las especies.

La experiencia internacional es consistente en señalar que la ocupación de nidos artificiales por aves marinas es lenta y el éxito reproductivo es bajo en los primeros años. Por ello, es recomendable que el proyecto considere desde el inicio aquellas medidas de atracción social que han resultado efectivas en la escena internacional, como elementos olfativos y reproducción de vocalizaciones en la época de marcaje.

Debido a que el desarrollo de la materia es nulo en estas especies y ámbito geográfico, un proyecto de nidos artificiales debería implementarse de manera piloto, evaluar sus resultados y realizar los cambios que se identifiquen como necesarios.

La caracterización preliminar de biología reproductiva realizada para la golondrina de mar negra en los sectores de Pampa Chaca y Pampa Camarones proporcionó información relevante para el diseño y el plan de implementación de nidos artificiales. Si bien los aspectos centrales de la propuesta probablemente sean aplicables a otras especies del grupo, se recomienda ajustar de acuerdo a información sobre la especie objetivo de manera previa a la implementación.

Los valores de éxito reproductivo y ocupación presentados, si bien tienen limitaciones por corresponder a una sola temporada y a dos localidades específicas, son una buena referencia para comparar los resultados de los nidos artificiales y orientarlos hacia la pérdida neta cero. En cualquier caso, al existir variación interanual en la actividad reproductiva, este valor solo debe ser tomado de manera referencial. Una evaluación en nidos control es necesaria junto a la evaluación del éxito reproductivo de los nidos artificiales.

La implementación de los dos modelos de nidos artificiales propuestos, en los términos detallados en el plan de implementación, permitirá conocer y comparar su éxito. La eventual implementación futura de nidos artificiales como medida de compensación para impactos residuales debería considerar el más exitoso de estos modelos e incorporar las mejoras que se identifiquen después de la implementación piloto.

Es probable que un proyecto piloto de nidos artificiales en el norte de Chile se tarde un par de años en tener éxito, por lo que será fundamental plantear estas medidas con un horizonte de evaluación a mediano plazo. En ese sentido, se sugiere que una vez implementados los nidos artificiales, se realice un monitoreo de estos y de un grupo control por al menos 3 temporadas reproductivas, lo que permitirá evaluar variación interanual y el efecto de las modificaciones que se incorporen tras los primeros años de implementación. Desde el punto de vista de la compensación de impactos, estos deberían ser planificados para perdurar de manera perpetua en los lugares en que se implementen.

En definitiva, la implementación de nidos artificiales para golondrinas de mar que nidifican en el desierto del norte de Chile tiene potencial como herramienta para el estudio, la conservación y el manejo de estas especies (ej. compensación de impactos residuales), sin embargo, es algo que no se ha evaluado a nivel nacional y requiere una aproximación experimental antes de ser propuesto como una medida que tendrá determinados efectos. Este estudio constituye un buen punto de partida para orientar el diseño y la implementación de un proyecto de esta naturaleza.

6 Bibliografía

- Ayala L, Sanchez-Scaglioni R, Amoros S. y Felipe L. (2008) Una colonia reproductiva de la Golondrina de la Tempestad Peruana, *Oceanodroma tethys kelsalli* (Lowe 1925), en la Isla Santa, Perú. Rev. Peru. Biol. 15(1): 117-120
- Barros R. y la Red de Observadores de aves. (2019). Resumen de avistamientos, Enero – Diciembre 2017. La Chiricoca 24: 25-56
- Barros R., Medrano F., Norambuena H.V., Peredo R., Silva R., de Groote F. & Schmitt F. 2019. Breeding phenology, distribution and conservation status of Markham's Storm-Petrel *Oceanodroma markhami* in the Atacama Desert. Ardea 107: 75–84. doi:10.5253/arde.v107i1.a1
- Barros R., F. Medrano, R. Silva, F. Schmitt, V. Malinarich, D. Terán, R. Peredo, C. Pinto, A. Vallverdú, J. Fuchs & H.V. Norambuena (2020) Breeding sites, distribution and conservation status of the White-vented Storm-petrel (*Oceanites gracilis*) in the Atacama Desert. Ardea 108(2):
- Bedolla-Guzmán Y, Maselo J, Aguirre-Muñoz A. & Quillfeldt P.(2016). A wood-concrete nest box to study burrow-nesting petrels.
- BirdLife International. 2019. Species factsheet: *Oceanodroma markhami*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 20/07/2020.
- Bolton M. (1996) Energy expenditure, body-weight and foraging performance of Storm Petrels *Hidrobates pelagicus* breeding in artificial nesting chambers
- Bolton M, Medeiros R, Hothersall B. & Campos A. (2004) The use of artificial breeding chambers as a conservation measure for cavity-nesting procellariiform seabirds: a case study of the Madeiran storm petrel (*Oceanodroma castro*).
- Bried J, Magalhães M, Bolton M, Neves V, Bell E. & Pereira J. (2009) Seabird Habitat Restoration on Praia Islet, Azores Archipelago
- Buxton R. (2012) An experimental study of social attraction in two species of storm-petrel by acoustic and olfactory cues
- Brooke D. (2004) Albatross and petrels across the World. Oxford University Press. Oxford, Reino Unido.
- Carboneras, C., F. Jutglar, and G. M. Kirwan (2020). Wedge-rumped Storm-Petrel (*Oceanodroma tethys*), version 1.0. In Birds of the World (J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie, and E. de Juana, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.wrspet.01>
- Croxall, J. P., Butchart, S. H. M., Lascelles, B., Stattersfield, A. J., Sullivan, B., Symes, A., et al. (2012). Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. Bird Conserv. Int. 22, 1–34.

- Dias P., Martin R., Pearmain E., Burfield E., Small C., Phillips R., Yates O., Lascelles B., Borboroglu P. & Croxall J. (2019). Threats to seabirds: A global assessment. *Biological Conservation* (237). Pp 525-537.
- Decreto Supremo N° 79/2018. Aprueba y oficializa clasificación de especies según estado de conservación, decimocuarto proceso. Santiago, Chile. Diario Oficial. 19 de diciembre de 2018.
- Fromant A, Miskelly C, Arnould J. & Bost C. (2020) Artificial burrows as a tool for long-term studies of diving petrels. *Polar Biology*.
- Fish and Wildlife Service (2008) Kure/Humboldt Bay Oil Spill. Final damage assessment and restoration Plan. Environmental Assessment. July 2008.
- García-Godos I., Goya E. & Jahncke J. 2002. The diet of Markham's Storm Petrel *Oceanodroma markhami* on the central coast of Peru. *Marine Ornithology* 30: 77–83.
- García-Olaechea, Diego, César Chávez-Villavicencio, and Jorge Novoa-Cova 2020. A new breeding colony of the Wedge-rumped Storm-Petrel (*Hydrobates tethys kelsalli*, Lowe 1925) on Foca Island, extreme northwestern Peru. *Revista Peruana de Biología*, 27: 225-228
- Gaston A. (2004). *Seabirds: A Natural History* New Haven:Yale University Press
- Harris MP. 1969. Breeding season of sea-birds in the Galapagos Islands. *Journal of Zoology* 159: 145-165
- HaskoningDHV (2020). In Principle Habitats Regulations Derogation Provision of Evidence Appendix 1 Flamborough and Filey Coast SPA In Principle Compensation. Norfolk Boreas Offshore Wind Farm
- Hertel F. & Torres-Mura J. (2003). Discovery of a breeding colony of Elliot's Storm-Petrels (*Oceanites gracilis*, Hydrobatidae) in Chile. *Ornitología Neotropical*. 14(1): 113–115.
- Howell S.N.G. & Zufelt K. 2019. *Oceanic birds of the world, a photo guide*. Princeton University Press
- Jahncke J. 1993. Primer informe del área de anidación de la golondrina de tempestad negra, *Oceanodroma markhami* (Salvin, 1883). In: Castillo de Maruenda E (ed) *Memorias del Congreso Nacional de Biología*: 339-343. Lima, Perú.
- Jahncke J. 1994. Biología y conservación de la golondrina de tempestad negra *Oceanodroma markhami* (Salvin 1883) en la península de Paracas, Perú. APECO, Lima. URL: <http://www.apeco.org.pe/> (accessed July 9, 2013).
- Leon A. & Minguez E. (2003) Occupancy rates and nesting succes of European storm-petrels breeding inside artificial nest-boxes.
- Libois E, Gimenez O, Oro D, Minguez E, Pradel R. & Sanz-Aguilar A. (2012) Nest boxes: A successful management tool for the conservation of an endangered seabird.

- Luna N. 2015. Relevancia de la Golondrina de Mar Peruana (*Oceanodroma tethys*) en la Dieta de la Lechuza (*Tyto alba*) en Isla Grande de Atacama. Tesis de Biología Marina, Universidad Católica del Norte. La Serena, Chile.
- Malinarich V & A Vallverdú (2019) Estudio de las poblaciones de golondrina de mar en la región de Tarapacá. Informe técnico. Unidad de recursos naturales, Servicio Agrícola y Ganadero.
- Miskelly C, Taylor G, Gummer H. & Williams, R. (2009). Translocations of eight species of burrow-nesting seabirds (genera *Pterodroma*, *Pelecanoides*, *Pachyptila* and *Puffinus*: Family Procellariidae). *Biological Conservation* 142:1965-1980. 56 pp.
- Mciver W, Carter H, Harvey L, Mazurkiewicz D. Mason J. (2016) Use of social attraction to restore ash storm-petrels *Oceanodroma homochroa* at Orizaba rock, Santa Cruz Island, California.
- Medrano F, Barros R, Norambuena H V, Matus R y Schmitt F. (2018). Atlas de las aves nidificantes de Chile. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile. Santiago, Chile.
- Medrano F, R Silva, R Barros, D Terán, R Peredo, B Gallardo, P Cerpa, F de Groote, P Gutiérrez & I Tejada (2019) Nuevos antecedentes sobre historia natural y conservación de la golondrina de mar negra (*Oceanodroma markhami*) y la golondrina de mar de collar (*Oceanodroma hornbyi*) en Chile. *Revista Chilena de Ornitología* 25: 21-30.
- Medrano, F., J. Drucker, and A. Jaramillo (2021). Ringed Storm-Petrel (*Oceanodroma hornbyi*), version 2.0. In *Birds of the World* (T. S. Schulenberg and B. K. Keeney, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.rispet1.02>
- Medrano, F., C. Carboneras, F. Jutglar, G. M. Kirwan, and C. J. Sharpe (2021). Elliot's Storm-Petrel (*Oceanites gracilis*), version 2.0. In *Birds of the World* (T. S. Schulenberg and B. K. Keeney, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.wvspet1.02>
- Ministerio del Medio Ambiente. 2018. Decreto Supremo N° 79/2018. Aprueba y oficializa nómina para el décimo cuarto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Santiago, Chile. Diario Oficial. 19 de diciembre de 2018.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2020. Decreto Supremo N° 16/2020. Aprueba y oficializa nómina para el décimo sexto proceso de clasificación de especies según su estado de conservación. Santiago, Chile. Diario Oficial. 3 de agosto de 2020.
- Murphy R.C. (1936). *Oceanic birds of South America*. Vol. 2. MacMillan Company, New York.
- Neto A. (2013) Status and conservation of Madeiran Storm-petrel *Oceanodroma castro* in Farilhão Grande, Berlengas, Portugal: relevance to the management plan of this protected area. Universidade de Lisboa.

- Nizuma Y, Takahashi A. & Watanuki Y. (1999) Energy Expenditure of Incubating Leach's Storm-petrels in Artificial Nestboxes in the Wild. *Jpn. J. Ornithol.* 47: 49-53, 1999
- Priddle D. & Carlie N. (1995) An Artificial Nest Box For Burrow-Nesting Seabirds. *EMU* Vol. 95,290-294
- Podolsky R. & Kress S. (1998) Factors Affecting Colony Formation in Leach's Storm-Petrel
- Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC). 2021. Información espacial sobre reproducción de golondrinas de mar en el norte de Chile. Versión 3.0, publicada el 01/03/2021. Disponible en www.redobservadores.cl
- Rodríguez A, Arcos JM, Bretagnolle V, Dias MP, Holmes ND, Louzao M, Provencher J, Raine AF, Ramírez F, Rodríguez B, Ronconi RA, Taylor RS, Bonnaud E, Borrelle SB, Cortés V, Descamps S, Friesen VL, Genovart M, Hedd A, Hodum P, Humphries GRW, Le Corre M, Lebarbenchon C, Martin R, Melvin EF, Montevecchi WA, Pinet P, Pollet IL, Ramos R, Russell JC, Ryan PG, Sanz-Aguilar A, Spatz DR, Travers M, Votier SC, Wanless RM, Woehler E and Chiaradia A (2019) Future Directions in Conservation Research on Petrels and Shearwaters. *Front. Mar. Sci.* 6:94
- Pino R., Mora M. & Sepúlveda C. (2021) A new breeding site of Hornby's Storm-Petrel. *Oryx* (55). Cambridge University Press.
- Silva R, F Medrano, I Tejada, D Terán, R Peredo, R Barros, V Colodro, P González, V González, C Guerra-Correa, P Hodum, B Keitt, G Luna-Jorquera, V Malinarich, G Mallea, P Manríquez, H Nevins, B Olmedo, J Páez-Godoy, G de Rodt, F Rojas, P Sanhueza, CG Suazo, F Toro & B Toro-Barros. (2020). Evaluación del impacto de la contaminación lumínica sobre las aves marinas en Chile: Diagnóstico y Propuestas. *Ornitología Neotropical* 31: 13-24.
- Schreiber, Elizabeth A. & Joanne B. (2001) *Biology of Marine Birds*. Boca Raton: CRC Press
- Spear L.B. & Ainley D.G. 2007. Storm-petrels of the Eastern Pacific Ocean: species assembly and diversity along marine habitat gradients. *Ornithol. Monogr.* 62.
- Torres-Mura JC & Lemus ML. 2013. Breeding of Markham's Storm-Petrel (*Oceanodroma markhami*, Aves: Hydrobatidae) in the desert of northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 497-499.
- Vargas M. 2019. Análisis trófico de la golondrina de mar negra (*Oceanodroma markhami*) (Salvin 1883) en Chile, e implicancias para su conservación. Escuela de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso.
- Warham (1982) Techniques for observing burrowing petrels at the nest: a comment. *Cormorant* (10)
- Wilson U. (1986). Artificial rhinoceros auklet burrows: a useful tool for management and research. *Journal of field Ornithology* 57: 295-299