

Informe Final

“ESTUDIO SOBRE LAS POBLACIONES DE GOLONDRINAS DE MAR QUE NIDIFICAN EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ Y SUS PRINCIPALES AMENAZAS”

Licitación ID 612-4-LE22

Junio de 2023
Santiago-Chile

Contenido

1. RESUMEN	11
2. INTRODUCCIÓN	12
3. OBJETIVOS	13
4. METODOLOGÍA.....	14
4.1 Recopilación bibliográfica	14
4.1.1 Recopilación de datos georreferenciados.....	16
4.2 Caracterización de hábitat	16
4.2.1 Escala paisaje.....	17
4.2.2 Escala local	19
4.3 Estimación de preferencias de hábitat.....	22
4.3.1 Escala paisaje.....	23
4.3.2 Escala local	26
4.3.3 Delimitación cartográfica de sitios de nidificación	27
4.3.4. Definición de sitios de nidificación para monitoreo	29
4.5 Seguimiento y monitoreo de sitios de nidificación	30
4.5.1 Seguimiento de nidos.....	31
4.5.2 Evaluación de reutilización de nidos y marcaje	33
4.6 Amenazas en sitios de nidificación de golondrinas de mar	34
4.6.1 Identificación de amenazas.....	34
4.6.2 Cuantificación del impacto de principales amenazas	38
5. RESULTADOS	39
5.1. Recopilación bibliográfica	39
5.1.1 Orden Procellariiformes	39
5.2 Caracterización de hábitat	45
5.2.1 Escala Paisaje.....	45

5.2.2 Escala Local.....	49
5.2.3 Preferencias de hábitat	90
5.2.4 Delimitación cartográfica de sitios de nidificación	96
5.5. Definición de sitios de nidificación.....	98
5.6. Seguimiento y monitoreo de sitios de nidificación	98
5.6.1 Seguimiento de nidos.....	98
5.6.2 Marcaje y evaluación de reutilización de nidos	105
5.6.3 Actualización del calendario de nidificación y actividad diaria de la golondrina de mar negra (<i>H. markhami</i>).....	113
5.7 Amenazas en sitios de nidificación de golondrinas de mar	114
5.7.1. Identificación y Cuantificación de impactos de principales amenazas	114
5.8 Guía Metodológica para el estudio y monitoreo de golondrinas de mar en el norte de Chile.....	131
6. DISCUSIÓN.....	133
6.1 Recopilación de datos y caracterización del hábitat.....	133
6.2 Preferencia de hábitat.....	133
6.3 Definición de potenciales nuevos sitios de nidificación.....	135
6.4 Seguimiento y monitoreo de sitios de nidificación	135
6.5 Amenazas en sitios de nidificación.....	136
7. CONCLUSIÓN	137
8. LITERATURA CITADA.....	139
9. EQUIPO	147

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución espacial de los 3872 nidos de golondrinas de mar (<i>Hydrobates markhami</i> , <i>Hydrobates hornbyi</i> , <i>Hydrobates tethys</i> y <i>Oceanites gracilis</i>) presentes en la Región de Tarapacá.	17
Figura 2. Sitios de nidificación identificados para golondrinas de mar en la Región de Tarapacá..	20
Figura 3. Medición de variables in situ para análisis de escala local. Izquierda: medición de variables de sustrato y georreferenciación de puntos de presencia-ausencia. Derecha: Inspección mediante cámara sonda de nidos reportados en la temporada reproductiva anterior.....	27
Figura 4. Orientación de laderas utilizadas para el análisis de delimitación cartográfica de sitios de nidificación en la Región de Tarapacá.....	29
Figura 5. Prospección con cámara sonda marca RIDGID CA-350.....	32
Figura 6. Nido con adulto y cría (izq). Nido con huevo, sin reporte de adulto en su interior (der).....	32
Figura 7. Distribución de los nidos de golondrinas de mar según los valores de presión de vapor de agua (kPa).....	45
Figura 8. Mapa de la distribución de nidos de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá según valores de presión de vapor de agua.....	46
Figura 9. Distribución de los nidos de golondrinas de mar según los valores de temperatura promedio para el mes de febrero en la Región de Tarapacá.	47
Figura 10. Estacionalidad de las precipitaciones (coeficiente de variación) en la Región de Tarapacá.....	47
Figura 11. Precipitación durante el trimestre más cálido en la Región de Tarapacá.....	48
Figura 12. Geología en sitios de nidificación de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá..	49
Figura 13. Puntos de muestreo en sector Chiza.....	51
Figura 14. Superficies sector sur muestreo sector Chiza.	52

Figura 15. Vista desde sector norte del muestreo, ladera sur quebrada de Chiza. Fuente: Elaboración propia.	52
Figura 16. Unidades geológicas en sitios de nidificación de golondrina de mar en la Región de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura 17. Puntos de muestreo sector Jarza. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 18. Superficie en sector 1 de muestreo en Jarza. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 19. Vista general superficie en sector 2 de muestreo en Jarza. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura 20. Puntos de muestreo sector Quiuña. Arriba, vista general del sitio de nidificación. Abajo, vistas de transectos realizados en el sitio. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 21. Superficie en sector de muestreo 1 en Quiuña. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 22. Superficie en sector de muestreo 2 en Quiuña. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 23. Vista general Sector Quiuña, junto a entrada de niebla por quebrada Tiliviche, desde sector de muestreo 1. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 24. Puntos de muestreo sector Caleta Buena. Arriba, vista general del sitio. Abajo, vistas de transectos realizados en el sitio. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 25. Puntos de muestreo sector Caleta Buena. Arriba, vista general del sitio. Abajo, vistas de transectos realizados en el sitio. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 26. Superficies presentes en área de muestreo 1 en sector Caleta buena. Arriba a la izquierda, se observa un sustrato característico de limo y arena, mientras que en las otras fotografías se observan diferentes tipos de encostramiento bajo sustratos de arena más gruesa y rocas de diferente tamaño. Fuente: Elaboración propia.	62
Figura 27. Vista general área de muestreo 1 en Caleta Buena. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 28. Superficies presentes en área de muestreo 2 en Caleta Buena. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 29. Vista general área de muestreo 2 en Caleta Buena. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 30. Superficies área de muestreo 3 en Caleta Buena. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 31. Superficies área de muestreo 4 en Caleta Buena. Fuente: Elaboración propia.....	65

Figura 32. Geología presente en sitios de nidificación descritos para sectores de Caleta Buena y Carmen Norte.....	67
Figura 33. Geología Caleta Buena, modificado de Vásquez & Sepúlveda. 2013; y Silva, 1977...	68
Figura 34. Puntos de muestreo sector Pampa Hermosa. Arriba, vista general del sitio. Abajo, sectores donde se realizaron los transectos y muestreos..	69
Figura 35. Superficies presentes en área de muestreo 1 en Pampa Hermosa.	70
Figura 36. Superficies presentes en área de muestreo 2 en Pampa Hermosa.	71
Figura 37. Geología presente en sitios de nidificación de Pampa Hermosa y sector norte de Salar Grande.....	72
Figura 38. Geología Pampa Hermosa, modificado de Sepúlveda et al, 2014.	73
Figura 39. Puntos de muestreo sector norte Salar Grande. Arriba, vista general del sitio. Abajo, sectores donde se realizaron los transectos y muestreos.	74
Figura 40. Puntos de muestreo sector norte Salar Grande. Arriba, vista general del sitio. Abajo, sectores donde se realizaron los transectos y muestreos.	75
Figura 41. Superficies en área de muestreo 1 de Salar Grande.	76
Figura 42. Vista General área de muestreo 1 de Salar Grande.	77
Figura 43. Superficie y vista general área 2 de Salar Grande.....	77
Figura 44. Superficies y vista general área de muestreo 3 de Salar Grande.....	78
Figura 45. Superficies (arriba) y vista general (abajo) área de muestreo 4 de Salar Grande.....	79
Figura 46. Superficies en área de muestreo 5 de Salar Grande.	80
Figura 47. Superficies (arriba) y vista general (abajo) área de muestreo 6 de Salar Grande.....	81
Figura 48. Geología presente en sitios de nidificación descritos en Salar Grande.	83
Figura 49. Geología Salar Grande, modificado de Sepúlveda et al., 2014 y Vásquez et al., 2018.	84
Figura 50. Puntos de muestreo sector Alto Loa, Región de Tarapacá.	85
Figura 51. Superficies presentes en área de muestreo en Alto Loa.....	86
Figura 52. Vista desde el área de muestreo hacia ladera sur de la quebrada del río Loa.	86

Figura 53. Vista desde el área de muestreo hacia ladera sur de la quebrada del río Loa. Fuente: Elaboración propia.	87
Figura 54. Geología presente en sitios de nidificación descritos para el sector de Alto Loa. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 55. Geología sector Alto Loa, modificado de Vásquez et al., 2018.	89
Figura 56. Resultado de la curva AUC en el desarrollo del modelo de preferencia de hábitat de sitios de nidificación de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 57. Mapa del modelo de distribución de golondrinas de mar en la región de Tarapacá basado en las variables bioclimáticas. Fuente: Elaboración propia.	93
Figura 58. Distribución de nidos por categorías presentes en la variable Geomorfología usadas en el modelo de preferencia de hábitat. Fuente: Elaboración propia.	95
Figura 59. Sitios con probabilidad de nidificación de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia.	97
Figura 60. Nidos identificados de golondrina de mar y nidos monitoreados en sector Caleta Buena. Fuente: Elaboración propia.	99
Figura 61. Registro de cámara trampa donde se observa un adulto de golondrina de mar negra (<i>H. markhami</i>) afuera de un nido en el sitio de reproducción de Caleta Buena (Pampa Perdiz). Fuente: Elaboración propia.	100
Figura 62. Estado fenológico de los nidos registrados en el sitio de reproducción de Caleta Buena entre los meses de septiembre de 2022 y abril de 2023. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 63. Cría en nido de golondrina de mar registrado en el mes de noviembre en el sitio de reproducción de Caleta Buena (Pampa Perdiz). Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 64. Nidos identificados de golondrina de mar y nidos monitoreados en sector Salar Grande. Fuente: Elaboración propia.	103
Figura 65. Estado fenológico de los nidos registrados en el sitio de reproducción de Salar Grande entre los meses de septiembre de 2022 y abril de 2023. Fuente: Elaboración propia.	104

Figura 66. Nido reportado en Caleta Buena (Pampa Perdiz) donde se pudo comprobar actividad reproductiva con la presencia de una pareja reproductiva de golondrina de mar negra (<i>H. Markhami</i>) al interior del nido.	105
Figura 67. Código alfanumérico grabado en placas de aluminio para el marcaje de nidos.....	106
Figura 68. Vista final del marcaje de nidos instalados en Salar Grande, Pampa Hermosa y Caleta Buena.	107
Figura 69. Nidos monitoreados y nidos con placa identificatoria instalada en sector Caleta Buena	108
Figura 70. Nidos monitoreados y nidos con placa identificatoria instalada en sector Salar Grande.....	109
Figura 71. Nidos revisados en Sector Pampa Hermosa.....	110
Figura 72. Número y porcentaje de ocupación de nidos de golondrinas de mar en el sitio reproductivo de Caleta Buena entre los meses de septiembre de 2022 a abril 2023.	111
Figura 73. Número y porcentaje de ocupación de nidos de golondrinas de mar en el sitio reproductivo de Salar Grande entre los meses de septiembre de 2022 a abril 2023.	112
Figura 74. Calendario reproductivo de golondrina de mar negra (<i>H. markhami</i>) en la zona sur de su distribución, correspondiente a los sitios de nidificación de Caleta Buena y Salar Grande.	113
Figura 75. Cronología de actividad de la golondrina de mar negra (<i>H. markhami</i>) en base a los registros de cámara trampa. Los valores corresponden a números de registros (video o fotografía).....	114
Figura 76. Variación de la luminosidad artificial en diferentes sitios de la Región de Tarapacá, donde se observa la comuna de Iquique, Alto Hospicio, Pozo Almonte y el Sitio de Nidificación de Salar Grande.	119
Figura 77. Variación de la luminosidad artificial en diferentes sitios de la comuna de Iquique y Alto Hospicio.	120
Figura 78. Nidos de golondrinas de mar localizados cercano a microbasurales ilegales, sector Caleta Buena.	126
Figura 79. Registro fotográfico de quema de residuos terrestres en el sitio de nidificación de Caleta Buena utilizados como microbasurales ilegales.....	127

Figura 80. huella de camino ubicado en sitio de nidificación de Salar Grande donde.	128
Figura 81. Nidos de golondrina de mar sobre buffer de 6m a huellas identificadas en sector Salar Grande.....	129
Figura 82. Buffer de 10 m a nidos de golondrinas de mar con relación a huellas identificadas en Salar Grande.....	130
Figura 83. Registro de cámara trampa en el sitio de nidificación de golondrina de mar en Pampa Hermosa donde se observa vehículo de rally.	131

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de las bases de datos consultadas para hacer la revisión bibliográfica de la situación de las especies de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá.	14
Tabla 2. Descripción unidades geológicas presentes en el área de estudio.	18
Tabla 3. Variables ambientales utilizadas en puntos de muestreo durante campaña de terreno de junio de 2022.....	21
Tabla 4. Variables bioclimáticas utilizadas para el modelamiento de preferencia de hábitat de los nidos de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá.....	24
Tabla 5. Variables geológicas utilizadas para la estimación de preferencia de hábitat de las especies de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá.	25
Tabla 6. Fechas de las campañas de terreno realizadas en los sitios de nidificación de Caleta Buena (Pampa Perdiz), Pampa Hermosa y Salar Grande entre septiembre de 2022 y abril de 2023.....	30
Tabla 7. Criterios de clasificación de los nidos reportados.....	33
Tabla 8. Amenazas identificadas para las golondrinas de mar del norte de Chile.....	34
Tabla 9. Estimaciones de las contribuciones relativas de las variables ambientales al modelo de Maxent y la importancia de cada variable en la permutación de Jackknife.	90
Tabla 10. Ranking AIC para la selección de modelos (GLMM) para estimar la preferencia de hábitat de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá mediante variables geológicas a escala de paisaje.	94

Tabla 11. Análisis individual de la variable Geomorfología con sus categorías Salar y No salar usadas en el modelo de preferencia de hábitat.	94
Tabla 12. Ranking AIC para la selección de modelos (GLMM) para estimar la preferencia de hábitat de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá mediante variables ambientales tomadas in situ a escala local.....	95
Tabla 13. Análisis individual de la variable Geomorfología con sus categorías Salar y No salar usadas en el modelo de preferencia de hábitat.	96

1. RESUMEN

Las golondrinas de mar presentes en la Región de Tarapacá (*Hydrobates markhami*, *Hydrobates hornbyi* y *Oceanites gracilis*) son aves marinas que se caracterizan por nidificar de forma gregaria, mostrando gran fidelidad a sus colonias reproductivas, que en la región las más importantes corresponden a Chiza, Quiuña, Jarza, Caleta Buena (Pampa Perdiz), Pampa Hermosa, Salar Grande y Alto Loa. El presente informe tiene como finalidad aportar antecedentes de la caracterización por cada uno de los sitios identificados para la región de Tarapacá, considerando variables a escala de paisaje y variables a escala local, lo que permitirá avanzar en la estimación de las preferencias de hábitat que presentan las golondrinas de mar, proporcionando datos que posibiliten la delimitación de potenciales sitios de nidificación, y mantener o modificar los actuales límites para los ya descritos. Para cumplir los objetivos se sistematizaron 3872 nidos de golondrinas de mar para toda la Región de Tarapacá y se desarrolló una revisión bibliográfica para aportar nuevos antecedentes sobre las especies y la sistematización de coordenadas geográficas correspondiente a nidos registrados por diferentes entidades privadas y públicas (capítulo 5.1). Posteriormente se desarrolló una caracterización de los sitios de nidificación mediante la revisión a escala de paisaje de capas bioclimáticas y geológicas, además del levantamiento *in-situ* de variables ambientales locales donde se observa que los nidos muestreados se asocian a condiciones bioclimáticas que favorecen la humedad ambiental y a condiciones geológicas de tipo sedimentarias que permiten la generación de cavidades o grietas (capítulo 5.2). Para el desarrollo de modelos de preferencia de hábitat se realizaron análisis de modelamiento de nicho ecológico mediante Maxent para variables en formato ráster y modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) para variables en formatos vectoriales (capítulo 5.3). Bajo estas condiciones, se propone una extensión a los sitios de reproducción ya descritos y en otros casos, se proponen nuevos polígonos que presentan las condiciones ambientales favorables para la nidificación (Capítulos 5.4 y 5.5). Posteriormente, se realizó una delimitación cartográfica y definición de sitios de nidificación, luego analizar el seguimiento e identificación de nidos mediante el marcaje de los mismos con placas de aluminio, lo que permitió avanzar en la cuantificación de las poblaciones de golondrinas de mar y el análisis de la reutilización de nidos en los sitios reproductivos de Caleta Buena y Salar Grande, además de la actualización del período reproductivo de las golondrinas de mar negra en los sitios de nidificación estudiados (capítulo 5.6). Finalmente, se analizan las amenazas a las que se encuentran sometidas las especies de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá (capítulo 5.7).

2. INTRODUCCIÓN

Las golondrinas de mar son un diverso y ampliamente distribuido grupo de pequeñas aves pelágicas del orden Procellariiformes, comprendiendo 27 especies descritas, agrupadas en dos familias principales, Oceanitidae e Hydrobatidae (Norambuena et al., 2021; Spear & Ainley, 2007). Estas aves marinas se caracterizan por nidificar de forma gregaria, mostrando gran fidelidad a sus colonias reproductivas. Su reproducción se origina en tierra firme, en colonias generalmente ubicadas en islas o acantilados costeros, aunque algunas especies pueden estar decenas de kilómetros tierra adentro. Son especies longevas, que ponen un solo huevo y se alimentan de pequeños peces, crustáceos y cefalópodos.

La golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*) es una pequeña ave pelágica perteneciente al Orden Procellariiformes, especie endémica a la Corriente de Humboldt de Sudamérica (Spear & Ainley 2007; Malinarich et al., 2018). Sus zonas de reproducción son poco conocidas debido a que se reproducen en tierra firme, en colonias que generalmente se encuentran en islas o acantilados costeros. Nidifican gregariamente, mostrando gran fidelidad a sus colonias reproductivas. No construyen sus nidos, sino que utilizan cavidades ya existentes como madrigueras y hendiduras, prefiriendo grietas con depósitos de salitre donde realizan una postura por año, en la cual ponen un único huevo (Jahncke 1993). En Perú, específicamente en el sector de Paracas nidifican en pequeñas colonias dispersas, hasta 5 km del mar, en terrenos con pendientes, usualmente donde se encuentran depósitos de nitratos que ofrecen fisuras y hoyos (Tobias et al. 2006). Su alimentación es de manera oportunista, tanto cerca de la costa como en aguas interiores. En su dieta se encuentran especies de peces, crustáceos y cefalópodos, (García-Godos et al. 2002).

Las colonias descubiertas en Chile se distribuyen desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Antofagasta por el sur del país. La Región de Tarapacá cuenta con ocho sitios de nidificación, entre los que se encuentran: Quebrada Chiza, Pampa Tana, 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).

El presente informe tiene como finalidad aportar antecedentes de la caracterización por cada uno de los sitios identificados para la región de Tarapacá, considerando variables a escala de paisaje y variables a escala local, lo que permitirá avanzar en la estimación de las preferencias de hábitat que presentan las golondrinas de mar, proporcionando datos que posibiliten la delimitación de potenciales sitios de nidificación, y mantener o modificar los actuales límites

para los ya descritos. Además de mostrar el avance en las acciones para lograr una estimación del tamaño de las poblaciones de golondrinas de mar en los sitios de Caleta Buena y Salar Grande, así como evaluar el grado de reutilización de los nidos en estos mismos sitios.

3. OBJETIVOS

Objetivo general:

Caracterizar la ecología y comportamiento reproductivo de las poblaciones de Golondrinas de Mar que nidifican en la Región de Tarapacá durante un año, y generar un listado de principales amenazas con registro de hallazgo continuo en los nidos.

Objetivos específicos:

A continuación, se listan los objetivos específicos para este estudio:

1. Caracterizar los sitios de nidificación existentes en la región de Tarapacá.
2. Identificar los factores que determinan la preferencia de hábitat para establecer colonias reproductivas.
3. Delimitar potenciales sitios de nidificación no descritos.
4. Cuantificar el tamaño de las poblaciones de golondrinas de mar (nidos, huevos, volantones y adultos) en los sitios de nidificación (existentes y potenciales) en la región de Tarapacá durante el periodo comprendido entre abril 2022 y abril 2023.
5. Evaluar el grado de reutilización de nidos en la temporada comparando la información histórica disponible y la que se levante en época reproductiva temporadas 2022-2023.
6. Definir las condiciones y requerimientos mínimos a considerar para elaborar una línea de base y un plan de seguimiento específico para golondrinas.
7. Identificar las amenazas presentes en los sitios de nidificación de golondrinas para el periodo comprendido entre abril 2022 y abril 2023.
8. Cuantificar el impacto que generan las principales amenazas a los sitios de nidificación para el periodo comprendido entre 2022 y 2023.

4. METODOLOGÍA

4.1 Recopilación bibliográfica

Esta etapa es necesaria para poseer un diagnóstico actualizado de las especies de golondrinas de mar que nidifican en la Región de Tarapacá. A su vez, esta etapa facilitó la identificación de las presiones que sufren las especies y, por lo tanto, apoyó el analizar las amenazas.

Para llevar a cabo esta etapa se realizó una recopilación y sistematización de la información bibliográfica disponible de la especie y de su hábitat. Se revisaron artículos científicos, resúmenes de congresos, consultorías, tesis, entre otras, que se encuentren disponibles en bases de datos globales y bibliotecas nacionales.

Entre las bases de datos consultadas se encuentran diferentes instituciones y organizaciones que están sistematizadas en la Tabla 1:

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE LAS BASES DE DATOS CONSULTADAS PARA HACER LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA SITUACIÓN DE LAS ESPECIES DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ.

Institución	Página web
Web of Science (WoS), integrado en ISI Web of Knowledge	https://www.webofscience.com
Scopus	https://www.scopus.com
Ministerio del Medio Ambiente:	http://portal.mma.gob.cl
International Union for Conservation of Nature – IUCN	https://www.iucn.org
The IUCN Red List of Threatened Species	http://www.iucnredlist.org
Servicio Agrícola y Ganadero Región de Tarapacá	http://www.sag.cl
Red de Observadores de Aves de Chile (ROC)	https://www.redobservadores.cl
Servicio de Evaluación Ambiental	https://sea.gob.cl

La recopilación de información disponible se realizó principalmente sobre las fuentes bibliográficas de los siguientes libros, artículos científicos y reportes técnicos:

- Mills, L. (1954). Observations of the ringed storm-petrel off the Storm-Petrel of the north-west coast of South America. October, 87–88.
- Reed, J. R., Sincov, J. L., & Hailman, J. P. (1985). Light Attraction in Endangered Procellariiform Birds: Reduction by Shielding Upward Radiation. Auk, 102(April), 377–383.
- Jahncke, J. (1994). Biología y Conservación de la Golondrina de tempestad negra *Oceanodroma markhami* (Salvin 1883) en la península de Paracas, Perú.

- Mínguez, E. (1997). Olfactory nest recognition by british storm-petrel chicks. *Animal Behaviour*, 53(4), 701–707.
- Brooke, M. D. L. (1999). A search for the nesting colonies of Hornby's Storm Petrel in the Atacama Desert. April/May 1999.
- García-godos, I., Goya, E., Jahncke, J., Aves, D., Marinos, M., & Imarpe, P. (2002). The diet of Markham's storm petrel *Oceanodroma markhami* on the central coast of Peru. *Marine Ornithology*, 30, 77–83.
- Ainley, D. (2005). The dark storm-petrels of the eastern north Pacific: speciation, current status, and future prospects. *Birding*, January/February, 58–65.
- Spear, L. B., & Ainley, D. G. (2007). Storm-Petrels of the Eastern Pacific Ocean: species assembly and diversity along marine habitat gradients. *Ornithological Monographs*, 62(62), 1–77.
- O'Dwyer, T. W., & Nevitt, G. A. (2009). Individual Odor Recognition in Procellariiform Chicks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1170(1), 442–446.
- Schmitt, F., Barros, R., & Norambuena, H. (2009). Markham's Storm Petrel breeding colonies discovered in Chile. *Neotropical Birding*, 2009(October), 5–10.
- Torres-Mura, J. C., & Lemus, M. L. (2013). Breeding of Markham's Storm-Petrel (*Oceanodroma markhami*, Aves: Hydrobatidae) in the desert of northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86(4), 497–499.
- Rodríguez, A., Holmes, N. D., Ryan, P. G., Wilson, K. J., Faulquier, L., Murillo, Y., Raine, A. F., Penniman, J. F., Neves, V., Rodríguez, B., Negro, J. J., Chiaradia, A., Dann, P., Anderson, T., Metzger, B., Shirai, M., Deppe, L., Wheeler, J., Hodum, P., ... Corre, M. Le. (2017). Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology*, 31(5), 986–1001.
- 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(1), 75–84.
- Rizzo, R. P., Espinoza, M. M., & Cabrera, C. S. (2021). A new breeding site of Hornby's storm petrel. *Oryx*, 55(5), 652–652.
- BirdLife International. (2022). *Hydrobates hornbyi*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- BirdLife International. (2022). *Oceanites oceanicus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 8235.
- BirdLife International. (2022). *Oceanites gracilis*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- BirdLife International. (2022). *Hydrobates markhami*. The IUCN Red List of Threatened Species.

4.1.1 Recopilación de datos georreferenciados

Para la sistematización de los nidos de las diferentes especies de golondrinas de mar, se utilizaron los siguientes recursos disponibles:

- Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC), 2022. “Información espacial sobre reproducción de aves marinas en Chile”. Versión 4.1, publicada el 26/07/2022. Disponible en www.redobservadores.cl/golondrinas
- Servicio Agrícola y Ganadero, Región de Tarapacá (SAG), 2022. Informe técnico “Diagnóstico del Estado de las Poblaciones Nidificantes de Golondrina de Mar Negra (*Oceanodroma markhami*) (Salvin 1883) en la Región de Tarapacá.”
- NorteAndino EIRL. 2022. Información espacial de nidos de golondrina de mar en Salar Grande y Caleta Buena (Pampa Perdiz).

4.2 Caracterización de hábitat

Para la caracterización de los sitios de nidificación se realizó una sistematización de los registros de nidos de todas las especies de golondrinas de mar (*Hydrobates markhami*, *Hydrobates hornbyi* y *Oceanites gracilis*) en la Región de Tarapacá. Para esto se utilizó la información proporcionada por SAG Tarapacá, Red de Observadores de Aves de Chile (ROC) y Norte Andino EIRL., resultando un total de 3872 nidos (Figura 1). Estos nidos fueron distribuidos en los ocho (8) sitios de nidificación identificados por SAG Tarapacá en el año 2022.

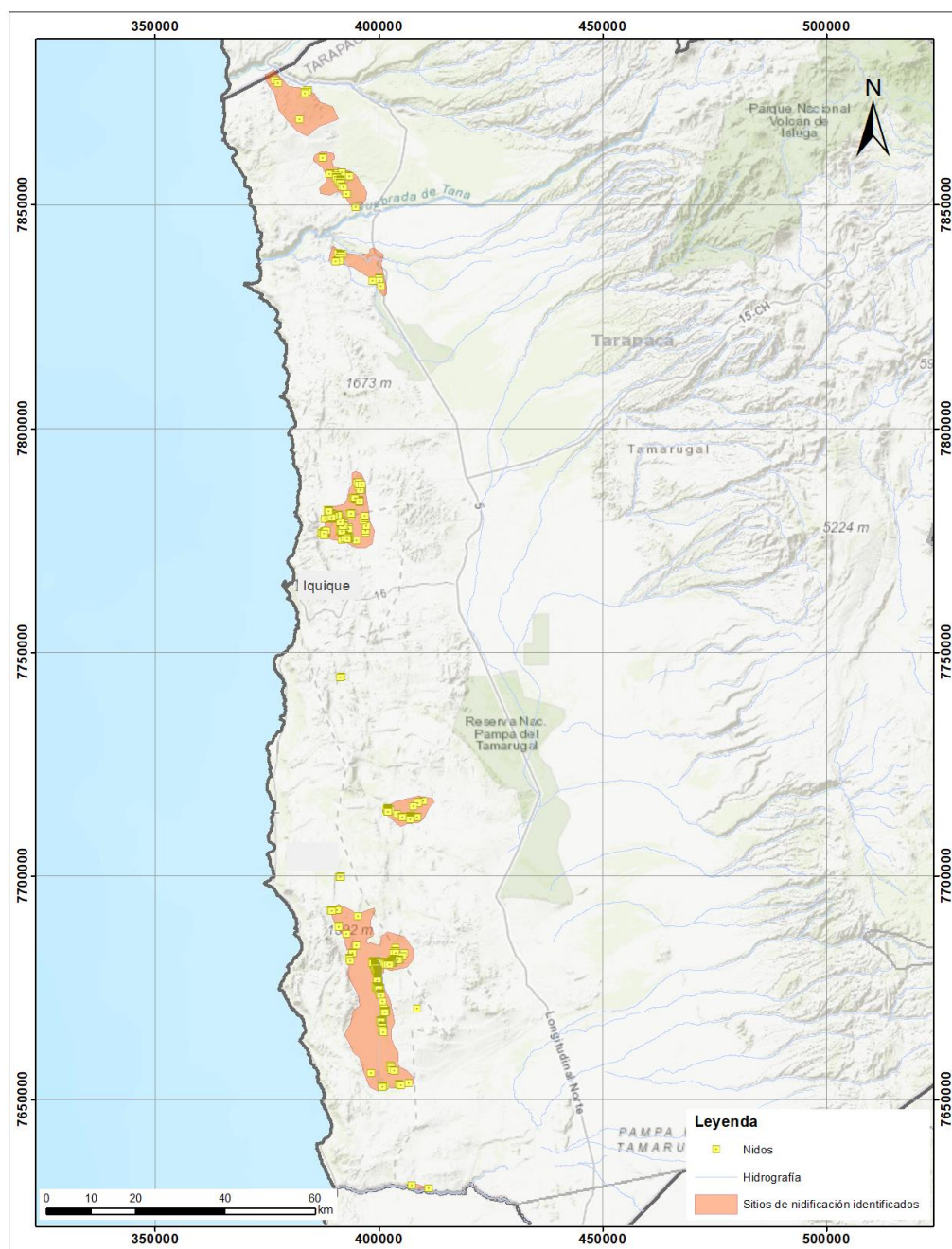


FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS 3872 NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR (*HYDROBATES MARKHAMI*, *HYDROBATES HORNBYI*, *HYDROBATES TETHYS* Y *OCEANITES GRACILIS*) PRESENTES EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, CON BASE EN LOS SITIOS DE NIDIFICACIÓN RECOPIADOS.

4.2.1 Escala paisaje

4.2.1.1 Bioclimático

En la caracterización bioclimática de los sitios de reproducción de las especies de golondrinas de mar se utilizaron las bases de datos abiertas de WorldClim (Fick and Hijmans, 2017) de aproximadamente 1 km². Desde esta base de datos se emplearon variables asociadas a las

temperaturas, precipitaciones y humedad ambiental. Cada variable ambiental fue descargada en formato raster (.tif), visualizada mediante coordenadas UTM referidas al datum WGS84 Huso 19S, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis v. 10.8 y convertida a formato *shape* (.shp) para extracción de valores.

4.2.1.2 Geológico

Por otra parte, se utilizó información correspondiente a la geología existente en el área de estudio, basada en el Mapa geológico de Chile (Sernageomin, 2003) la que se encuentra a mediana escala (1:1.000.000), con la finalidad de realizar una descripción relacionada a esta característica lo que permitió comparar los sitios latitudinalmente; para el área en estudio se observa la presencia de las unidades geológicas presentes en la Tabla 2. Se realizó el análisis mediante trabajo de gabinete con el uso del software ArcGIS 10.8, combinando la localización de las colonias y nidos identificados.

TABLA 2. DESCRIPCIÓN UNIDADES GEOLÓGICAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Código Unidad	Descripción Unidad
J2m	Secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas y brechas, andesíticas y basálticas, calizas y areniscas marinas fosilíferas.
J3i	Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales.
JK1c	Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y eólicas, en parte transicionales: areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados rojos.
JKg	Granodioritas, dioritas, monzodioritas y granitos; pórfidos dacíticos y andesíticos
JS1m	Secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos superiores.
Ki1m	Secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, calcarenitas, areniscas, margas y coquinas.
Kia3	Secuencias y complejos volcánicos continentales: lavas y brechas basálticas a andesíticas, rocas piroclásticas andesíticas a riolíticas, escasas intercalaciones sedimentarias.
M1c	Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas.

MQs	Depósitos evaporíticos: sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles detríticos finos, localmente con bórax y/o litio.
OM1c	Secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón.
PPI1r	Depósitos de remoción en masa: brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional.

4.2.2 Escala local

Para realizar la caracterización de los sitios de nidificación a escala local, se utilizó como referencia el último informe emitido el año 2021 por SAG Tarapacá de “Estudio de las poblaciones de golondrinas de mar en la región de Tarapacá”, donde se indica la prospección e identificación de ocho sitios de nidificación, entre los que se encuentran los sectores de: Chiza, Jarza, Quiuña, Caleta Buena, Carmen Norte, Pampa Hermosa, Salar Grande y Alto Loa (Malinarich & Vallverdú, 2021). También se consideraron los resultados de los estudios desarrollados por el consultor donde se agregan nidos a los reportados y aportados por el Servicio Agrícola y Ganadero. Con esta información se construyó una matriz con los datos de los nidos registrados en estos ocho sitios a la fecha, distinguiendo por sitios. Luego, se realizó la caracterización ambiental de los sectores de nidificación identificados en la Región (Figura 2).

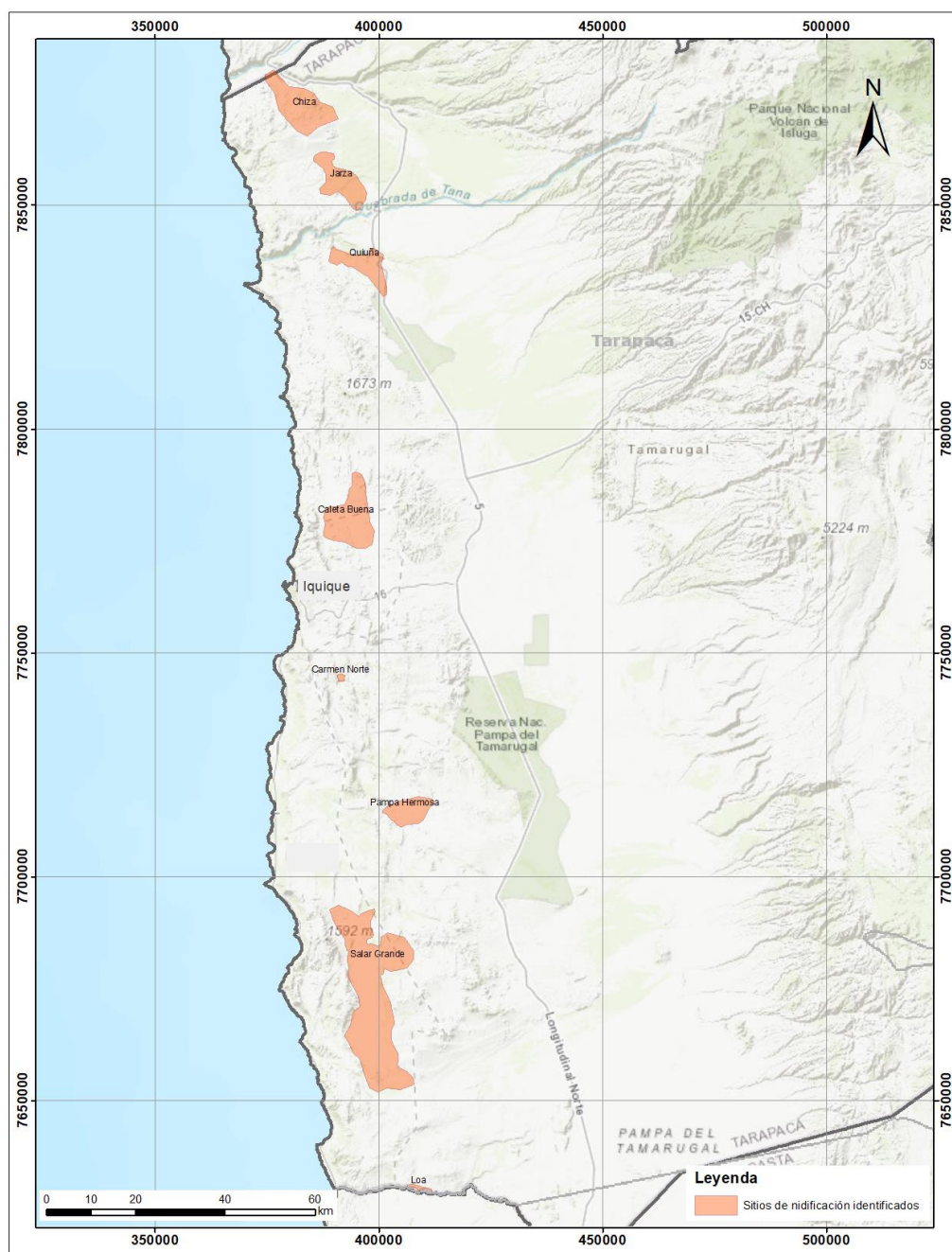


FIGURA 2. SITIOS DE NIDIFICACIÓN IDENTIFICADOS PARA GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, CON BASE EN LOS SITIOS DE NIDIFICACIÓN REPORTADOS POR SAG TARAPACÁ.

Por otra parte, se realizó una campaña de terreno durante el mes de junio de 2022, donde se levantó información ambiental *in situ*, y mediante sistemas de información geográfica se construyó un set de 10 variables ambientales que fueron seleccionadas con base en lo indicado por la literatura técnica y científica para los géneros *Hydrobates*, *Oceanites* y familia *Procellariidae*; dichas variables se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3. VARIABLES AMBIENTALES UTILIZADAS EN PUNTOS DE MUESTREO DURANTE CAMPAÑA DE TERRENO DE JUNIO DE 2022.

Nombre de variable	Descripción
Clase de sustrato	1: Sustrato muy fino 2: Sustrato fino 3: Sustrato medio 4: Sustrato grueso 5: Sustrato muy grueso
Tipo de sustrato	1: Granulado o arena 2: Estructuras angulosas 3: Prismático 4: En placa
Grado de compactación del sustrato	1: Estructura masiva (bloque de roca) 2: Grano (arenoso)
Color de sustrato	Color predominante en el sustrato
Encostramiento	1: No encostrado 2: Moderadamente encostrado 3: Encostrado
Dimensiones de la cavidad	Alto x ancho de la abertura de la cavidad (cm)
Exposición de la abertura de la cavidad	Puntos cardinales hacia donde se expone la salida de la cavidad
Exposición de la ladera	Puntos cardinales hacia donde se expone la ladera donde se encuentra el nido o cavidad
Pendiente	Pendiente del terreno donde se ubica el nido
Elevación	Elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) del nido o cavidad

Para fortalecer estos datos, se utilizó un modelo digital de elevación (MDE) el cual es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, además de coberturas disponibles de fuentes oficiales, como hidrografía, junto a información georreferenciada de las mismas fuentes (oasis de niebla). Todas estas variables fueron digitalizadas y sobrepuestas en las coordenadas de localización de los sitios de nidificación

identificados, mediante coordenadas UTM referidas al datum WGS84 Huso 19S, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGis v. 10.8.

Adicionalmente, en cada sitio de nidificación se instalaron trampas cámaras fuera y/o dentro de los nidos (esto último según tamaño del nido) con el objetivo de identificar temporalmente el inicio de la temporada de nidificación y actualizar el calendario existente hasta ahora (Malinarich et al., 2021; Barros et al. 2019), con la finalidad de avanzar en los objetivos posteriores de esta licitación.

4.3 Estimación de preferencias de hábitat

El conjunto de condiciones físicas y biológicas que permiten que una especie alcance un fitness adecuado para mantener la población corresponde al hábitat de esta. Sin embargo, estos factores pueden variar por múltiples factores, a la vez que los requerimientos de las especies (Hall et al., 1997). Los estudios sobre la preferencia de hábitat hacen referencia a la distribución real de una especie según un modelo de hábitat que permite encontrar patrones de selección asociado a requerimientos específicos y que asumen el conservadurismo de nicho, que el clima limita las distribuciones de las especies y que las distribuciones de las especies en la actualidad están en equilibrio con el clima (Guisan & Zimmermann, 2000). Dentro de los aspectos más relevante de los estudios de preferencia de hábitat es su importancia en la estimación de ciertos impactos antrópicos sobre poblaciones determinadas, desplazamientos potenciales (especies invasoras) y entregar lineamientos para establecer políticas de manejo (Lamouroux & Souchon, 2002 y Rivera, 2009).

La estimación de las preferencias de hábitat cobra real importancia en especies crípticas y que se encuentran en categoría de amenaza, ya que permite identificar sitios que potencialmente podrían estar albergando individuos. Las golondrinas de mar y otros pequeños petreles (Procellariidae) son las aves marinas más abundantes del Océano Austral. Sin embargo, debido a que se reproducen en cavidades en islas remotas o en hábitats extremadamente áridos y a menudo lejos de centros poblados, el tamaño de sus colonias y sus requerimientos de hábitats siguen siendo poco conocidos.

A continuación, se describen las diferentes metodologías utilizadas para estimar preferencia de hábitat de las especies de golondrina de mar presentes en la Región de Tarapacá. Cada metodología fue utilizada según la escala espacial de observación y según el formato de las variables ambientales disponibles para los análisis.

4.3.1 Escala paisaje

4.3.1.1 Bioclimático

Para realizar la estimación de las preferencias de hábitat se realizó un análisis de nicho ecológico, el cual utiliza el método de Máxima Entropía mediante el programa Maxent v3.3 (Phillips et al., 2006), que modela la distribución de especies y su nicho ecológico (Merow et al., 2013). Maxent trabaja con datos de presencia, que corresponden al total de nidos identificados en la Región de Tarapacá (n= 3872). Esta información fue analizada con base en un conjunto de variables ambientales que fueron obtenidas de la caracterización de los sitios de nidificación.

Dentro del algoritmo de máxima entropía, las distribuciones de densidad de nidos se representan como la probabilidad de distribución en un sitio específico dentro del área de estudio. Dicha distribución resulta de la modelación de las diferentes probabilidades de distribución observadas, fijadas a un grupo de restricciones que surgen de los datos de ocurrencia (presencia). Estas restricciones son expresadas en función a las variables ambientales obtenidas en el proceso de caracterización de los sitios de nidificación, descrito anteriormente. El modelo resultante presenta un tipo de salida logístico donde cada píxel tiene una probabilidad de 0 a 1 de identificar sitios en el espacio geográfico similares a los sitios de nidificación desde donde recogimos las variables ambientales. Con los datos obtenidos se proyectó un mapa de modelamiento de nicho para las especies estudiadas y además se identificaron las variables ambientales de mayor peso en el modelo.

Las variables bioclimáticas fueron obtenidas de la base de datos abierta de WorldClim (Fick y Hijmans, 2017), desde acá se obtuvieron 19 variables que describen las tendencias anuales y los factores ambientales extremos o limitantes del clima actual, las cuales son ampliamente utilizadas para el desarrollo de modelos de distribución de especies (Pliscoff y Fuentes-Castillo, 2011) (Tabla 4). Se utilizó el método de máxima entropía implementado en Maxent (Phillips et al., 2006) para predecir las distribuciones potenciales de las especies en el presente utilizando las ubicaciones de las especies y las capas climáticas actuales. Se establecieron los parámetros de Maxent como modo de características automáticas, con 1.000 muestras aleatorias que representan las condiciones climáticas de la zona analizada. Se usó el 80% de los datos para el entrenamiento del modelo utilizando las condiciones climáticas actuales y el 20% para la validación. Los resultados se definieron en un formato logístico interpretable como la probabilidad de presencia condicionada a las variables ambientales (Phillips et al., 2006). El rendimiento del modelo se determinó mediante el AUC, es decir, el área bajo las curvas.

TABLA 4. VARIABLES BIOCLIMÁTICAS UTILIZADAS PARA EL MODELAMIENTO DE PREFERENCIA DE HÁBITAT DE LOS NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ.

Nombre de variable	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango medio de temperatura diurna (media del mes ($T^{\circ} \text{ max} - T^{\circ} \text{ min}$))
BIO3	Isotermia (Bio 2 / Bio 7) (x100)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima de mes más frío
BIO7	Rango de temperatura anual (Bio 5 - Bio 6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

4.3.1.2 Geológico

Adicionalmente, se realizó un modelamiento de preferencia de hábitat utilizando variables geológicas (Tabla 5) mediante la información extraída del Mapa geológico de Chile (Sernageomin, 2003). Dado que las variables geológicas no se encuentran en formato ráster, sino vectoriales (puntos), la metodología se desarrolló mediante modelos lineales generalizados mixtos (GLMM). Estos modelos permiten identificar qué variables explican de mejor forma la presencia de nidos de golondrinas de mar en el área de estudio. Se utilizaron 3406 puntos de presencia correspondiente al número total de nidos acumulados en la región (Según estimación del año 2022) y 146 puntos de ausencia. Los puntos de ausencia corresponden a puntos cercanos

a los sitios de nidificación que no presentan nidos, cada punto de ausencia fue georreferenciado *in-situ*. Se utilizaron las variables geológicas como variables predictivas y los puntos de presencia-ausencia como variables respuesta. Debido a la estructura de los datos (presencia-ausencia) se utilizó una distribución de Binomial con función logarítmica. Para seleccionar el mejor modelo se utilizó el método de *stepwise* bajo el criterio de Akaike (AIC), el modelo fue seleccionado cuando el $\Delta AIC < 2$.

TABLA 5. VARIABLES GEOLÓGICAS UTILIZADAS PARA LA ESTIMACIÓN DE PREFERENCIA DE HÁBITAT DE LAS ESPECIES DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ.

Nombre de variable	Descripción
Roca 1	Tipo de roca presente en el sector 1: Andesita 2: Basalto 3: Caliza 4: Conglomerado 5: Grava 6: Sedimentario químico
Roca 2	Tipo de roca presente en el sector 1: Andesita 2: Arena 3: Arenisca 4: Basalto
Roca 3	Tipo de roca presente en el sector 1: Caliza 2: Limo 3: Lutita 4: Lutita calcárea 5: Toba riolítica
Roca 4	Tipo de roca presente en el sector 1: Arenisca 2: Caliza 3: Carbón 4: Ignimbrita 5: Sedimento químico

Edad	Edad geológica 1: Jurásico 2: Jurásico medio-superior 3: Mioceno medio-superior 4: Mioceno Cuaternario 5: Oligoceno-Mioceno
Unidad	1: Depósitos evaporíticos: sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles detríticos finos, localmente con bórax y/o litio. 2: Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas. 3: Secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas y brechas, andesíticas y basálticas, calizas y areniscas marinas fosilíferas 4: Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas. 5: Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales. 6: Secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón.
Geomorfología	Indica si el área corresponde a Salar 1: Salar 2: No salar
Ambiente	1: Sedimentario continental 2: Sedimentario 3: Sedimentario marino 4: Volcánico 5: Volcano sedimentario marino

4.3.2 Escala local

Para el modelamiento de preferencia de hábitat en la escala local se utilizaron puntos de presencia-ausencia sobre las 10 variables ambientales tomadas *in-situ* (Tabla 3). Los puntos de

presencia-ausencia corresponden a puntos georreferenciados en el lugar durante la campaña de junio de 2022 (Figura 3). Vale mencionar que los puntos de presencia, correspondientes a nidos, fueron ubicados siguiendo los registros tomados durante la temporada reproductiva de 2022. Al igual que para el análisis geológico a escala de paisaje, el formato de los datos permitió la realización de modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) utilizando las mediciones tomadas en terreno como variables predictivas y los puntos de presencia-ausencia como variables respuesta. Debido a la estructura de los datos (presencia-ausencia) se utilizó una distribución de Binomial con función logarítmica. Para seleccionar el mejor modelo se utilizó el método de *stepwise* bajo el criterio de Akaike (AIC), el modelo fue seleccionado cuando el $\Delta AIC < 2$.



FIGURA 3. MEDICIÓN DE VARIABLES IN SITU PARA ANÁLISIS DE ESCALA LOCAL. IZQUIERDA: MEDICIÓN DE VARIABLES DE SUSTRATO Y GEORREFERENCIACIÓN DE PUNTOS DE PRESENCIA-AUSENCIA. DERECHA: INSPECCIÓN MEDIANTE CÁMARA SONDA DE NIDOS REPORTADOS EN LA TEMPORADA REPRODUCTIVA ANTERIOR.

4.3.3 Delimitación cartográfica de sitios de nidificación

La delimitación de los sitios de nidificación se realizó mediante trabajo de gabinete, la cual se construyó con base en la revisión bibliográfica existente para las especies en estudio, la información obtenida en terreno y los resultados de la estimación de preferencias de hábitat. Además de verificar mediante la revisión de las características geomorfológicas y geológicas, la evaluación de la cobertura de áreas de presencia de la especie en la Región de Tarapacá. Para lo anterior, se utilizó el Mapa Geológico de Chile (Sernageomin, 2003), el cual presenta una escala

común a toda la región, junto a imágenes satelitales (Landsat/Copernicus/Maxar, 2022) para realizar la fotointerpretación. A lo anterior, se suma el resultado del análisis bioclimático realizado para la caracterización a escala de paisajes, descrito en el punto 4.3.1.1 y la variable de presión de vapor de agua como un indicador del potencial de la atmósfera para proveer humedad mediante neblinas costeras. Esta variable fue obtenida de la base de datos abierta Worldclim (Fick et al., 2017).

Por otra parte, y mediante el uso de Sistemas de información Geográfica, a partir de un modelo digital de elevación (MDE), mediante la herramienta *Aspect*, se generó un mapa de orientación de laderas, lo que permitió identificar valores de 0 a 360° según la orientación respecto a los puntos cardinales (Figura 4). Por medio del análisis de estas cuatro variables, fue posible generar una delimitación de sitios con potencial probabilidad de nidificación.

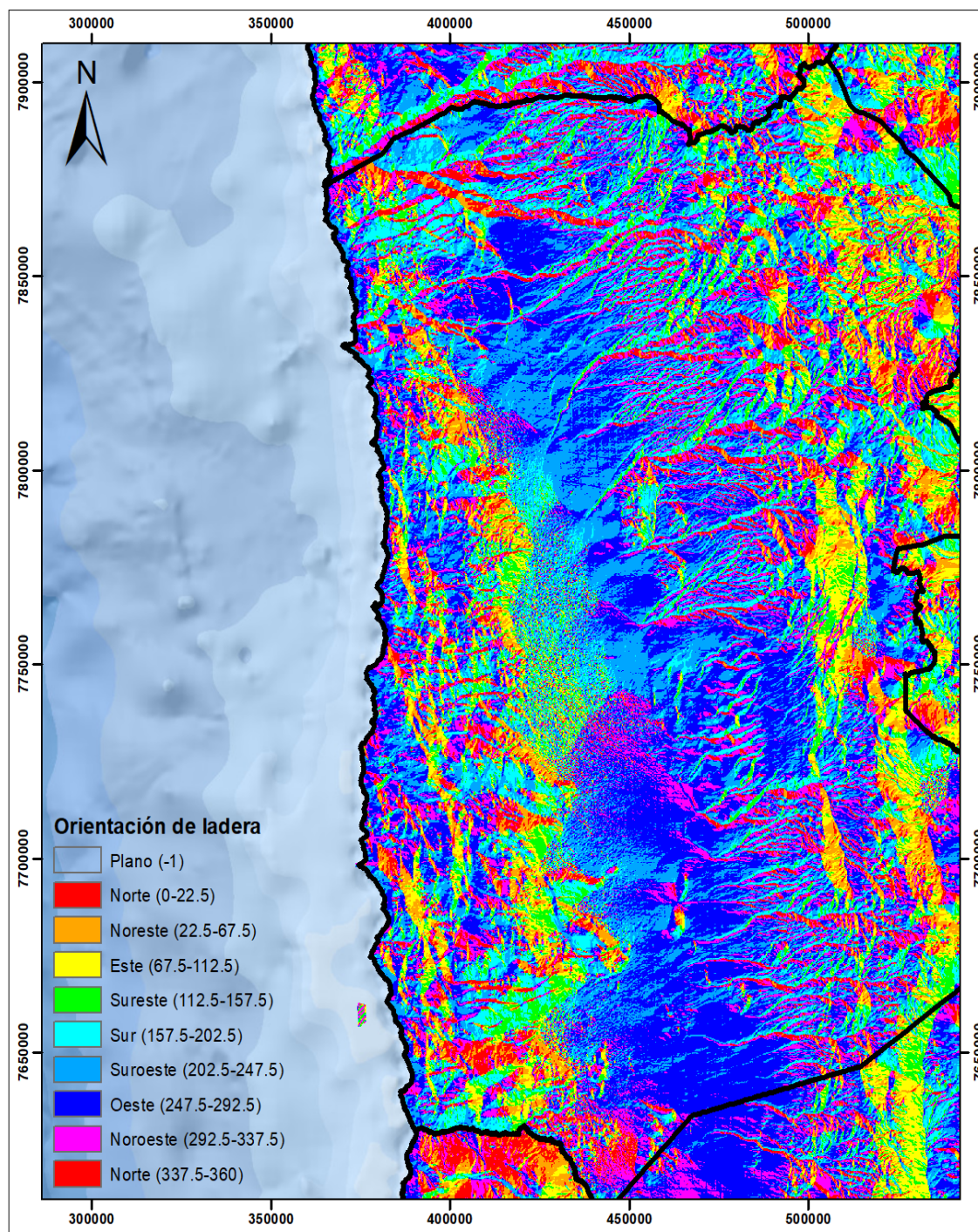


FIGURA 4. ORIENTACIÓN DE LADERAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE DELIMITACIÓN CARTOGRÁFICA DE SITIOS DE NIDIFICACIÓN EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4.3.4. Definición de sitios de nidificación para monitoreo

La definición de los sitios de nidificación que fueron monitoreados durante la temporada reproductiva 2022-2023 se evaluó con base en los resultados de este informe y a las sugerencias recibidas del mandante durante las reuniones mensuales. En esta evaluación se consideraron

factores como la representatividad de los sitios en cuanto al número de nidos registrados, la diversidad de ambientes o microhábitats que se encuentren al interior de los sitios y la extensión espacial de los sitios.

4.5 Seguimiento y monitoreo de sitios de nidificación

Las actividades de seguimiento y monitoreo de los sitios de nidificación estuvieron compuestas por (1) resultados preliminares de seguimiento de nidos registrados en temporadas reproductivas anteriores y, (2) situación reproductiva y fenológica de los nidos monitoreados. El seguimiento fue implementado en las colonias de importancia regional para las especies de golondrinas de mar en la región de Tarapacá, según fue acordado con la contraparte, tales como Caleta Buena ubicada al norte de la ciudad de Iquique y la Colonia de Salar Grande ubicada al sur de la ciudad, dichas medidas tuvieron un tiempo de duración de ocho meses, comenzando el mes septiembre de 2022 y finalizando en el mes de abril de 2023 (Tabla 6).

TABLA 6. FECHAS DE LAS CAMPAÑAS DE TERRENO REALIZADAS EN LOS SITIOS DE NIDIFICACIÓN DE CALETA BUENA (PAMPA PERDIZ), PAMPA HERMOSA Y SALAR GRANDE ENTRE SEPTIEMBRE DE 2022 Y ABRIL DE 2023.

N°	Mes	Día	Sector
1	Septiembre	10-11	Caleta Buena, Salar Grande
2	Octubre	20-21	Salar Grande, Caleta Buena
3	Noviembre	10-12	Caleta Buena, Salar Grande, Pampa Hermosa
4	Diciembre	13-17	Caleta Buena, Salar Grande
5	Enero	4-5	Caleta Buena, Salar Grande
6	Febrero	22-23	Caleta Buena, Salar Grande
7	Marzo	21-23	Caleta Buena, Salar Grande, Pampa Hermosa
8	Abril	26-28	Caleta Buena, Salar Grande

N°	Mes	Día	Sector
9	Mayo	10-11	Chiza, Jarza, Quiuña, Caleta Buena, Pampa Hermosa, Salar Grande

4.5.1 Seguimiento de nidos

Para el seguimiento de los nidos de golondrinas de mar en los sitios de nidificación se realizó una recopilación de los nidos reportados por instituciones privadas y públicas para cada sitio de nidificación seleccionado (Salar Grande y Caleta Buena). Dentro de la sistematización de los sitios de reproducción se reportó un total de 680 para Caleta Buena y 2149 para Salar Grande, por tanto, se seleccionó el 10% de los nidos para ser marcados con el fin de que puedan ser monitoreados en las siguientes temporadas reproductivas. Es decir, se seleccionaron 50 nidos en Caleta Buena y 200 nidos en Salar Grande, esto se realizó mediante un muestreo aleatorio estratificado, cuidándose de incluir representativamente los diferentes ambientes que ocurren en ambas áreas de estudio. Cada nido seleccionado fue registrado como activo en la temporada reproductiva anterior (2021-2022), con esta información se estimará el porcentaje de ocupación entre temporadas.

Para la estimación del porcentaje de ocupación mensual, durante esta temporada reproductiva (2022-2023) se realizaron campañas mensuales de terreno desde el mes de septiembre de 2022 hasta abril de 2023. La presencia de individuos fue confirmada por la vocalización de la especie en respuesta al *playback* y/o visualización con cámaras sonda (RIDGID CA-350) (Figura 5). *Playback*, es un método que consiste en emitir la vocalización de la especie, con el fin de obtener una vocalización de respuesta. Los *playbacks* fueron realizados en cada estación de detección, reproduciendo la vocalización durante un máximo de 3 veces por cada punto, con 3 minutos de espera cada uno (Sutherland et al., 2004). Posterior a la identificación de individuos, huevos, o evidencias de nido, la cavidad fue georreferenciada y marcada con placas de aluminio.



FIGURA 5. PROSPECCIÓN CON CÁMARA SONDA MARCA RIDGID CA-350 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A cada nido seleccionado se le evaluó mensualmente el estado fenológico con el fin de actualizar el calendario reproductivo de la golondrina de mar negra (*H. markhami*). Para esto, en cada nido inspeccionado se registró el estado de desarrollo de los individuos, distinguiendo entre huevos, crías, volantones y adultos (Figura 6). Para evaluar la actividad diaria de la especie de golondrina de mar negra, se instalaron 6 cámaras trampa en cinco sitios de nidificación (Quiuña, Chiza, Caleta Buena, Pampa Hermosa y Salar Grande), donde se analizaron 695 registros de video y fotografía.



FIGURA 6. NIDO CON ADULTO Y CRÍA (IZQ). NIDO CON HUEVO, SIN REPORTE DE ADULTO EN SU INTERIOR (DER). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para registrar el contenido de las cavidades se utilizaron los criterios descritos por Raine et al. (2018) que consideran el estado reproductivo de adultos y desarrollo de las crías (Tabla 7).

TABLA 7. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS NIDOS REPORTADOS

Estatus	Descripción
Nido activo, confirmado reproductivo	Se detecta la presencia de: un adulto aparentemente incubando/huevo/cría.
Nido activo, desconocido	No se detecta actividad en la cavidad, sin embargo, existen rastros de fecas frescas y olor característico. Adulto/huevo o cría podrían no ser detectados debido a la profundidad de la cavidad.
Nido activo en prospección	Se detecta al adulto o la pareja realizando alguna actividad: visitando la cavidad o excavando
Nido inactivo	No se detecta actividad en la cavidad, pero existen rastros de fecas, huevo eclosionado, u otro.

Fuente: Elaboración propia adaptado de Raine *et. al* 2018

4.5.2 Evaluación de reutilización de nidos y marcaje

La estimación de reutilización de nidos fue evaluada utilizando las coordenadas geográficas de los nidos reportados por el SAG y el consultor durante temporadas anteriores, específicamente, temporada reproductiva 2021-2022 en los sitios de Caleta Buena y Salar Grande. A los nidos que presentaron actividad de nidificación, se le instalaron placas de aluminio adheridas al sustrato, las cuales fueron previamente identificadas con un código alfanumérico. La individualización de cada nido estuvo compuesta por las siglas del sitio de nidificación, temporada de registro, y número de nidos con cuatro dígitos. Los nidos marcados en cada sitio fueron parte del monitoreo mensual desarrollado para dar seguimiento a los mismos, el que se ha desarrollado desde septiembre de 2022 y que continuará hasta abril de 2023; además corresponden al 10% del total de nidos identificados en cada uno, donde se revisó su actividad para corroborar o descartar su reutilización, revisando rastros de reutilización y/o la presencia de individuos dentro de ellos.

Del mismo modo, y según lo solicitado en reunión del mes de noviembre por la contraparte, se realizó una visita de monitoreo al sector de Pampa Hermosa, donde se revisaron algunos de los nidos de golondrina de mar chica (*O. gracillis*) identificados en temporadas anteriores, con la finalidad de evaluar su actividad reproductiva.

4.6 Amenazas en sitios de nidificación de golondrinas de mar

4.6.1 Identificación de amenazas

La identificación de amenazas de las golondrinas de mar ha sido sistematizada por el Plan de Recuperación, Conservación y Gestión de las golondrinas de mar del norte de Chile, promulgado el 11 de enero del 2022. Este Plan considera que es deber del Estado tutelar la preservación de la naturaleza, así como velar por la protección y conservación de la diversidad biológica del país. Las especies objeto de este Plan corresponden a golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*), golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*), golondrinas de mar peruana (*Hydrobates tethys*) y golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*), que se ven enfrentadas a una serie de amenazas, destacando la contaminación lumínica y algunas actividades en o próximas a sus colonias reproductivas.

Las amenazas identificadas (Tabla 8) se encuentran ordenadas y descritas según su calificación del nivel de impacto sobre los objetos de conservación del Plan.

TABLA 8. AMENAZAS IDENTIFICADAS PARA LAS GOLONDRINAS DE MAR DEL NORTE DE CHILE

Amenazas	Descripción
1. Luminosidad artificial: Iluminación a nivel urbano, industrial y vial (afectación de hábitat reproductivo y rutas de vuelo)	La contaminación lumínica afecta varios aspectos de la biología y ecología de aves. Las aves marinas son atraídas hacia las luces, se desorientan y se ven forzadas a aterrizar, en un fenómeno conocido como <i>fallout</i> (Imber 1975, Reed 1985). El <i>fallout</i> puede ocasionar colisión, atropello, depredación, inanición o deshidratación (Rodríguez et al. 2012, 2014, 2017), como también eventos de mortalidad masiva (Ainley et al. 2001, Rodríguez et al. 2017). Corresponde a la amenaza actual de mayor relevancia para las golondrinas de mar. Se identifica como factores contribuyentes el masivo desarrollo de la tecnología LED que posee un importante espectro luminoso azul, la precariedad de la normativa existente, ausencia de instrumentos que faciliten la correcta iluminación de proyectos (como una guía), desconocimiento por parte de tomadores de decisiones acerca de los efectos del tipo de iluminación sobre la biodiversidad y

	el aumento de la iluminación debido a urbanizaciones y desarrollos industriales.
2. Actividades y proyectos mineros	Sobre las actividades y proyectos mineros se ha publicado información sobre el impacto producido por la contaminación lumínica. La ocupación de proyectos mineros, especialmente en Salar Grande (Región de Tarapacá), reviste una amenaza potencial por la ocupación potencial de áreas que constituyan hábitat reproductivo de golondrinas de mar, lo que redundaría en la destrucción de colonias o partes de la misma, por la intervención directa del sustrato ya sea por la exploración y/o explotación misma, como por sus instalaciones anexas (campamentos, caminos, ductos, entre otros).
3. Obras areales (incluye proyectos fotovoltaicos y eólicos)	Todo proyecto que se instale sobre una colonia de golondrinas de mar, sin lugar a duda representa una amenaza debido a la destrucción del sustrato y consecuentemente, la eliminación del área como sitio reproductivo, además de los riesgos que pueden también generar por sus obras anexas (líneas de transmisión eléctrica, ductos, caminos) y riesgos de atracción por luminarias. Esto es particularmente relevante si consideramos que el alto interés de generación eléctrica no convencional en el desierto, principalmente de energía fotovoltaica, aunque también eólica.
4. Luminosidad artificial en el mar	En el hábitat marino no hay estudios sobre la afectación de golondrinas de mar por iluminación, aunque diversos autores mencionan la atracción de aves marinas hacia luces en tierra, pero también en el mar (Black 2005, Merkel & Johansen 2011, Montevecchi 2006), lo que permite asumir que, en Chile, la iluminación de embarcaciones podría también ser un factor de amenaza para las golondrinas de mar y otras aves marinas.
5. Residuos marinos (incluye plásticos)	Abundante investigación muestra que residuos marinos, especialmente plástico, tiene efectos sobre aves marinas, sin embargo, los estudios en golondrinas de mar son escasos

	(Youngren et al. 2018, van Franeker & Bell 1988). Se evaluaron la ingesta de plástico en diversas aves marinas, determinado que las aves se alimentan sobre la superficie son más susceptibles a ingesta de plástico, destacando a Procellariiformes dentro de los grupos más sensibles, prediciendo que las golondrinas de mar (Familias Hydrobatidae y Oceanitidae) serían las aves con mayor riesgo (Roman et al. 2016; 2019a; 2019b) A nivel nacional, Vargas (2019) analizó dieta de golondrina de mar negra, a partir de ejemplares encontrados en Regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá, detectando presencia de plástico en el 44% de las muestras analizadas.
6. Obras lineales (incluye tendidos eléctricos, caminos y ductos)	Las obras lineales, especialmente caminos y ductos, que atraviesen o se instalen sobre colonias de golondrinas de mar pueden causar la destrucción del sustrato ocasionando la destrucción de nidos y pérdida de superficie como área de reproducción. La actual existencia de caminos atravesando algunas de las colonias conocidas es muestra del riesgo que los caminos pueden representar debido a eventual destrucción de sectores con nidos. Otras obras, como las líneas de transmisión eléctrica, pueden representar un riesgo, tanto por la pérdida de área de reproducción en los sitios de emplazamiento de las torres, así como por riesgo de colisión. De hecho, las líneas de transmisión eléctrica son descritas como una amenaza para la conservación de las aves, en especial en sitios donde las líneas cruzan corredores para aves migratorias o residentes, causando la muerte de millones de aves a nivel global (Bernardino et al. 2018, Constantini et al. 2017, Loss et al. 2014, 2015, Rioux et al., 2013). Al 2020 se ha detectado la presencia de obras lineales, o en evaluación ambiental, al menos para las siguientes colonias:

	Pampa Chaca y Pampa Camarones (Región de Arica y Parinacota) y Caleta Buena y Pampa Hermosa (Región de Tarapacá).
7. Residuos terrestres	La presencia de basura es mencionada por Barros et al. (2019) y Medrano et al. (2019), como una amenaza dado que los residuos son arrastrados por el viento por varios kilómetros, y los residuos observados, tanto latas como botellas plásticas, pueden quedar alojados en la entrada de las cuevas y de ese modo obstruir el ingreso y uso por parte de las golondrinas. Barros et al. (2019) menciona que en el caso de la colonia de Caleta Buena (o Pampa Perdiz, Región de Tarapacá), la instalación de vertederos legales e ilegales cerca de la colonia es una amenaza potencial por el arrastre de basura que podría obstruir cavidades y la atracción de depredadores como roedores introducidos <i>Rattus spp.</i>, perros y jotes de cabeza colorada (<i>Cathartes aura</i>). Medrano et al. (2019) mencionan la presencia de basura obstruyendo entrada de cavidades en la colonia de Quiuña (Región de Tarapacá).
8. Ejercicios militares	Barros et al. (2019) mencionan la presencia de ejercicios militares en áreas con colonias de golondrina de mar negra en Pampa Chaca, toda vez que se verifica tránsito de tanques y prácticas de tiro en un predio militar que coincide parcialmente con tal colonia, lo que eventualmente podría destruir sustrato y causar colapso de cavidades.
9. Eventos masivos culturales, recreativos, turísticos y tránsito de fuera de ruta sobre sitios de nidificación de golondrinas de mar	Se refiere a la ejecución de eventos masivos, culturales, recreativos, turísticos y tránsito fuera de ruta, que al realizarse sobre colonias de golondrina de mar podrían causar la destrucción del sustrato causando la destrucción de nidos y pérdida de superficie como área de reproducción. Se considera que las actividades de jeepe y rallys representan también un

	riesgo de destrucción de cavidades debido al pisoteo y tránsito fuera de ruta.
10. Presencia de perros en las colonias reproductivas	La presencia de perros (<i>Canis lupus familiaris</i>) de vida libre, ya sean perros abandonados, perros asilvestrados o perros que son dejados vagar libremente por sus dueños, es reconocida como una importante amenaza para diversas especies de fauna silvestre (Doherty et al. 2017). En Chile la situación no es distinta, y diversas publicaciones científicas dan cuenta de este hecho, así como también las innumerables noticias de prensa y foros de discusión. Este problema no sólo se presenta en medios rurales cercanos a polos urbanos, sino que también en ambientes más alejados, incluidas muchas áreas protegidas, y en el caso del norte de Chile se reconoce su presencia en al menos Caleta Buena. Sin embargo, no existe evidencia de que esa presencia constituya una amenaza relevante.

Fuente: Elaboración propia adaptado de RECOGE; MMA, 2022.

4.6.2 Cuantificación del impacto de principales amenazas

Tránsito fuera de ruta sobre Sitios de Nidificación de Golondrinas de mar

En relación con la amenaza que suponen los caminos no habilitados y la gran cantidad de huellas presentes en los sitios de nidificación, se realizó un sobrevuelo con dron Phantom 4 pro, que permite obtener imágenes de 20 MP – con una resolución de 4,5cm/px, a una altura de vuelo de 200 m – en un área del sitio de nidificación de Salar Grande, que permitió obtener un mosaico 87,37 ha para realizar la digitalización de huellas presentes. De esta manera, a través del software ArcGIS 10.8 se generó una capa de huellas intentando capturar la mayor cantidad de ellas, para posteriormente realizar un buffer de 3 m para todas las líneas identificadas. Posteriormente se realizó un cruce entre dicho buffer y los nidos en el área, lo que permitió visualizar los que eran intersecados por dichas huellas.

Del mismo modo, se realizó el ejercicio inverso, realizando un buffer de 10 m a los nidos para posteriormente intersecarlos con las huellas previamente identificadas, logrando de esta manera observar la afectación que genera el uso de caminos no habilitados.

Residuos Terrestres

En Chile se define como vertedero ilegal a sitios eriazos de 1 hectárea o más, en donde se han eliminado directamente sobre el suelo, residuos sólidos de distinta naturaleza, sin tomar los resguardos necesarios para proteger el medio ambiente y la salud de las personas. Mientras que los microbasurales se definen como sitios eriazos menores de 1 hectárea, en donde se eliminan o se han dispuesto directamente sobre el suelo y subsuelo, residuos sólidos de distinta naturaleza, sin tomar los resguardos necesarios para proteger el medio ambiente y la salud de las personas. (Vivanco, 2021)

Para la amenaza de residuos terrestres se realizó la cuantificación del área comprendida por residuos sólidos de distinta naturaleza (basurales textiles) en un sector del sitio de nidificación de Caleta Buena. Lo anterior, se realizó mediante la delimitación de tres sectores identificados gracias a las imágenes capturadas mediante vuelo de dron Phantom 4 pro, que permite obtener imágenes de 20 MP, con una resolución de 4,5cm/px, a una altura de vuelo de 200 m. Con el área definida se revisaron los nidos cercanos al lugar, para conocer su proximidad y ubicación con relación a los vertederos.

5. RESULTADOS

5.1. Recopilación bibliográfica

5.1.1 Orden Procellariiformes

Los Procellariiformes es un orden de aves marinas, organismos principalmente pelágicos debido a que pasan más de la mitad de sus vidas en el mar y sólo se aproximan a tierra firme para su reproducción (Brown, 1980; Haney & Solow, 1992; Schreiber & Burger, 2002). Como otras especies marinas, las aves pelágicas tienden a tener gran movilidad y una amplia distribución (Harrison, 1983) lo que les permite un mejor aprovechamiento de los recursos alimenticios pelágicos que obtienen en o cerca de la superficie del mar.

Son un grupo de aves monógamas, las cuales forman fuertes vínculos que pueden continuar durante toda su vida. Presentan fuerte filopatría, retornando al mismo sitio de anidación durante varios años (Fisher 1976, Ovenden et al. 1991, Mouguin 1996, Rabouam et al. 1998). El período de incubación de este orden varía según la especie, en los pequeños petreles dura alrededor de 40 a 60 días, y entre 70 a 80 días, para los grandes albatros (Boersma et al. 1980, Brooke 2004, Ayala 2007). Como aves marinas, se caracterizan por depender completamente de los recursos que provee el mar (Furness & Monaghan, 1987). Allí pasan la mayor parte de su vida, siendo el periodo reproductivo el único momento en el que entran al continente o

porciones de este (islas o islotes) para llevar a cabo su reproducción (Furness & Monaghan, 1987; Schreiber & Burger, 2001). Durante el periodo reproductivo, los viajes se realizan solo a zonas cercanas a la ubicación de las colonias reproductivas debido a que deben volver para realizar las labores propias, como el cuidado del nido, incubación de los huevos o alimentación del polluelo, estas actividades las realizan compartiendo roles del cuidado parental de la progenie con su pareja (Furness & Monaghan, 1987). Una vez terminado este periodo y sin la responsabilidad del cuidado parental, vuelven a realizar viajes de largas distancias sin volver a tierra hasta el próximo periodo reproductivo (Furness & Monaghan, 1987).

5.1.1.1 Familia *Hydrobatidae*

Hydrobatidae es una familia que forma parte del orden Procellariiformes, esta contiene un solo género (*Hydrobates*), el cual se compone de 18 especies (Winkler et al., 2020a). Tradicionalmente se dividía en dos grupos, Hydrobatidae, quienes se reproducen en el hemisferio norte y Oceanitidae los cuales se reproducen en el hemisferio sur, sin embargo, estudios revelaron que estas no son taxa hermanas y son parte de una politomía junto con la familia Diomedidae (Hackett et al., 2008; Kennedy, 2002).

Estas golondrinas de mar poseen cráneos y patas más cortas y alas más largas que sus parientes Oceanitidae, durante gran parte del año se encuentran lejos de la costa en mar abierto, anidando generalmente en aisladas islas cerca de la costa las cuales ofrecen espacios entre las rocas o suelo en el cual hacer madrigueras (Winkler et al., 2020a). Para alimentarse, vuelan a ras de la superficie del mar, cazando zooplancton, peces y crustáceos pequeños con el pico. La probabilidad de hallarlas tanto en aguas oceánicas como costeras guarda relación con la plasticidad que tiene en su dieta. Se ha observado que su dieta durante la reproducción puede variar entre un año y otro mostrando predominancia de presas oceánicas o pelágicas (García-Godos et al., 2012). Son de hábitos monógamos, formando lazos a largo plazo con una sola pareja con la cual visitan el mismo nido año tras año (Winkler et al., 2020a). La hembra pone un solo huevo en cada temporada, el cual tardará en promedio 50 días en eclosionar. Con el macho comparte todas las labores de construcción y mantención del nido junto con la crianza del polluelo. De las 18 especies pertenecientes a la familia, sólo tres hasta ahora se han registrado en el norte de Chile.

Género *Hydrobates*

Golondrina de mar negra (*Hydrobates markhami*)

La golondrina de mar negra se distribuye en aguas tropicales y pelágicas del océano Pacífico, desde Centroamérica hasta el norte de Chile, siendo una especie endémica del sistema de corrientes de Humboldt (Pyle, 1993). Estas nidifican en cavidades y fisuras naturales a nivel del suelo en costrones salinos de las regiones del norte de Chile (Barros et al., 2019; Medrano et al., 2019; Torres-Mura & Lemus, 2013), en donde se han identificado colonias reproductivas. Dichas colonias se ubican en los sectores de Pampa Chuño, La Higuera, Chaca y Camarones en la región de Arica y Parinacota (Barros et al., 2019; Medrano et al., 2019; Torres-Mura & Lemus, 2013), en Pampa Tana, el Salar de Quiuña-Jarza, Caleta buena, El Carmen Norte, Pampa Hermosa y el Salar Grande en la región de Tarapacá (Barros et al., 2019; Malinarich & Vallverdú, 2019; Medrano et al., 2019) y en el Río Loa y el Salar de Navidad en la región de Antofagasta (Medrano et al., 2019). Las colonias ubicadas en Arica y Quiuña-Jarza exhiben la misma cronología reproductiva, extendiéndose el periodo de reproducción desde abril hasta febrero, siendo diciembre el mes en el que se puede observar la mayor cantidad de volantones. Las colonias ubicadas en Tarapacá y Antofagasta, sin embargo, inician su ciclo reproductivo en noviembre, concluyendo entre los meses de mayo y junio, observándose la mayor cantidad de volantones durante el mes de abril. Esta diferencia en los *peaks* de ocurrencia de volantones sugiere la presencia de dos poblaciones (Barros et al., 2019).

Al descubrirse las grandes colonias reproductivas presentes en el desierto de Atacama (Schmitt, 2015; Barros et al., 2019), la población mundial de *H. markhami* fue estimada en cerca de 50.000 – 60.000 parejas reproductivas (Barros et al., 2019; Medrano et al., 2019; Schmitt et al., 2015), esto equivale a 100.000-120.000 individuos maduros o 150.000-180.000 individuos en total. Esto llevó a la IUCN a declarar que la población mundial de esta especie tiende a la baja (BirdLife International, 2019b).

García-Godos et al., (2002), quienes estudiaron la dieta de *H. markhami* por 10 años, reportaron que la principal presa de esta especie corresponde a pescado, específicamente la anchoveta (*E. ringens*), y que los cefalópodos fueron su segunda presa más importante. Esta caracterización es consistente con los resultados de esta misma clase de estudio realizados con otras especies de golondrinas de mar. Sin embargo, como fue señalado en el caso de *Oceanites oceanicus*, es muy probable que la dieta de *H. markhami* refleje la disponibilidad de comida en el océano y la especie sea más bien de hábitos oportunistas. García-Godos et al., (2002) lo ejemplifican refiriéndose al cambio de bacaladillo y langostino colorado (especies asociadas a aguas frías) al pez linterna (myctofido asociado a aguas cálidas) como ítems principales en la dieta de *H. markhami* que ocurrió durante el evento el Niño de 1997/98.

Su estado de conservación actual de acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente es “En Peligro”, mientras que de acuerdo con la IUCN se encuentra “Casi Amenazada” (*Nearly Threatened*) (BirdLife International, 2019b; Ministerio del Medio Ambiente, 2022)

Golondrina de mar de collar (*Hydrobates hornbyi*)

La golondrina de mar de collar se ha registrado latitudinalmente desde el límite sur de Ecuador hasta el norte de Chile y longitudinalmente desde la costa hasta entre 30 y 500 km mar adentro. Considerada una especie endémica del sistema de corrientes de Humboldt y en Chile observada desde el límite norte del país hasta el mar adyacente a la región de Atacama (Barros et al., 2018). Esta especie nidifica en cavidades naturales que se encuentra en los costrones salinos con depósitos de yeso (Barros et al., 2018) y existe una sola colonia registrada hasta ahora, ubicada en la localidad de la Pampa del Indio Muerto, en la región de Atacama (Barros et al., 2018), donde también se han registrado nidos de *O. gracilis gracilis* sin embargo, se han encontrado también, nidos solitarios en las localidades de Quiuña, el Salar Grande y el río Loa, en la región de Tarapacá, y en el Salar de Navidad en la región de Antofagasta, en esta última localidad también registrándose juveniles de forma recurrente, por lo que no se ha descartado la posibilidad de una colonia sin describir (Malinarich & Vallverdú, 2019; Medrano et al., 2019). Actualmente no hay claridad con respecto a las fechas reproductivas de esta especie, sin embargo, se sospecha que podría ser entre los meses de noviembre y enero, debido a reportes de nidos con huevos durante esas fechas (Barros et al., 2018; Medrano et al., 2019). De acuerdo con Medrano et al., (2019) la población de *H. hornbyi* en Chile alberga 7.919 individuos, sin embargo, Spear & Ainley (2007) estimaron su tamaño entre los 637.000 y 1.011.900 individuos basándose en conteos en mar abierto. Según la evaluación de la IUCN, sin embargo, la tendencia de esta población en particular está en descenso. La categoría de conservación vigente en Chile es “Vulnerable” (Ministerio del Medio Ambiente, 2022). A nivel global está clasificada “Casi Amenazada” (BirdLife International, 2019a).

Golondrina de mar peruana (*Hydrobates tethys*)

Se describen dos subespecies de golondrina de mar peruana, *H. tethys tethys*, la cual anida en Galápagos y *H. tethys kellsalli*, que se reproduce en las islas de Perú y Chile (Bernal et al., 2006). En Chile existe solo una colonia reproductiva de *H. tethys kellsalli* registrada en el sector de Isla Grande en la región de Atacama, pero a partir de un registro de volantones en la Aduana EL Loa (en el límite entre las regiones de Tarapacá y Antofagasta) se sospecha de una posible colonia en esa latitud ya sea en alguna isla o en el desierto interior (Bernal et al., 2006). Esta especie anida en cavidades de las rocas o bajo arbustos (Medrano et al., 2021)). Los nidos se encuentran

en cuevas o grietas de aproximadamente 15 cm de apertura y 15 – 30 cm de profundidad (Ayala & Sanchez-Scaglioni, 2007). Los nidos en la colonia de Isla Grande se pueden encontrar en grupos dispersos de diez nidos, a nivel del suelo o en las laderas de las quebradas y estos pueden reconocerse por las marcas de guano en las entradas, los nidos de esta especie se encuentran junto a los nidos del Yunco de Humboldt (*Pelecanoides garnotii*) y de pingüino de Humboldt (*Spheniscus Humboldti*) (Luna 2018). La postura de huevos ocurre en diciembre, con los volantones saliendo del nido entre los meses de marzo y abril (Bernal et al., 2006; Luna, 2015).

La población global de *H. tethys* se estima entre 628.000 – 1.136.900 individuos a partir de conteos en mar abierto, sin embargo, la única colonia conocida en Chile contaba con solo 100 individuos maduros. En su última revisión, la IUCN declaró que la población mundial de *H. tethys* presentaba una tendencia al descenso. Su categoría de conservación vigente en Chile es “Vulnerable” (Ministerio del Medio Ambiente, 2022). A nivel global se considera como “Preocupación menor” (BirdLife International, 2018a).

5.1.1.2 Familia Oceanitidae

Oceanitidae es una familia dentro del orden Procellariiformes, que comprende nueve especies distribuidas en cinco géneros, originalmente clasificada como una subfamilia dentro de Hydrobatidae, la cual incluía a todas las golondrinas de mar (Winkler et al., 2020b). Hoy en día, basándose en estudios morfológicos y de filogenia molecular es considerada una familia hermana del resto de las otras familias que componen Procellariiformes (Hackett et al., 2008; Kennedy, 2002), independiente de cómo se clarifiquen estas relaciones en el futuro, está claro que Oceanitidae e Hydrobatidae deberían ser tratadas como familias separadas.

Los integrantes de esta familia son golondrinas que habitan el mar abierto y pueden ser observadas siguiendo barcos o cetáceos (Winkler et al., 2020b), durante gran parte del año habitan exclusivamente el ambiente pelágico, pero en la época reproductiva generalmente, anidan en pequeñas islas cerca de la costa, en los espacios entre las rocas o cavando madrigueras (Winkler et al., 2020b). Los miembros de esta familia son monógamos, a menudo manteniendo parejas de largo plazo. La mayoría de los detalles de su biología reproductiva son mejor conocidos por la familia Hydrobatidae y son probablemente muy similares (Winkler et al., 2020b, 2020a). De los cinco géneros que componen esta familia, solo uno se ha registrado hasta ahora en Chile, con una sola especie representante, *Oceanites gracilis*.

Género Oceanites

Golondrina de mar chica (*Oceanites gracilis*)

Se han descrito dos subespecies para *Oceanites gracilis*, *O. gracilis galapagoensis* y *O. gracilis gracilis*, de las cuales sólo esta última nidifica en Chile, distribuyéndose a lo largo de la corriente de Humboldt, habitando las costas de Chile, Perú y Ecuador (Spear & Ainley, 2007). A pesar de que *O. gracilis gracilis* es una especie bastante común en los lugares en los que se registra, el conocimiento sobre su biología reproductiva es más bien rudimentario. En Chile, se han registrado colonias reproductivas cuyos nidos poseen distintas características. En la localidad de Pampa Hermosa en la Región de Tarapacá, la colonia se ubica en un costrón salino que ofrece abundantes cavidades naturales, los cuales comparte con *Hydrobates markhami* (Malinarich & Vallverdú, 2019). En Tocopilla, región de Antofagasta, los nidos se encuentran en un área de lomas costeras con pequeñas quebradas secas, donde abundan cavidades excavadas por otras aves. En Sierra Miranda, también en la región de Antofagasta, se encontró un nido bajo un pequeño costrón salino. En el sector Pampa del Indio Muerto en la región de Atacama, donde prevalece una colonia de *H. hornbyi*, los nidos están en una pampa sin costrones de sal evidentes, pero con cavidades naturales producto de la existencia de depósitos de yeso.

Finalmente, los nidos en Isla Chungungo en la región de Coquimbo están en grietas de roca o espacios hueco bajo las rocas, a veces cubiertas por matorrales. Las cavidades poseen entradas de no más de 10 cm de apertura y una longitud que oscila entre los 40 y los 150 cm (Barros et al., 2020). Se ha registrado además que también nidifican en ambientes desérticos entre 7 y 75 km tierra adentro (Barros et al., 2020; Malinarich & Vallverdú, 2019). Basándose en la ocurrencia de volantones solamente, se podría inferir que existe un patrón bimodal de reproducción, con un grupo reproduciéndose entre los meses de mayo y agosto, y otro grupo entre noviembre-enero y marzo-abril. (Barros et al., 2020). A pesar de que Brooke (2004) estima una población de 300.000 individuos maduros, Spear & Ainley (2007) estiman una población de entre 343.000 y 1.026.000 basándose en conteos en mar abierto. En Pampa Hermosa se conocen 14 nidos y en isla Chungungo apenas 11, aunque se estima que este islote podría alcanzar al menos los 100 nidos (Barros et al., 2020). Al haber falta de información, la IUCN en su revisión del estado de conservación de *O. gracilis*, señaló que la población mundial de esta especie presenta una tendencia desconocida. Se encuentra clasificada en Chile y a nivel global como “Datos insuficientes” (BirdLife International, 2018b; Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

5.2 Caracterización de hábitat

5.2.1 Escala Paisaje

5.2.1.1 Caracterización bioclimática

El área de emplazamiento de los nidos de golondrinas de mar en la región de Tarapacá se ubica mayoritariamente en un clima clasificado como Desértico costero con nublados abundantes en el piso vegetacional de Desierto tropical interior con vegetación escasa, ubicadas en áreas tropicales costeras hiperáridas con influencia de neblinas principalmente de tipo advectiva y orográfica (Luebert y Pliscoff, 2017).

La distribución de los nidos de golondrinas de mar en el área de estudio resultó tener una alta tendencia a ubicarse en zonas con valores intermedios de presión de vapor de agua (kPa), tal como queda demostrado en la Figura 7 y Figura 8, donde más de 2000 nidos se ubican entre los valores 1.47 y 1.5 kPa.

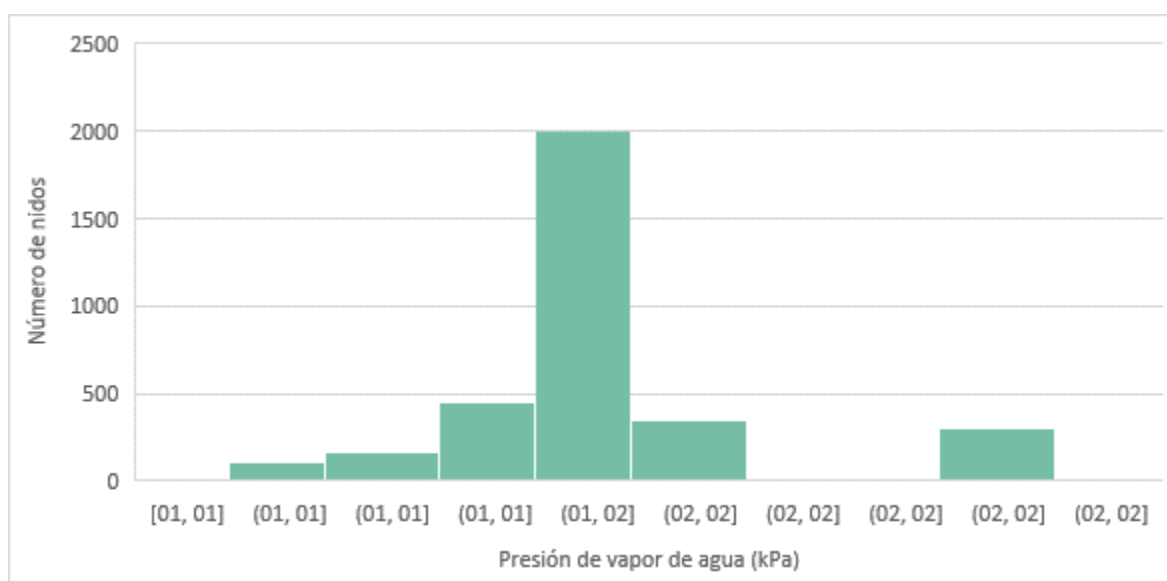


FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LOS NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR SEGÚN LOS VALORES DE PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA (kPa). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

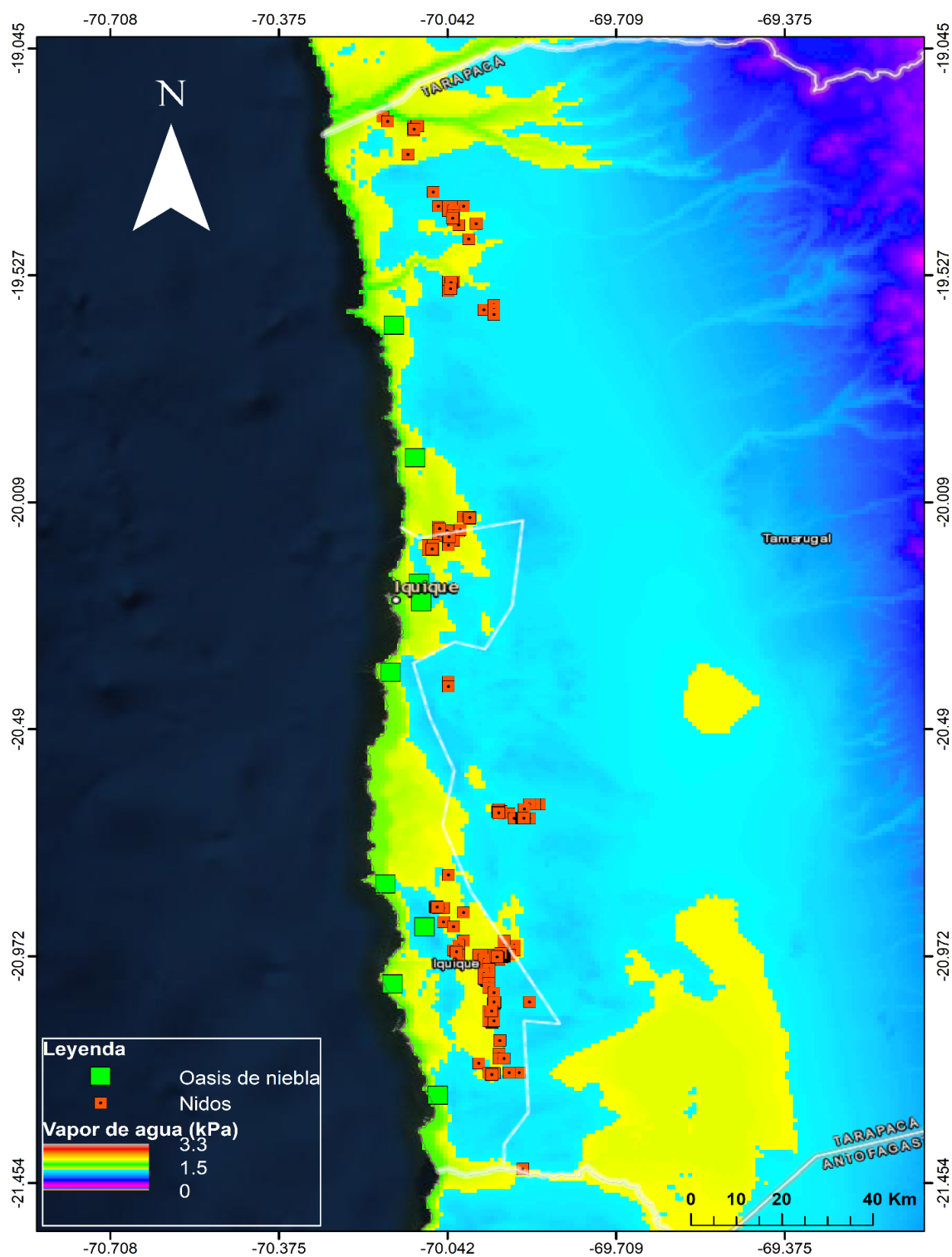


FIGURA 8. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ SEGÚN VALORES DE PRESIÓN DE VAPOR DE AGUA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Otra característica bioclimática del área de estudio corresponde a la estabilidad de temperatura durante la época estival, cuando se concentra la mayor actividad reproductiva en la Región, en la cual predominan valores de entre 20 y 21°C (Figura 9).

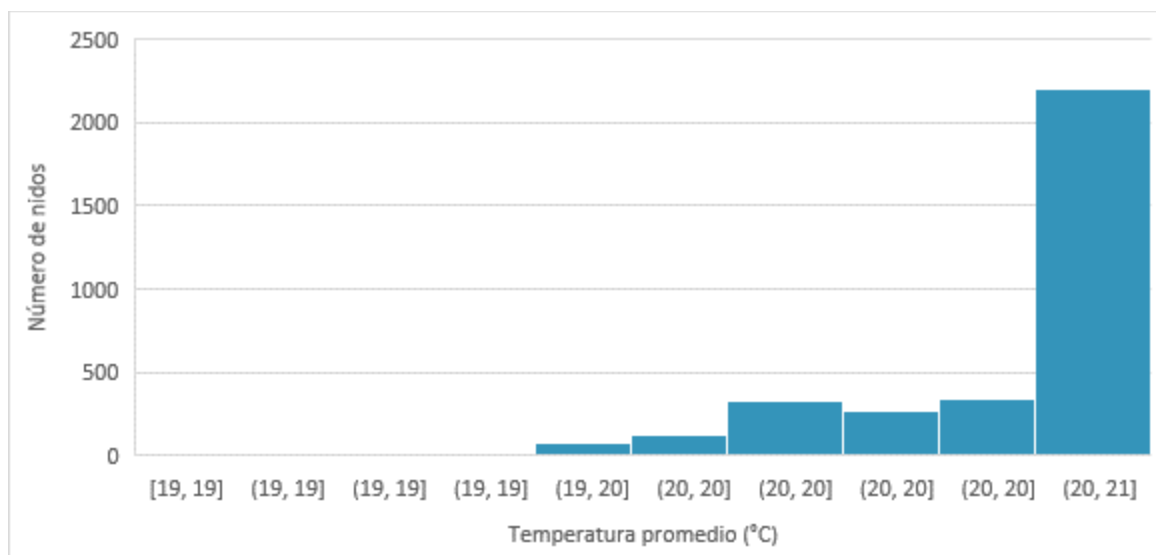


FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN DE LOS NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR SEGÚN LOS VALORES DE TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL MES DE FEBRERO EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por otro lado, las precipitaciones en el área presentan un bajo coeficiente de variación, con valores entre 0 y 5 (Figura 10), concentrándose principalmente en los meses estivales, como el mes de febrero donde puede alcanzar hasta 2.4 mm (Figura 11).

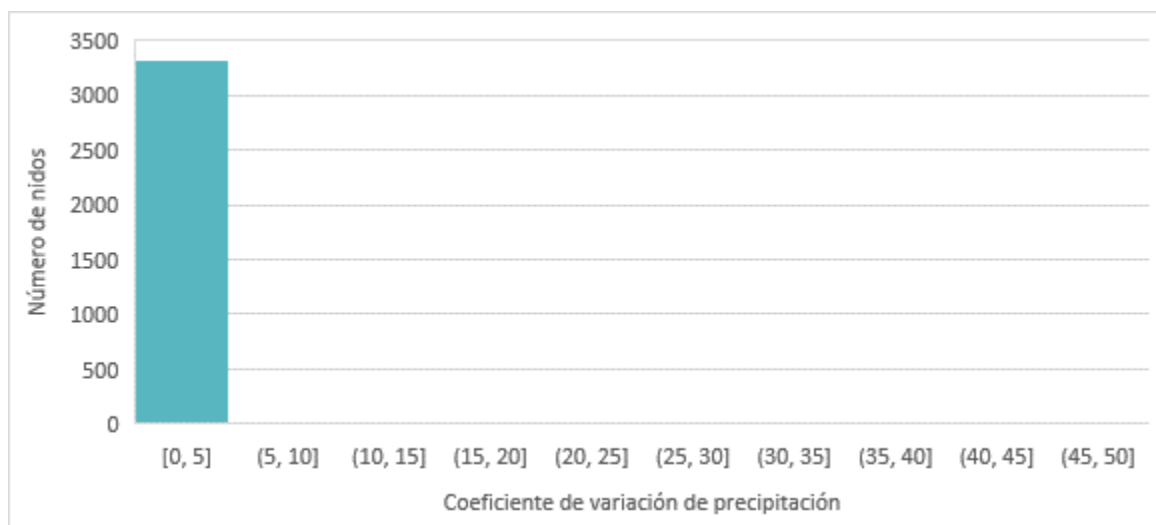


FIGURA 10. ESTACIONALIDAD DE LAS PRECIPITACIONES (COEFICIENTE DE VARIACIÓN) EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

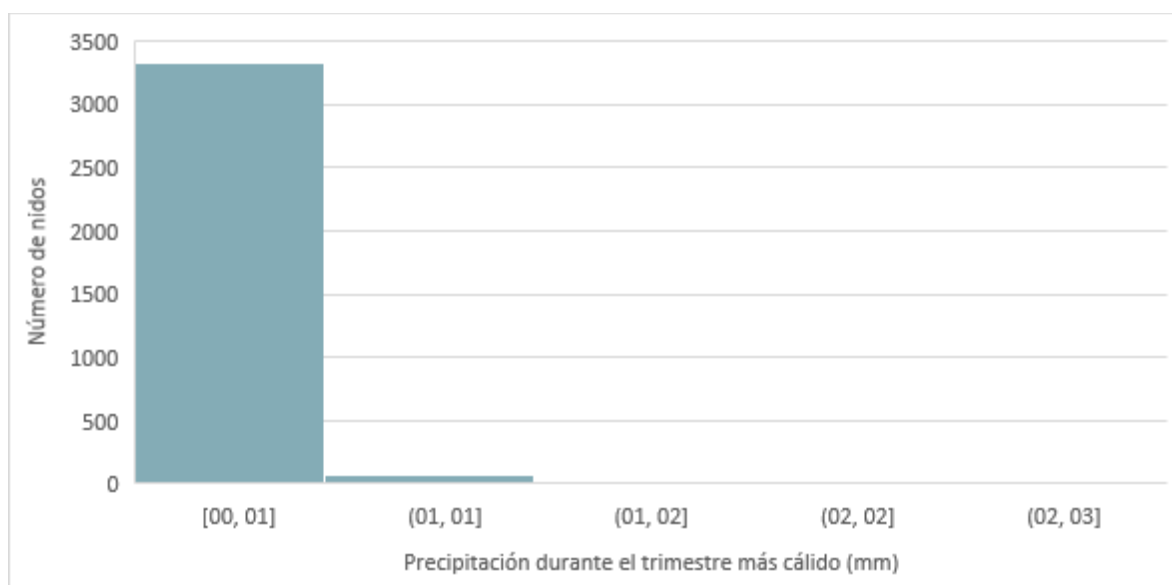


FIGURA 11. PRECIPITACIÓN DURANTE EL TRIMESTRE MÁS CÁLIDO EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.2.1.2 Caracterización Geológica

Al revisar la información disponible en el Mapa Geológico de Chile (Sernageomin, 2003) para la región completa, es posible observar que en los sitios de nidificación predominan las unidades de secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales (OM1c), compuestas por conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón, seguida por secuencias volcánicas continentales y marinas (J3i), conformadas por lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales (Figura 12). Hacia el sector norte, se observa que en los sectores de Jarza y Quiuña predominan las secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales (M1c) correspondientes a gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas; mientras que en Salar Grande los depósitos evaporíticos (MQs), compuestos por sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles detríticos finos, localmente con bórax y/o litio - salares-, abarcan la mayor superficie, sin embargo, y como se verá más adelante, este no representa el ambiente predominante de la localización de los nidos registrados para golondrina de mar. Es posible observar además que los sitios identificados están compuestos por más de una unidad, siendo coherente con las diferencias geomorfológicas y superficiales observadas en terreno.

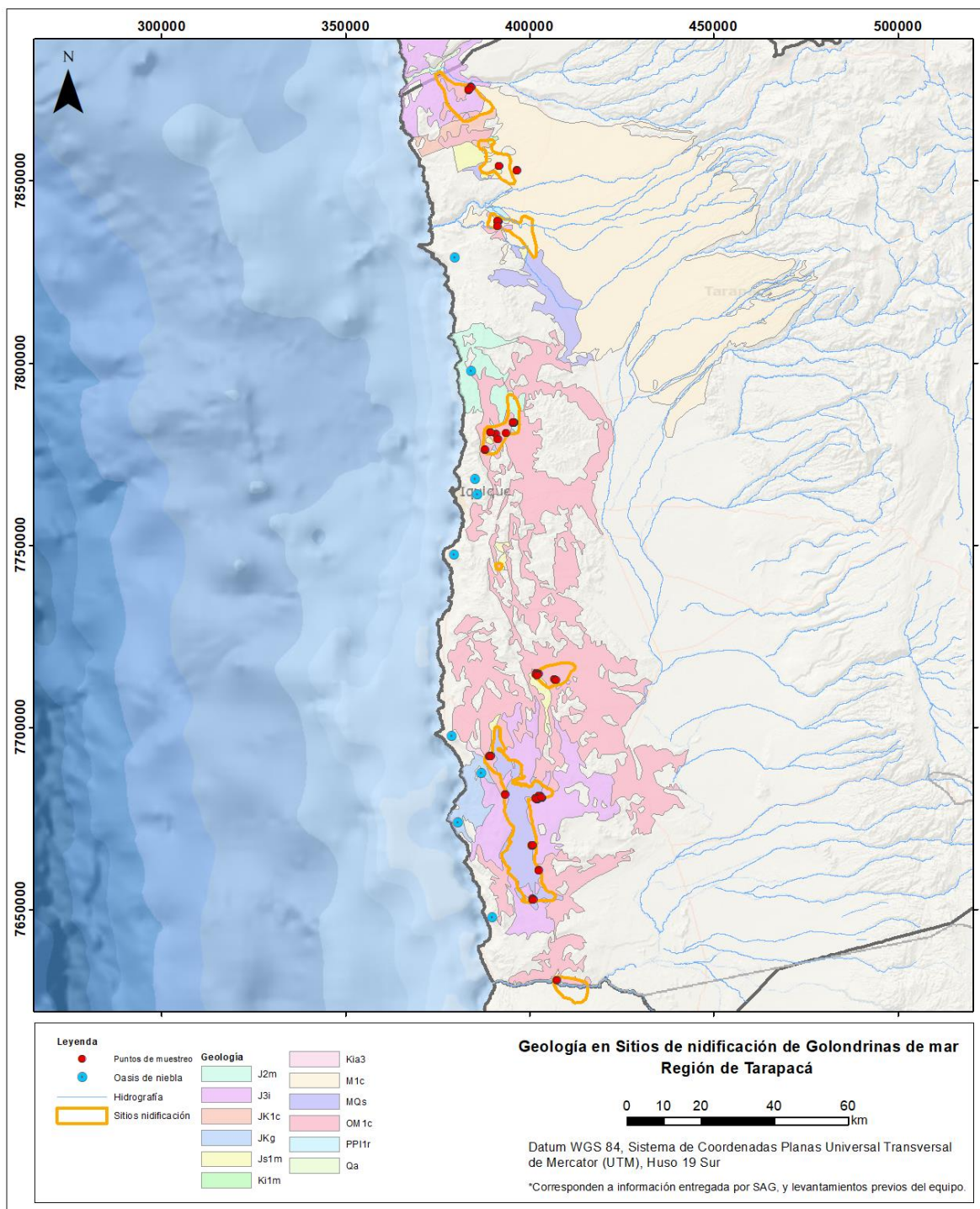


FIGURA 12. GEOLOGÍA EN SITIOS DE NIDIFICACIÓN DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.2.2 Escala Local

Para la caracterización de los sitios de nidificación de las especies de golondrinas de mar, se utilizó como referencia el último informe emitido el año 2021 por SAG Tarapacá de “Estudio de las poblaciones de golondrinas de mar en la región de Tarapacá”, adicionalmente, se realizó una

campaña de terreno durante el mes de junio de 2022, donde se visitaron los diferentes sitios identificados en la Región: Chiza, Jarza, Quiuña, Caleta Buena, Carmen Norte, Pampa Hermosa, Salar Grande y Alto Loa (Malinarich & Vallverdú 2021). En ellos se realizaron transectas de 100 m cada una levantando información cada 20 o 50 m relacionada con: altitud, suelo (clase, grado, estructura, encostramiento, color, profundidad), pendiente, exposición de la ladera, exposición del nido/cavidad, cavidad y su profundidad, nido, y observaciones generales.

Posteriormente, y mediante el uso de sistemas de información geográfica, se utilizó la información geológica disponible en el Mapa Geológico de Chile (Sernageomin, 2003) para agregar las variables de tipo de roca predominante, además del período geológico y unidad existente en cada sitio.

A continuación, se presentan los resultados por cada uno de los sitios mencionados, según orden de norte a sur.

5.2.2.1 Chiza

Chiza corresponde al sector más septentrional con registros de golondrinas en la región de Tarapacá. Se ubica a aproximadamente 115 km al norte de la ciudad de Iquique, y al sur de la quebrada de Chiza, se considera relativamente nuevo debido a que fue incorporado a los monitoreos realizados por SAG durante el año 2021, mediante la información entregada por el proyecto REDENOR (SAG, 2021). En la Figura 13 se observa la localización de los nidos registrados en el sector, brindados por SAG Tarapacá 2022, y los puntos de muestreo realizados en la campaña de terreno.

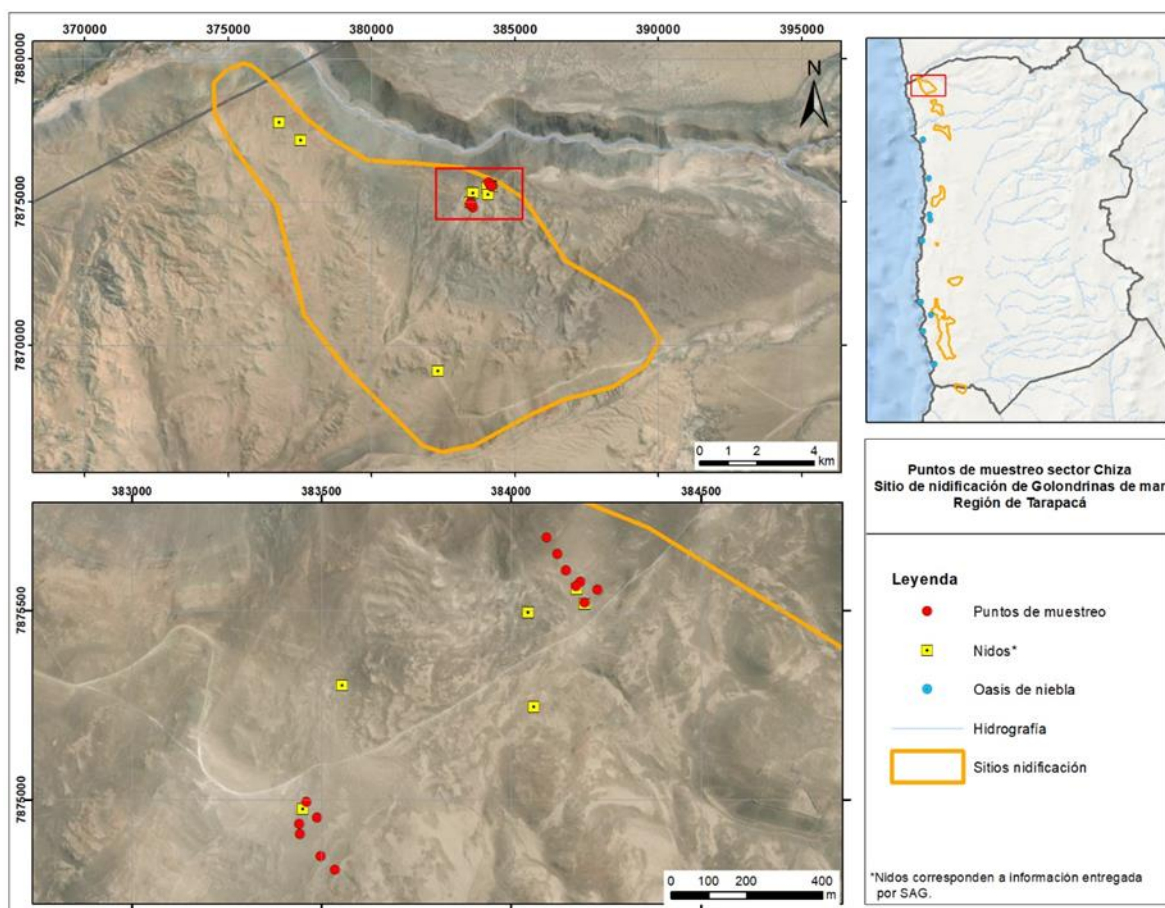


FIGURA 13. PUNTOS DE MUESTREO EN SECTOR CHIZA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Durante la campaña de terreno fue posible observar que este sector se caracteriza por tener superficies con cubierta de limo y grava, además de presencia de sal y cal en algunas secciones de la ladera sur (Figura 14). Es posible notar que el tipo de encostramiento del sustrato va de no encostrado a moderadamente encostrado, mientras la tonalidad varía entre café oscuro, y gris-blanco. Se observa además la cercanía a la quebrada de Chiza, la que podría influenciar en la humedad existente en el sector además de comportarse como un corredor para las aves marino-costeras, considerando la orientación del sitio y el comportamiento de los vientos (SE) (Figura 15), lo que podría favorecer la llegada de la especie al sector.



FIGURA 14. SUPERFICIES SECTOR SUR MUESTREO SECTOR CHIZA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 15. VISTA DESDE SECTOR NORTE DEL MUESTREO, LADERA SUR QUEBRADA DE CHIZA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por otra parte, la geología del sector corresponde en su mayor parte a secuencias volcánicas continentales y marinas presentando lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales(J3i); seguida por secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales, compuestas por conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón (Om1c); y, en menor medida, se observa la unidad correspondiente a secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales, formadas por gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas (Js1m) (Figura 16).

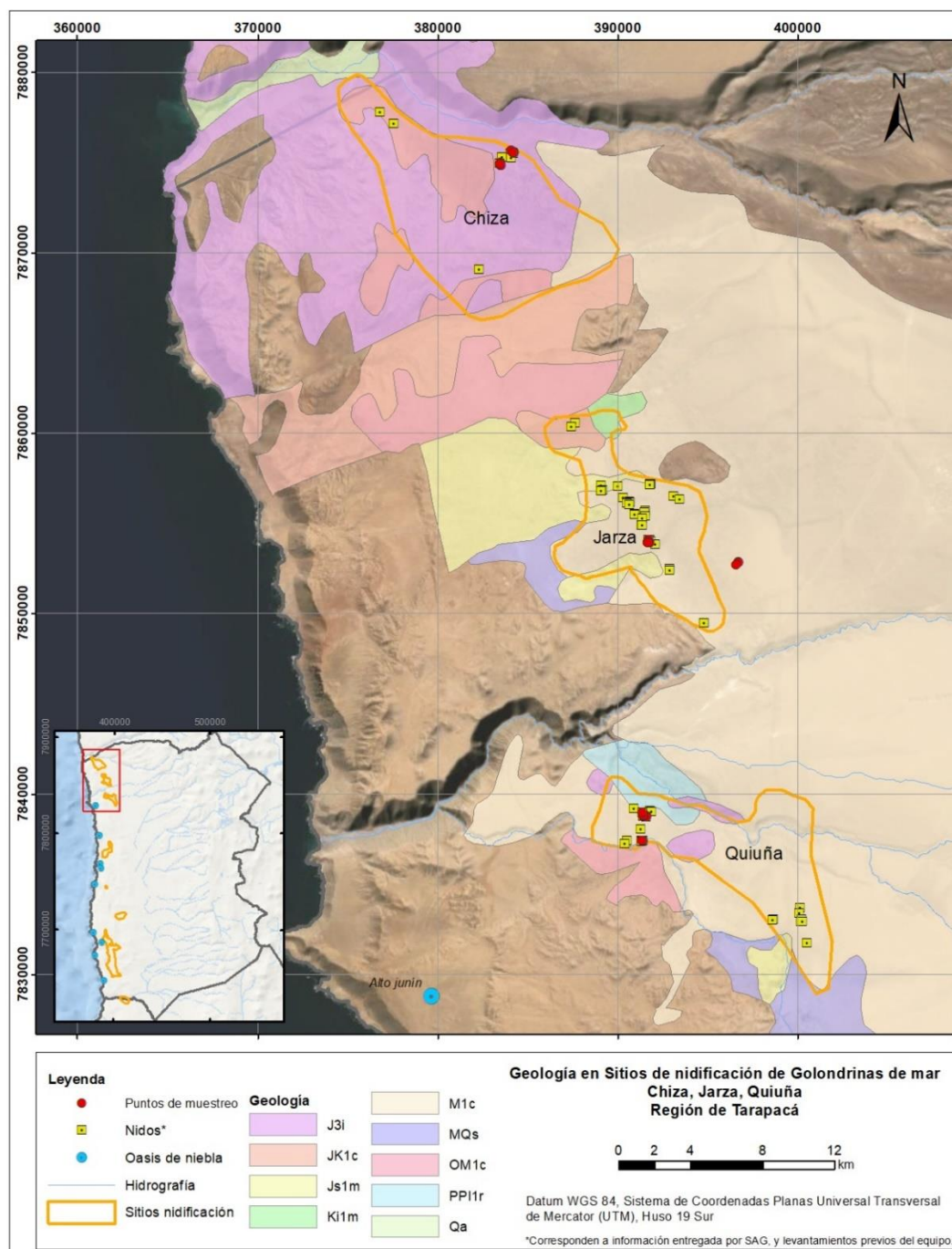


FIGURA 16. UNIDADES GEOLÓGICAS EN SITIOS DE NIDIFICACIÓN DE GOLONDRINA DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.2.2.2 Jarza

Jarza se ubica, aproximadamente, a 95 km al norte de la ciudad de Iquique, entre la quebrada de Chiza por el norte, y la quebrada de Tana por el sur. Ésta última ubicada a 100 m del límite identificado para el sitio (Figura 17). El acceso al sector es difícil lo que impide un monitoreo constante del mismo (SAG, 2021).

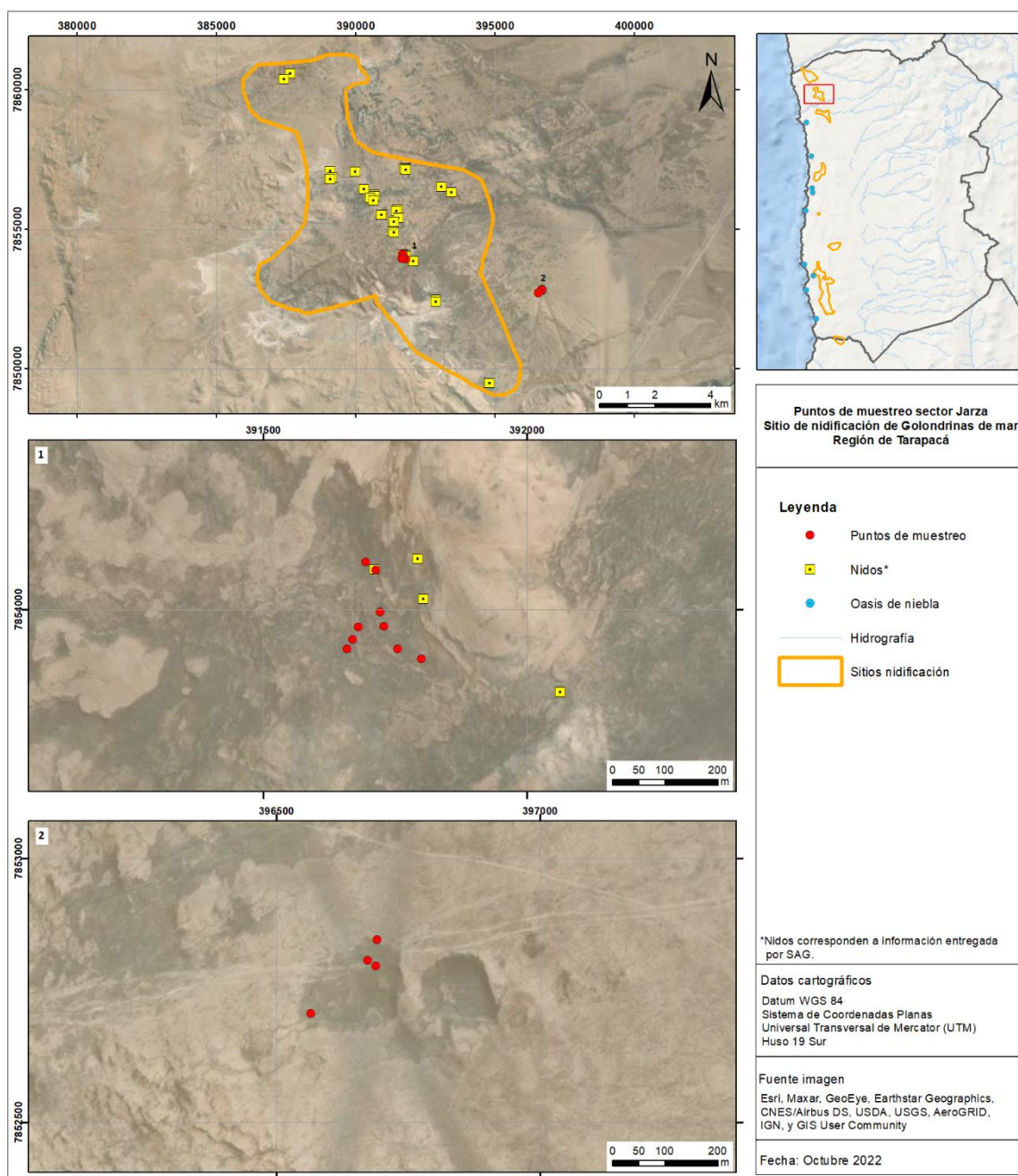


FIGURA 17. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR JARZA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En terreno fue posible observar que este sitio se caracteriza por tener superficies con cubierta principalmente de limo y presencia de costras de sal y cal, en el sector de muestreo 1 (Figura 18); y una cubierta de limo con arenas, con presencia de lomajes suaves, hacia el sector de muestreo 2 (Figura 19). Este último, y aun cuando se encuentra fuera de los límites previamente descritos, fue considerado debido a que al llegar al lugar se constató la presencia de nidos en dicha área, por tanto, se realizó la caracterización de este para obtener nuevos parámetros en relación con la diversidad de ambientes preferentes para la nidificación. El grado de

encostramiento de este sitio va de moderado a encostrado, mientras la tonalidad del sustrato varía entre el café oscuro y el gris, presentando algunas tonalidades amarillas o blanquecinas en algunos sectores. Al igual que el sector de Chiza, Jarza podría presentar influencias derivadas de su cercanía a la quebrada de Tana, en cuanto a humedad y variación de temperatura.



FIGURA 18. SUPERFICIE EN SECTOR 1 DE MUESTREO EN JARZA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 19. VISTA GENERAL SUPERFICIE EN SECTOR 2 DE MUESTREO EN JARZA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Asimismo, la geología del sector corresponde en su mayor parte a secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales, formadas por gravas, arenas y limos con ignimbritas

intercaladas(M1c). En su sección norte se observa la presencia de secuencias sedimentarias aluviales, fluviales y eólicas, en parte transicionales, formadas por areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados rojos (JK1c); junto a secuencias sedimentarias marinas litorales en menor medida, compuestas por calizas, calcarenitas, areniscas, margas y coquinas (Ki1m). Mientras en el centro y sur del sector identificado, se observan secuencias sedimentarias marinas litorales, compuestas por calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos superiores (Js1m) (Figura 16).

5.2.2.3 Quiuña

El sector de Quiuña, ubicado a 75 km al noreste de la ciudad de Iquique, presenta cercanía a tres quebradas: al norte se observa la quebrada de Tana junto a la quebrada de Tiliviche, esta última lo atraviesa; mientras en su límite oeste se encuentra la quebrada de Soga. Por otra parte, es posible notar la presencia del oasis de niebla Alto Junín a 13 km al suroeste del sector (Figura 20).

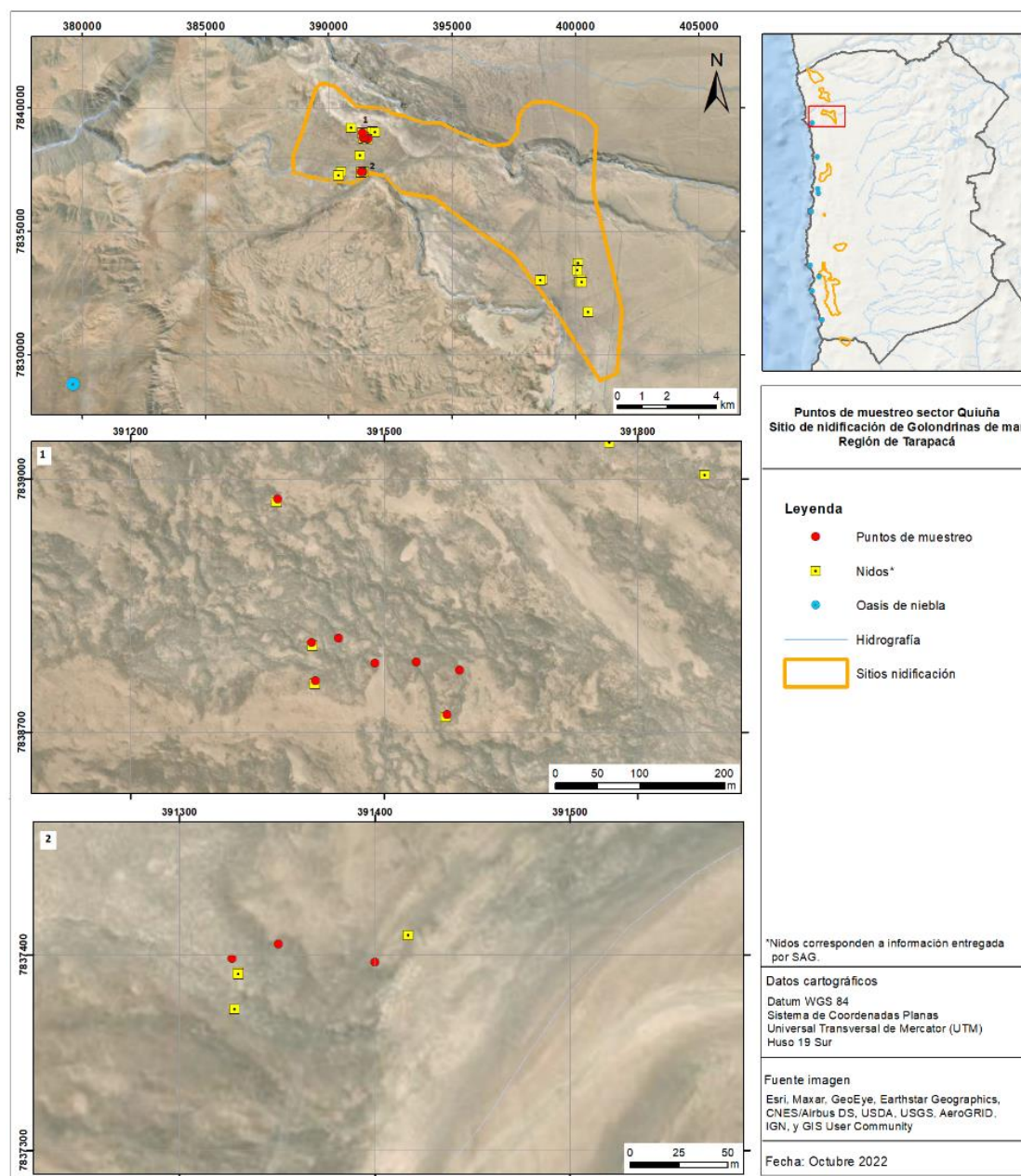


FIGURA 20. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR QUIÑA. ARRIBA, VISTA GENERAL DEL SITIO DE NIDIFICACIÓN. ABAJO, VISTAS DE TRANSECTOS REALIZADOS EN EL SITIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Durante la campaña de terreno realizada en el mes de junio, fue posible notar que este sector se caracteriza por presentar superficies de costra salina, junto a costras de cal y costras salinas con guijarros asociadas; el nivel de encostramiento es moderado en general, y el color corresponde a tonalidades café y grises, presentando coloración amarilla/blanquecina en algunos puntos (Figura 21 y Figura 22).



FIGURA 21. SUPERFICIE EN SECTOR DE MUESTREO 1 EN QUIÑA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 22. SUPERFICIE EN SECTOR DE MUESTREO 2 EN QUIÑA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En el sector se observa una fuerte presencia de componente hidrográfico, representado por quebradas principales y secundarias, como es la Quebrada de Tiliviche que se caracteriza por un clima templado y generalmente poco lluvioso durante el año, a excepción de los meses de verano o temporada estival, donde las lluvias que afectan al altiplano alimentan la quebrada, devolviendo su escorrentía superficial; además del oasis de neblina Alto Junín, existente al suroeste, esto podría influenciar la llegada y posterior nidificación de la especie en el sector,

considerando que las condiciones ambientales podrían permitir un entorno favorable para esta (Figura 23).



FIGURA 23. VISTA GENERAL SECTOR QUIUÑA, JUNTO A ENTRADA DE NIEBLA POR QUEBRADA TILIVICHE, DESDE SECTOR DE MUESTREO 1. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por otra parte, en su geología Quiuña presenta en mayor medida Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas (M1c); seguida de Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales (J3i).

También es posible notar, hacia el norte del sector, la presencia de Depósitos de remoción en masa: brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional (PPI1r); mientras hacia el sur una pequeña porción del área corresponde a Secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos superiores (Js1m). Es importante señalar que, aun cuando existe hacia el límite sur una porción correspondiente a depósitos evaporíticos: sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles detríticos finos, localmente con bórax y/o litio (MQs) – es decir salar – esta no es significativa con relación al área total del sitio, siendo la de menor proporción (Figura 14).

5.2.2.4 *Caleta Buena*

Caleta Buena corresponde al primer sector identificado en la región como sitio de nidificación de golondrinas de mar, y se localiza a 15,6 km al noreste de la ciudad de Iquique. Cercano a este sitio, entre 8 y 12 km al suroeste, se encuentran dos oasis de niebla, Huantaca y Huantajaya

(Figura 24 y Figura 25). Este sitio, litográficamente, se caracteriza porque sus halitas son onduladas y se encuentran altamente entremezcladas con formaciones clásticas lenticulares probablemente asociado a depósitos aluvionales provenientes desde el este (Sepúlveda et al. 2014).

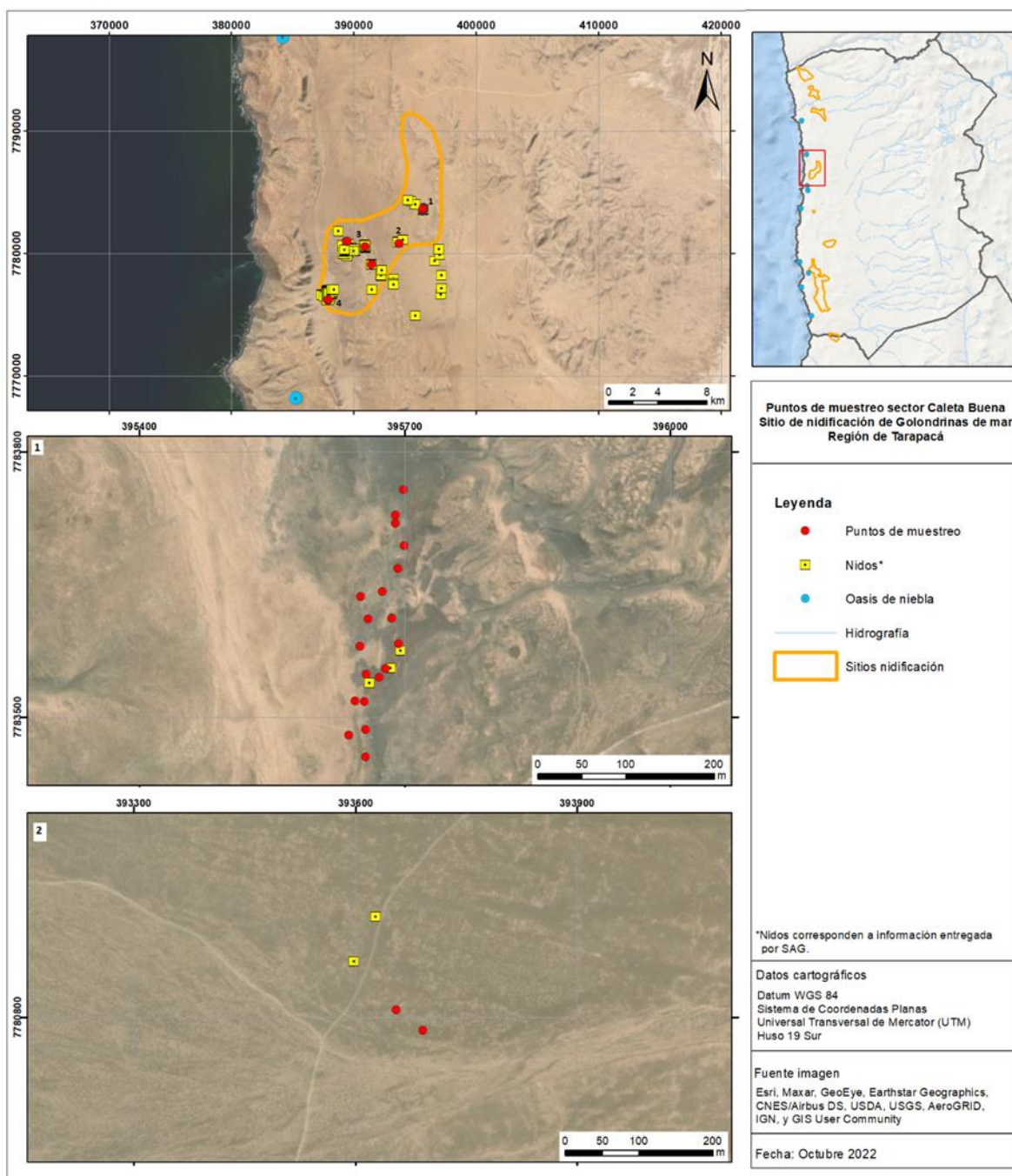


FIGURA 24. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR CALETA BUENA. ARRIBA, VISTA GENERAL DEL SITIO. ABAJO, VISTAS DE TRANSECTOS REALIZADOS EN EL SITIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

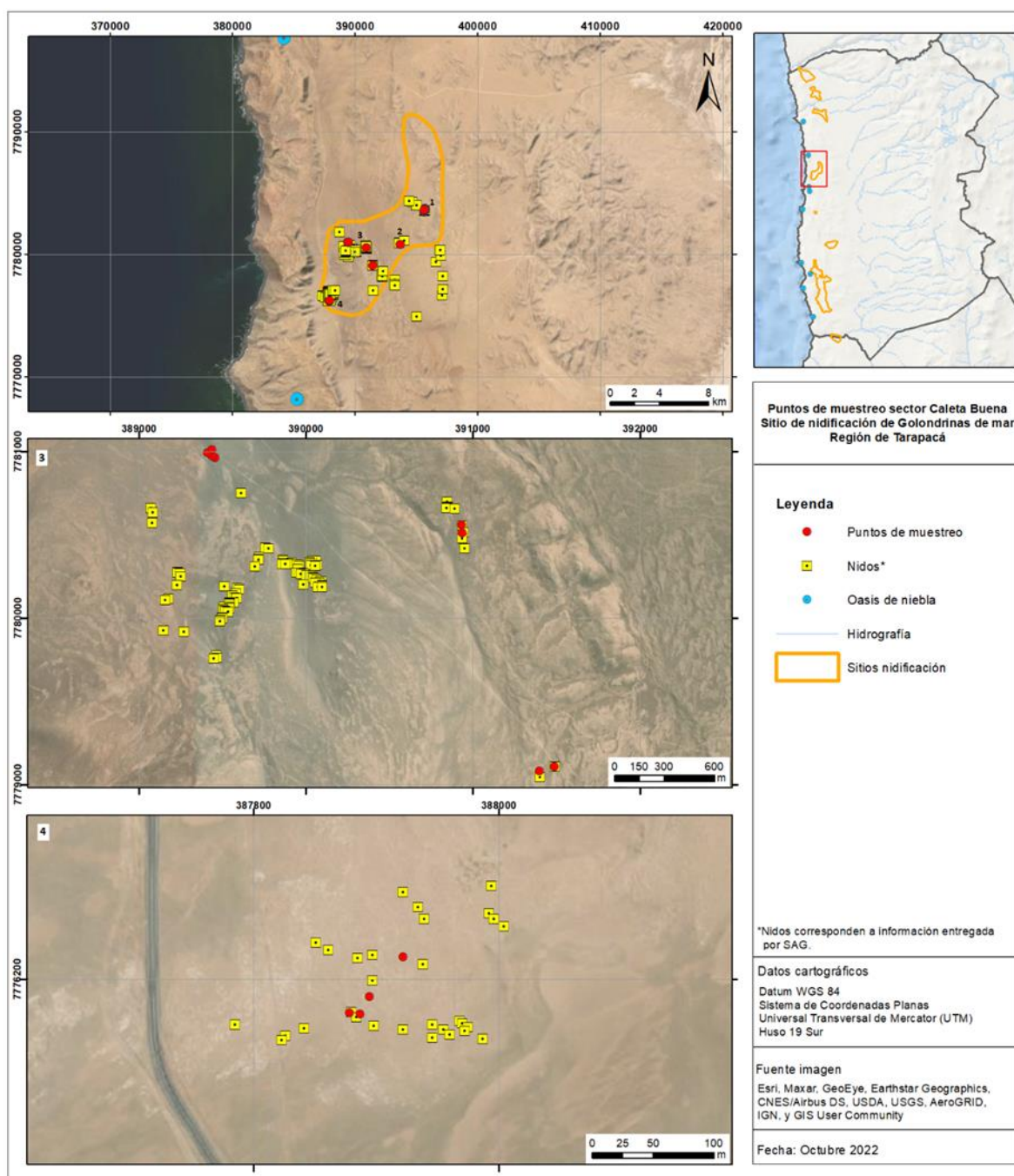


FIGURA 25. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR CALETA BUENA. ARRIBA, VISTA GENERAL DEL SITIO. ABAJO, VISTAS DE TRANSECTOS REALIZADOS EN EL SITIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En este sector es posible identificar diferencias en sustratos dependiendo de la localización de los puntos de muestreo identificados dentro del área. De esta manera, en el área 1 (Figura 26 y Figura 27) es posible notar la presencia de arenas móviles (dunas activas) sobre una superficie de afloramientos salinos sobre una ladera (este), al mismo tiempo que se observan placas (costras endurecidas) color rojizas, con presencia de rocas pequeñas y medianas. Junto a lo anterior, se observa en la ladera sureste la presencia de sustrato con limo y arena, mientras que

en la ladera oeste es posible advertir la presencia de un sustrato con presencia de limo y rocas pequeñas y medianas. En esta área se observan los distintos tipos de encostramiento.



FIGURA 26. SUPERFICIES PRESENTES EN ÁREA DE MUESTREO 1 EN SECTOR CALETA BUENA. ARRIBA A LA IZQUIERDA, SE OBSERVA UN SUSTRATO CARACTERÍSTICO DE LIMO Y ARENA, MIENTRAS QUE EN LAS OTRAS FOTOGRAFÍAS SE OBSERVAN DIFERENTES TIPOS DE ENCOSTRAMIENTO BAJO SUSTRATOS DE ARENA MÁS GRUESA Y ROCAS DE DIFERENTE TAMAÑO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 27. VISTA GENERAL ÁREA DE MUESTREO 1 EN CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La segunda área del sector de Caleta buena corresponde a una planicie continua con limos y gravilla, con presencia de rocas medianas dispersas (Figura 28 y Figura 29). No presenta encostramiento, y su coloración es café claro.

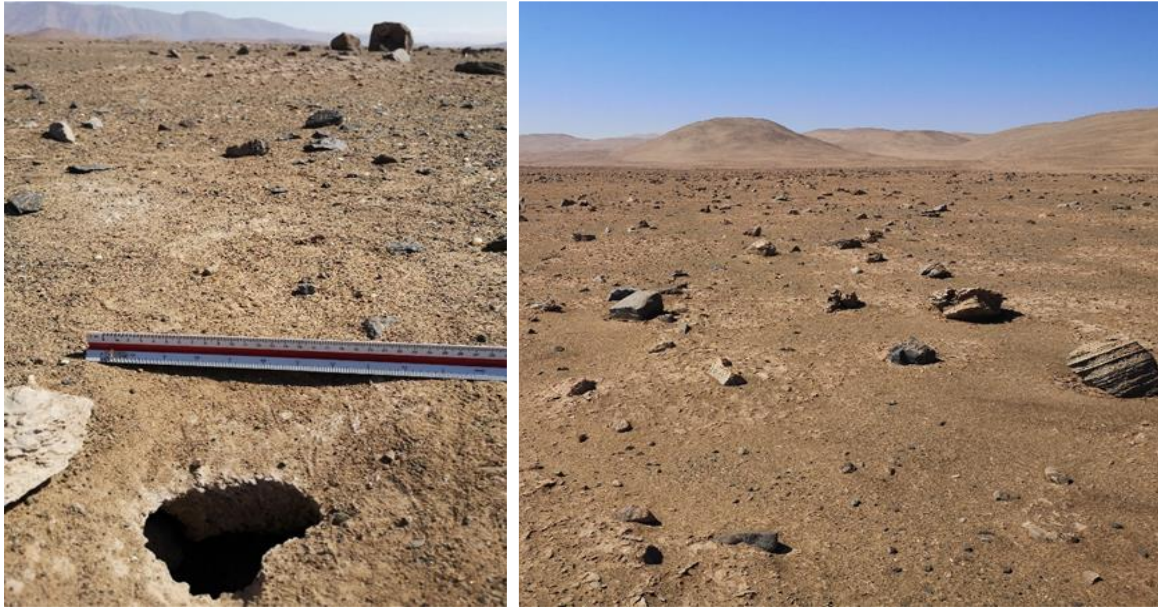


FIGURA 28. SUPERFICIES PRESENTES EN ÁREA DE MUESTREO 2 EN CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 29. VISTA GENERAL ÁREA DE MUESTREO 2 EN CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En la tercera área de muestreo, se observa el borde del salar, con superficie de limo y arenas, placas lenticulares, y afloramientos de sal aislados (Figura 30). Del mismo modo, en este sector

es posible notar la entrada de niebla desde el oeste. Presenta un encostramiento moderado, y la coloración va de café claro a café oscuro.



FIGURA 30. SUPERFICIES ÁREA DE MUESTREO 3 EN CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por último, en el área de muestreo 4, se observan afloramientos salinos, en superficie con arena compactada, con un encostramiento general, y coloración café claro a gris (Figura 31).



FIGURA 31. SUPERFICIES ÁREA DE MUESTREO 4 EN CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Sobre la geología presente, se observa en la mayor parte secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón (OM1c). Seguido por Secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas y brechas, andesíticas y basálticas, calizas y areniscas marinas fosilíferas (J2m). En menor proporción Granodioritas, dioritas, monzodioritas y granitos; pórfidos dacíticos y andesíticos (JKg) y Secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos superiores (Js1m) (Figura 32).

A una escala mayor, es posible observar la unidad de Gravas de Alto Hospicio (OPah) como predominante, correspondientes a gravas, arenas, limos y arcillas semiconsolidados de origen aluvial, con intercalaciones de ceniza volcánica, donde se observa gran cantidad de nidos; seguida por la formación El Godo (Bajociano-Oxfordiano) (Jmseg), con una Secuencia sedimentaria marina, fosilífera, compuesta por lutitas calcáreas con intercalaciones de volcanitas submarinas, compuestas por lutitas calcáreas grises y negras; y por último, se observa la Formación Caleta Lígata (Bajociano) (Jmcl), correspondientes a la Secuencia sedimentaria marina, fosilífera, constituida por areniscas calcáreas con intercalaciones volcánicas principalmente submarinas hacia el oeste e intercalaciones de calizas hacia el este, con presencia de Areniscas calcáreas rojas, amarillas y verdes (Figura 33).

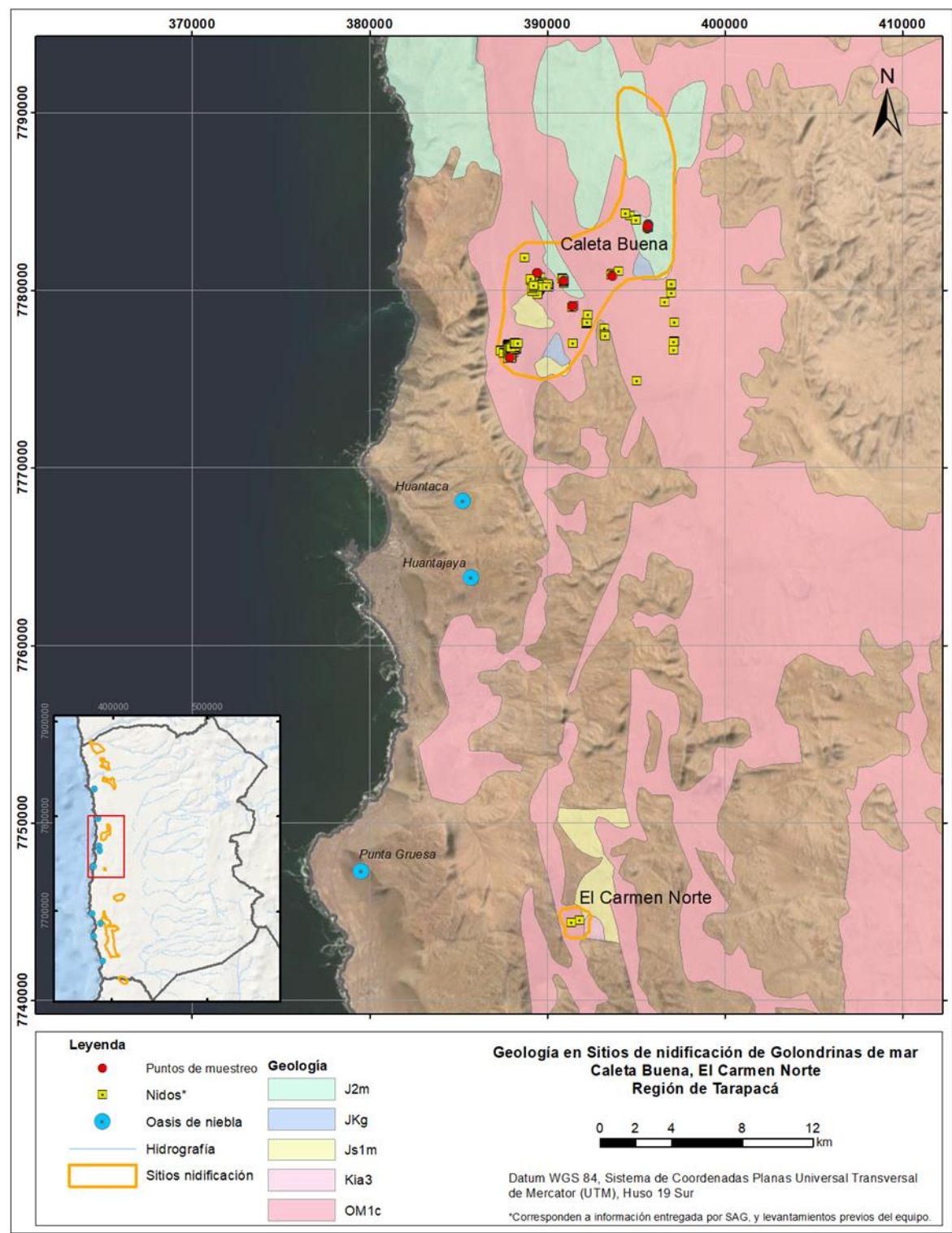


FIGURA 32. GEOLOGÍA PRESENTE EN SITIOS DE NIDIFICACIÓN DESCRITOS PARA SECTORES DE CALETA BUENA Y CARMEN NORTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

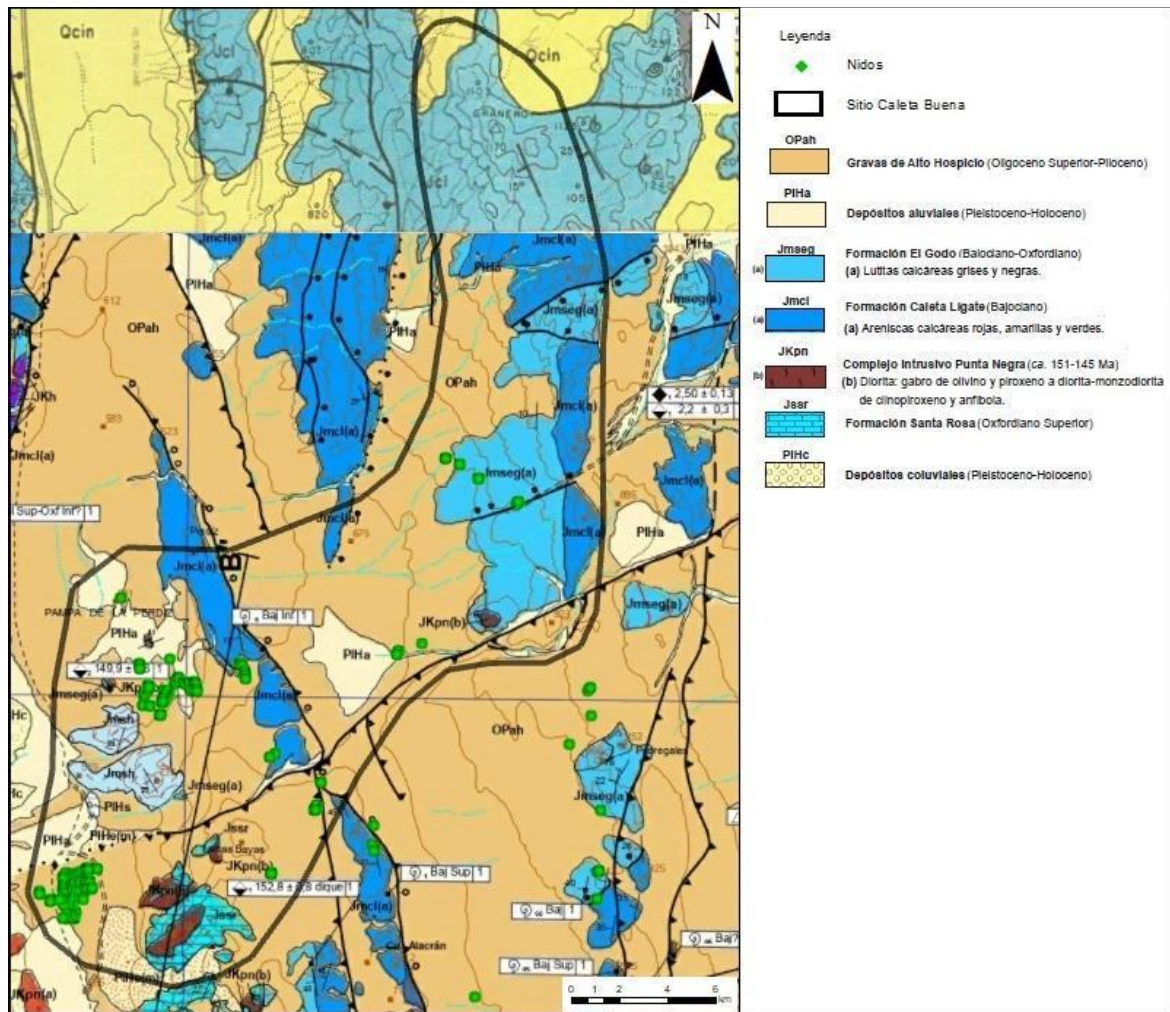


FIGURA 33. GEOLOGÍA CALETA BUENA, MODIFICADO DE VÁSQUEZ & SEPÚLVEDA. 2013; Y SILVA, 1977.

5.2.2.5 Pampa Hermosa

Pampa Hermosa es un sector localizado a 44 km al este de la ciudad de Iquique, y fue encontrado por la brigada canina del SAG en el mes de enero del año 2019 y posteriormente descrito en toda su extensión (SAG, 2021). Corresponde a un sector con lomajes suaves, y de todos los sitios descritos es el más oriental. Se realizó el muestreo en dos áreas, las que se observan en la Figura 34.

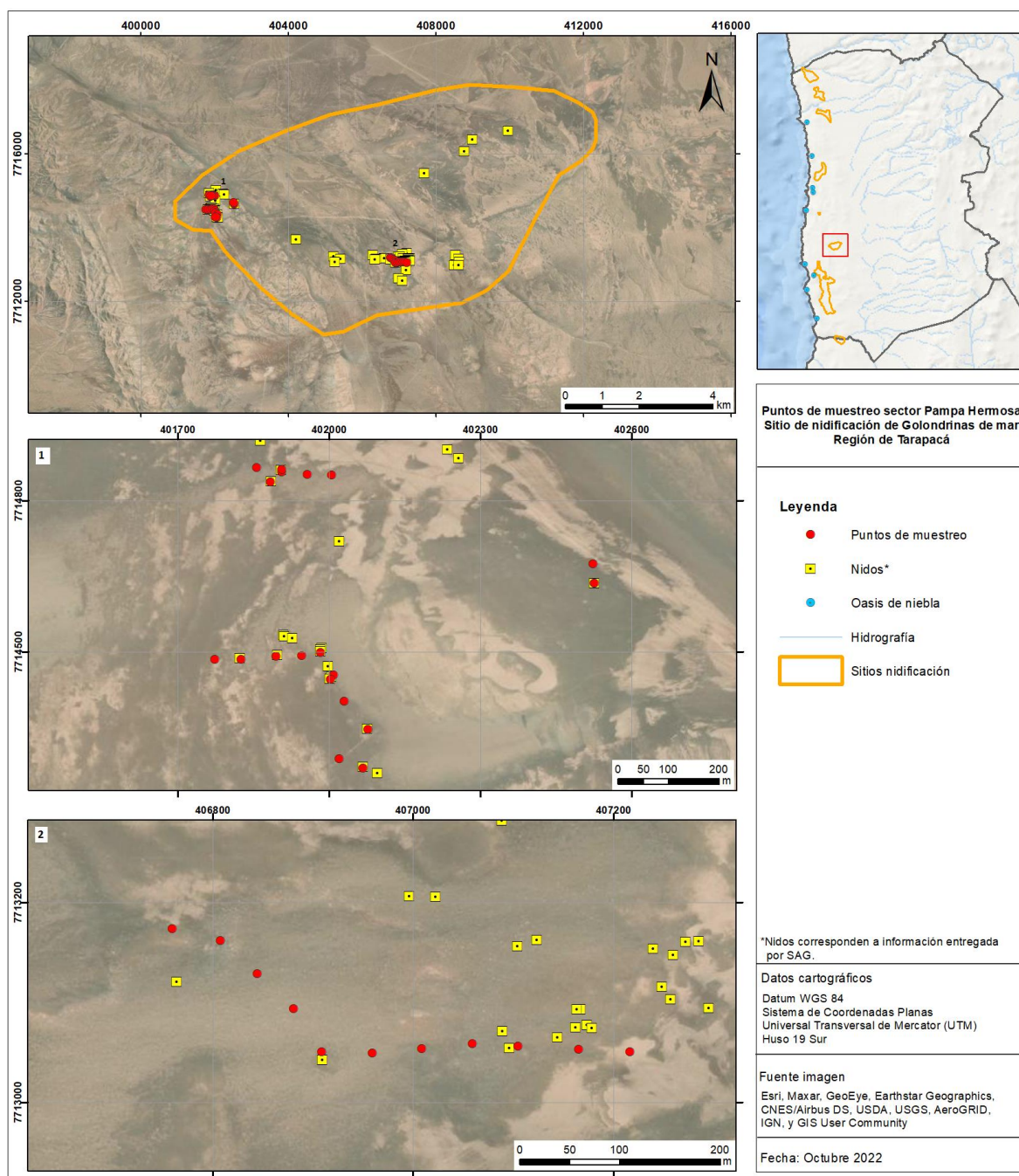


FIGURA 34. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR PAMPA HERMOSA. ARRIBA, VISTA GENERAL DEL SITIO. ABAJO, SECTORES DONDE SE REALIZARON LOS TRANSECTOS Y MUESTREOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En relación con el área de muestreo 1, la superficie es limosa con guijarros en el borde del salar, observándose afloramientos salinos intermitentes. Presenta un encostramiento en su mayoría alto, aun cuando se observa no encostrado en algunos puntos; y una coloración café oscuro (Figura 35).



FIGURA 35. SUPERFICIES PRESENTES EN ÁREA DE MUESTREO 1 EN PAMPA HERMOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el área de muestreo 2 se observa una superficie de limo con gravilla, además de afloramientos salinos alrededor, pudiendo considerarse como borde del salar, presentando un encostramiento en su mayoría alto, aun cuando se observa no encostrado en algunos puntos; y una coloración café claro (Figura 36).

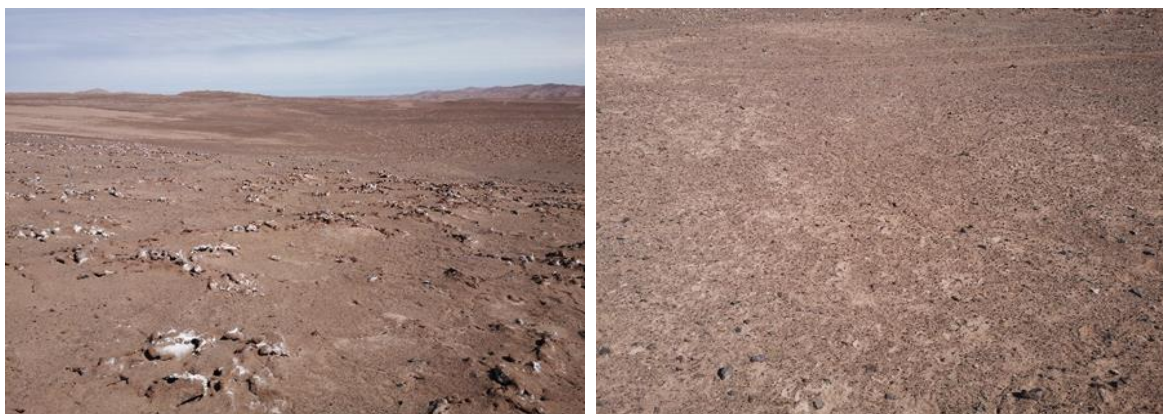


FIGURA 36. SUPERFICIES PRESENTES EN ÁREA DE MUESTREO 2 EN PAMPA HERMOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Con relación a la geología, a mediana escala, la mayor parte de este sector está formado por secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón (OM1c). Seguido por Secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos superiores (Js1m). se observa una pequeña área de Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales (Figura 37).

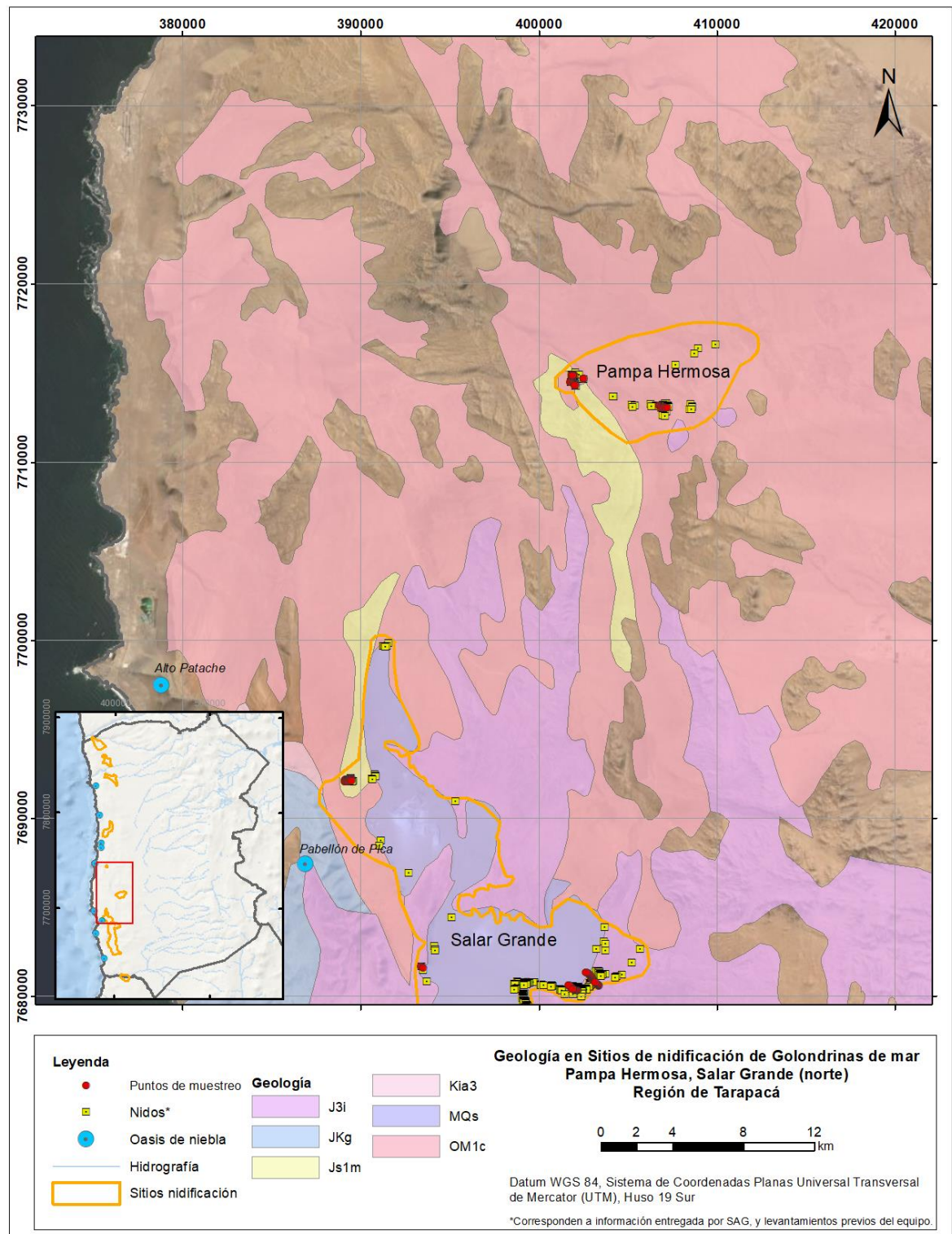


FIGURA 37. GEOLOGÍA PRESENTE EN SITIOS DE NIDIFICACIÓN DE PAMPA HERMOSA Y SECTOR NORTE DE SALAR GRANDE.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Mientras, a una escala de análisis mayor (Figura 38), es posible describir la litología presente en este sector como parte de la unidad de Gravas de Alto Hospicio (OPah), en términos generales

“compuesta por gravas matriz-soportada a clasto soportada con intercalaciones de cenizas volcánicas, con predominancia de areniscas y limolitas medianamente consolidada hacia la base” (Sepúlveda et al, 2014). Estas gravas del sector de Pampa Hermosa “tienen 3 m de espesor y contienen clastos de 0,5 a 20 cm, redondeados, esféricos a oblatos, mala selección y, en general, presentan lentes de 10 a 30 cm de areniscas gruesas a medias y escasas capas de limolitas de menos de 3 cm de espesor. La presencia de facies de granulometría fina (arenas finas y limolitas) bajo gravas, permite atribuir la posición estratigráfica de estos afloramientos a la parte basal de esta unidad” (Sepúlveda et al, 2014). Por otra parte, se observa la presencia de Depósitos salinos compuestos mayoritariamente por cloruros (PIHs (a)); y en menor medida se observan monzonitas correspondientes a la unidad Monzonita Cerro Ventarrón (Jicv).

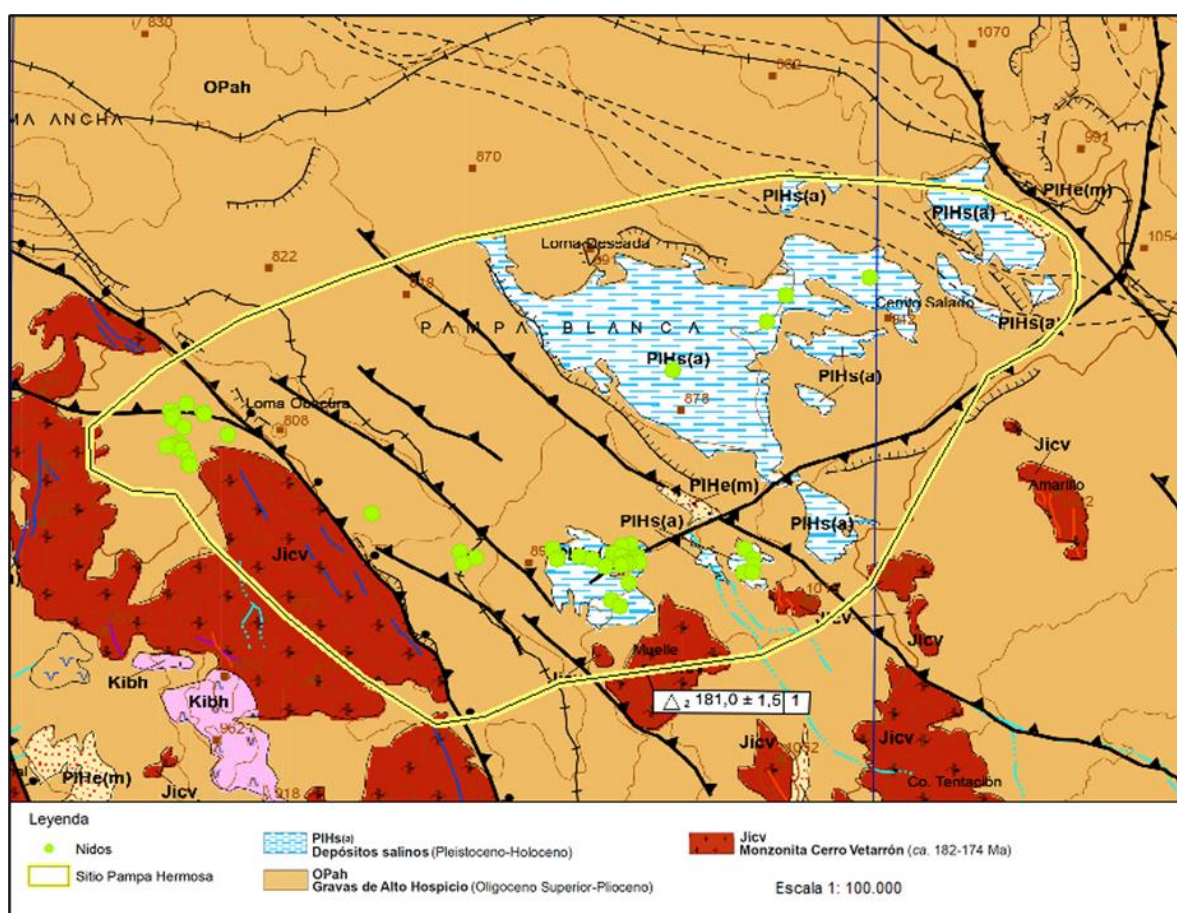


FIGURA 38. GEOLOGÍA PAMPA HERMOSA, MODIFICADO DE SEPÚLVEDA ET AL. 2014.

5.2.2.6 Salar Grande

El sector de Salar Grande corresponde al sitio de nidificación de mayor tamaño descrito en la región, que además posee el mayor número de registros de golondrina de mar. Se localiza a 63 km al suroeste de la ciudad de Iquique, y presenta la característica de abarcar toda la extensión

del Salar Grande. Durante la campaña de terreno se visitaron distintas áreas del sitio, las que se observan en las Figura 39 y Figura 40.

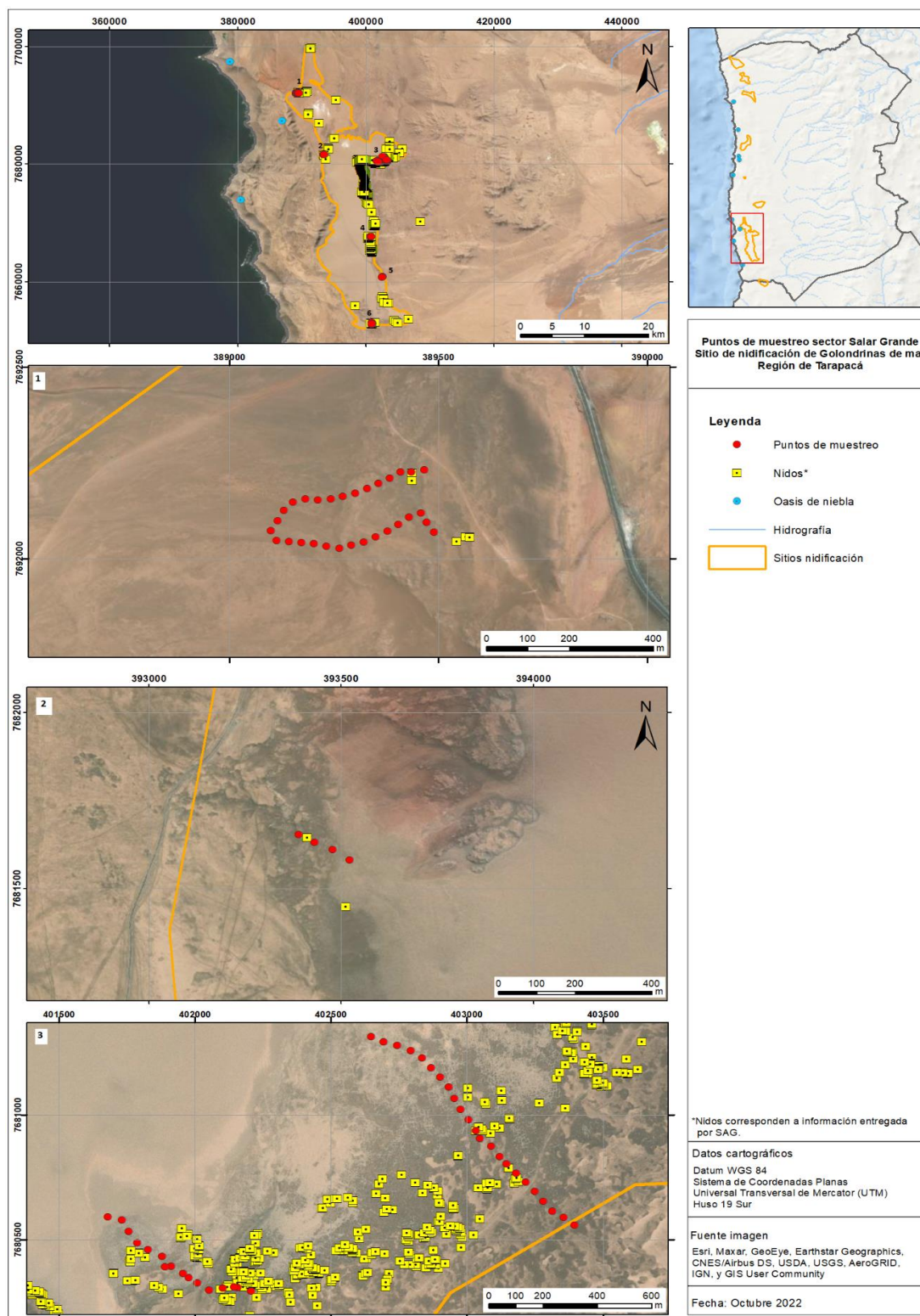


FIGURA 39. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR NORTE SALAR GRANDE. ARRIBA, VISTA GENERAL DEL SITIO. ABAJO, SECTORES DONDE SE REALIZARON LOS TRANSECTOS Y MUESTREOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

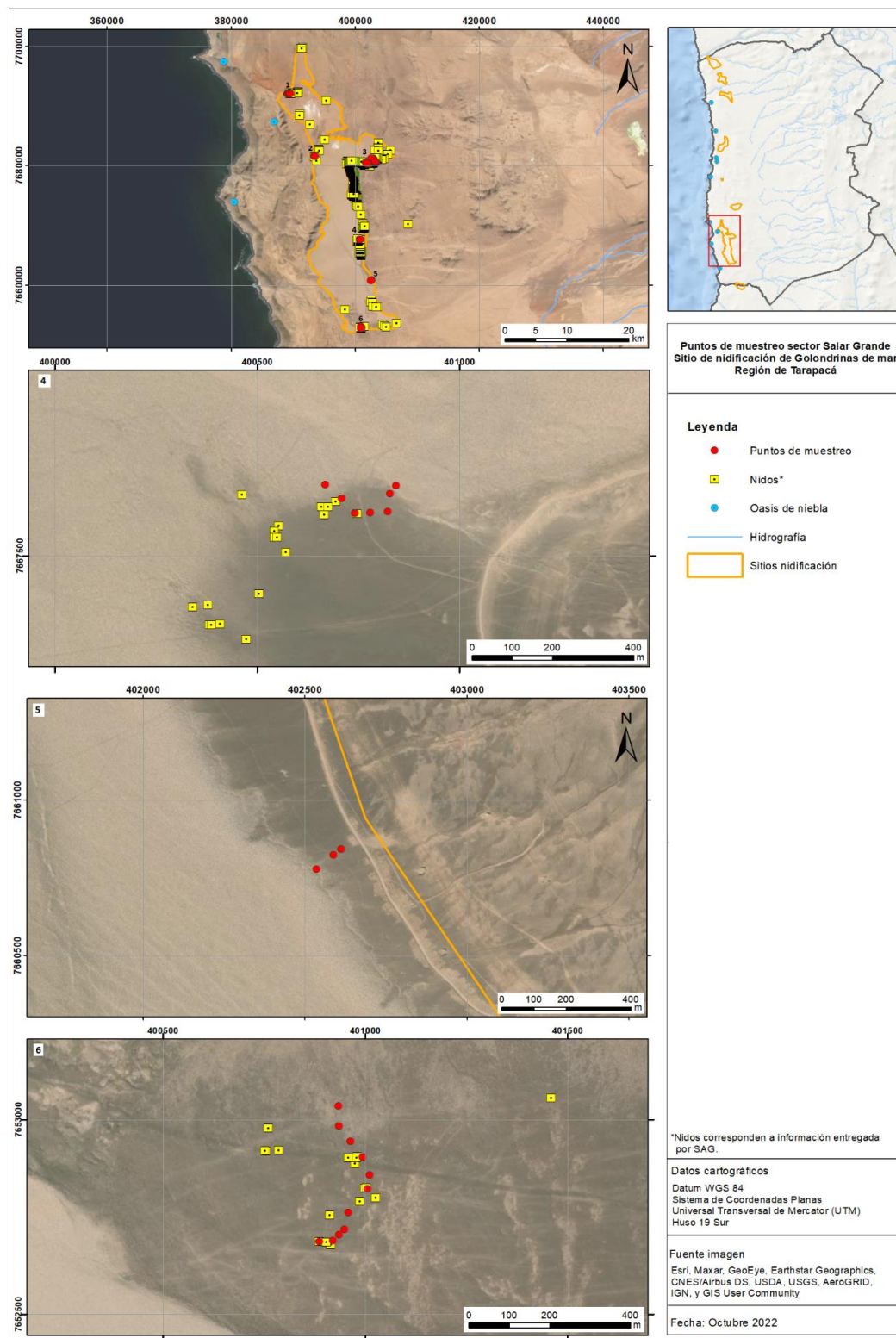


FIGURA 40. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR NORTE SALAR GRANDE. ARRIBA, VISTA GENERAL DEL SITIO. ABAJO, SECTORES DONDE SE REALIZARON LOS TRANSECTOS Y MUESTREOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el sector norte del muestreo, en el área 1, localizado hacia el noroeste, fue posible observar limo y arena superficial, sobre roca salina consolidada, se observan además sectores con

presencia de cal, y pequeñas costras salinas, no presenta encostramiento en la mayoría de los puntos de muestreo, mientras la coloración general del área es marrón (Figura 41 y Figura 42); en el área 2, al oeste del sector, se observó la presencia de rocas en superficie y mayor presencia de costra salina y a diferencia del área 1, presenta un alto nivel de encostramiento así como una coloración café oscura con blanco debido a la sal (Figura 43). La última área de muestreo al sector norte se encuentra hacia el este del salar (Figura 44) en la que se observan superficies de borde de salar con presencia de limos con arenas endurecidas sobre costras salinas, además de afloramientos salinos; es posible notar superficies sin encostramiento y encostradas; con tonalidades que van desde café oscuro a café claro.



FIGURA 41. SUPERFICIES EN ÁREA DE MUESTREO 1 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 42. VISTA GENERAL ÁREA DE MUESTREO 1 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 43. SUPERFICIE Y VISTA GENERAL ÁREA 2 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

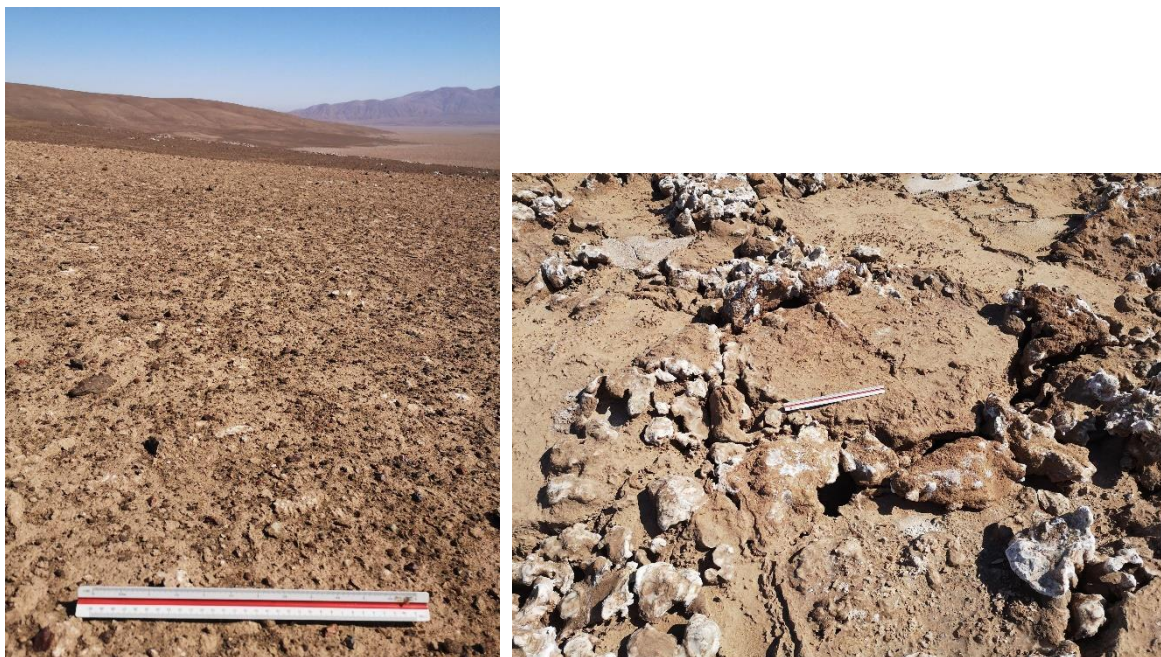


FIGURA 44. SUPERFICIES Y VISTA GENERAL ÁREA DE MUESTREO 3 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el sector sur de Salar Grande, el área 4 de muestreo ubicado al oriente del salar, presenta sustrato de arenas endurecidas, con capa de limo, y presencia de afloramientos salinos, en menor cantidad a la existente en el área de muestreo 3 (Figura 45); su encostramiento es alto, y la coloración presente corresponde a café claro. En el área de muestreo 5, se observa una superficie correspondiente a borde de salar, observándose costras compactas con manchas de sal, con un bajo a nulo encostramiento, el color de esta área se observa café claro (Figura 46). Finalmente, en el área de muestreo 6, localizado en el sector más austral del salar, se observa una superficie con características correspondientes a borde de salar, observándose encostrada, con arenas endurecidas y muy baja presencia de costras salinas, la coloración en este sector es café oscuro (Figura 47).



FIGURA 45. SUPERFICIES (ARRIBA) Y VISTA GENERAL (ABAJO) ÁREA DE MUESTREO 4 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 46. SUPERFICIES EN ÁREA DE MUESTREO 5 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 47. SUPERFICIES (ARRIBA) Y VISTA GENERAL (ABAJO) ÁREA DE MUESTREO 6 DE SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En relación a las formaciones geológicas de este sector, a mediana escala (1:1.000.000) se observa mayor presencia de Depósitos evaporíticos: sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles

detríticos finos, localmente con bórax y/o litio (MQs), sin embargo no corresponde a la mayor superficie con presencia de nidos, ya que éstos se observan principalmente en sectores de borde del salar, donde se encuentran Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales (J3i). En menor medida se encuentran secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos superiores (Js1m), y Secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón (OM1c) (Figura 48).

A mayor escala, se distingue como mayor unidad la de Estratos del Salar Grande (MsPlsg), que agrupa rocas evaporíticas conformadas principalmente por halita y muy subordinadamente sulfatos, con escasas intercalaciones de tobas de ceniza cementada por halita (Vásquez et al., 2018), sin embargo, gran cantidad de nidos se encuentran en el sector oriente del Salar Grande, sobre Gravas, arenas, limos y arcillas semiconsolidados de origen aluvial, con escasas intercalaciones de tefra, pertenecientes a la unidad Gravas de Alto Hospicio (OsPah), las que se localizan en el borde del salar; así como en Depósitos de salinos (PIHs) presentándose Facies transicional entre depósitos salinos y aluviales; seguido de una cantidad considerable de nidos en depósitos aluviales (PIHa), correspondientes a Bloques, gravas, arenas y limos con intercalaciones de cenizas, que se acumulan en el fondo de los cauces de quebradas, en abanicos aluviales y en laderas de cerros (Figura 49).

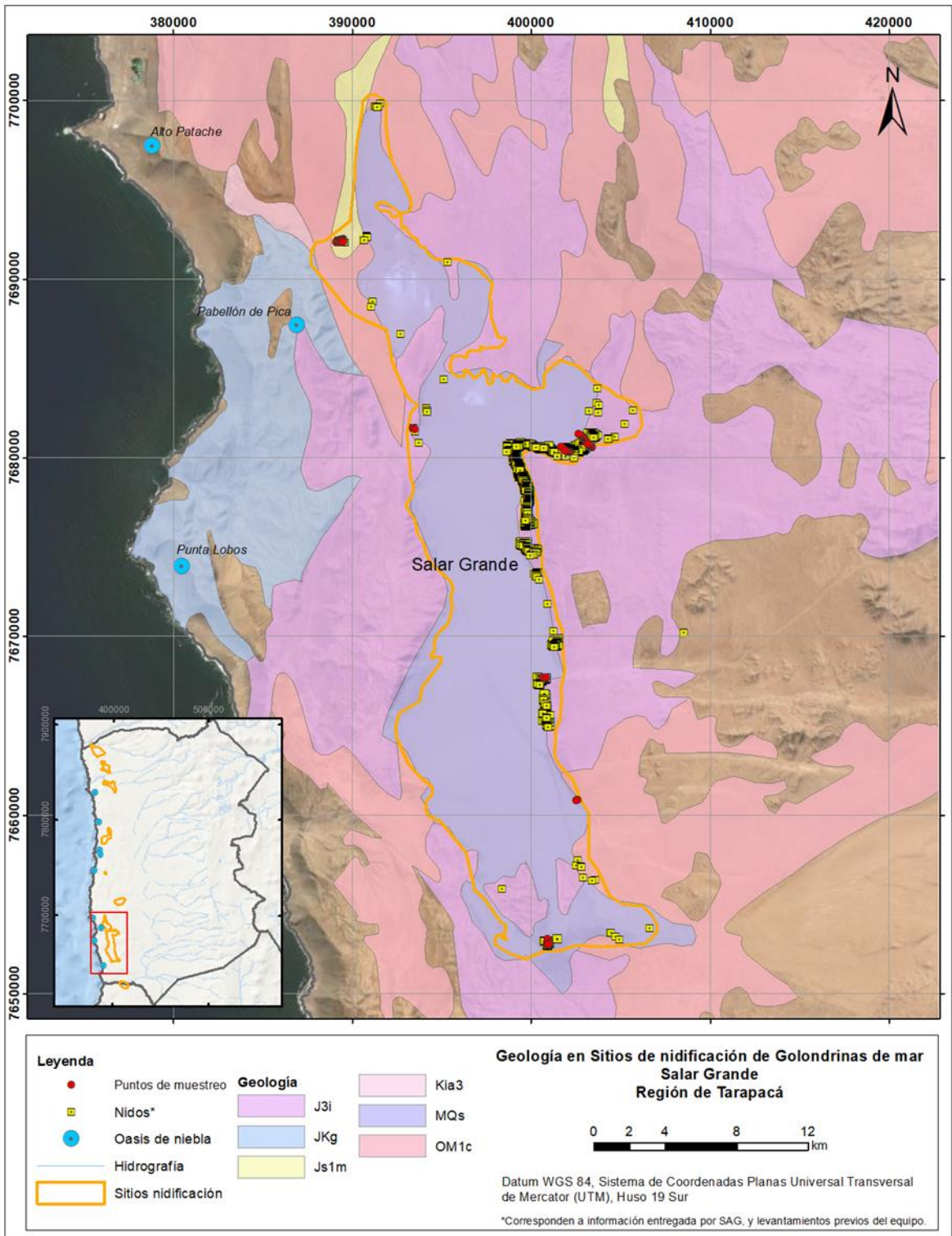


FIGURA 48. GEOLOGÍA PRESENTE EN SITIOS DE NIDIFICACIÓN DESCRITOS EN SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

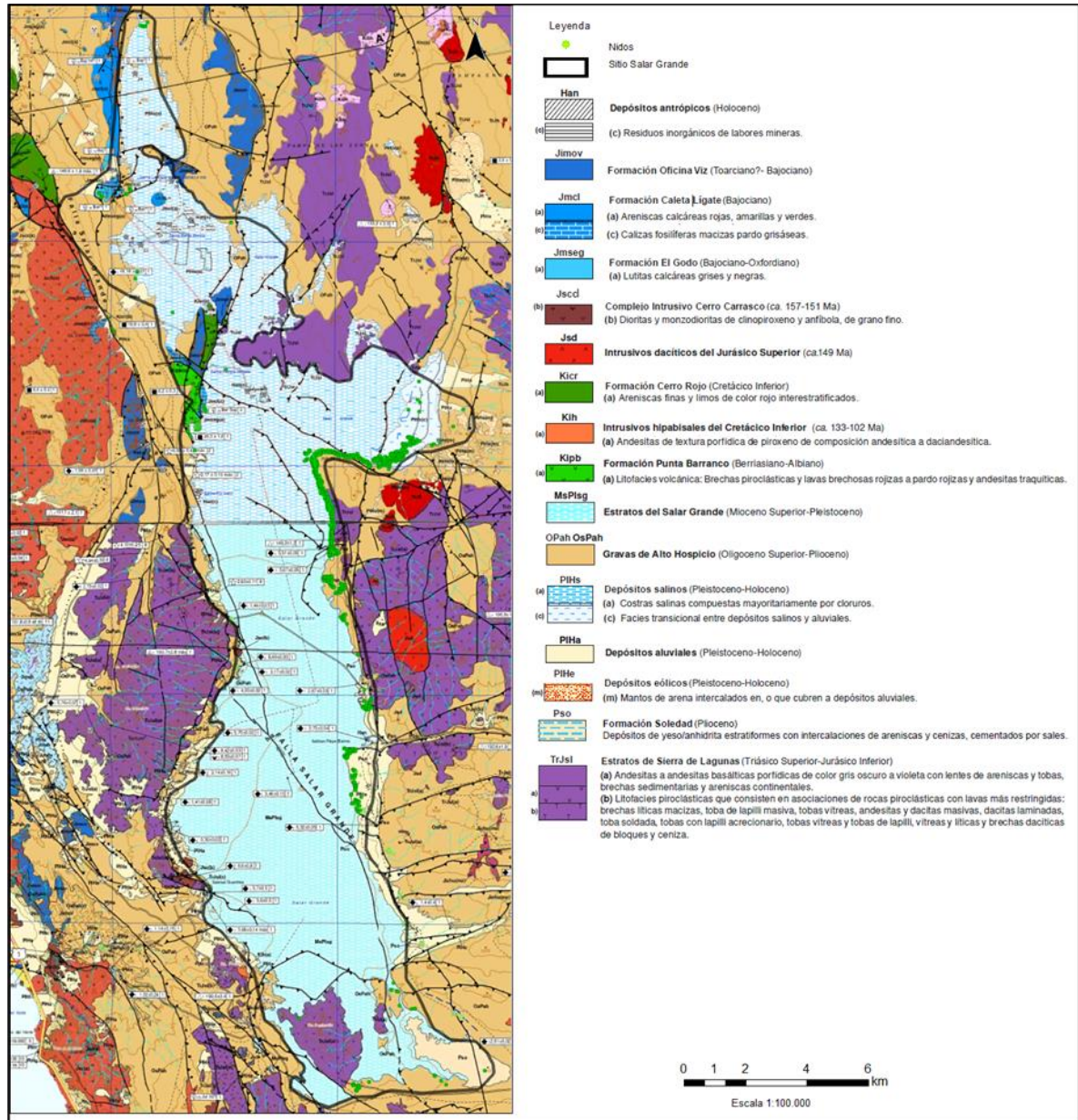


FIGURA 49. GEOLOGÍA SALAR GRANDE, MODIFICADO DE SEPÚLVEDA ET AL., 2014 Y VÁSQUEZ ET AL., 2018.

5.2.2.7 Alto Loa

El sector denominado Alto Loa, abarca tanto la región de Tarapacá como Antofagasta, para la presente caracterización sólo se consideran los nidos y área localizada en la región de Tarapacá (Figura 50). Se localiza a 136 km al sureste de la ciudad de Iquique, y se caracteriza por encontrarse en la cima de la ladera norte de la quebrada del río Loa. Por este motivo, es posible asumir que la humedad de quebrada y la entrada de niebla podrían influir en la llegada de golondrinas de mar a este sector, tal como lo planteado para los sectores al norte de la región.

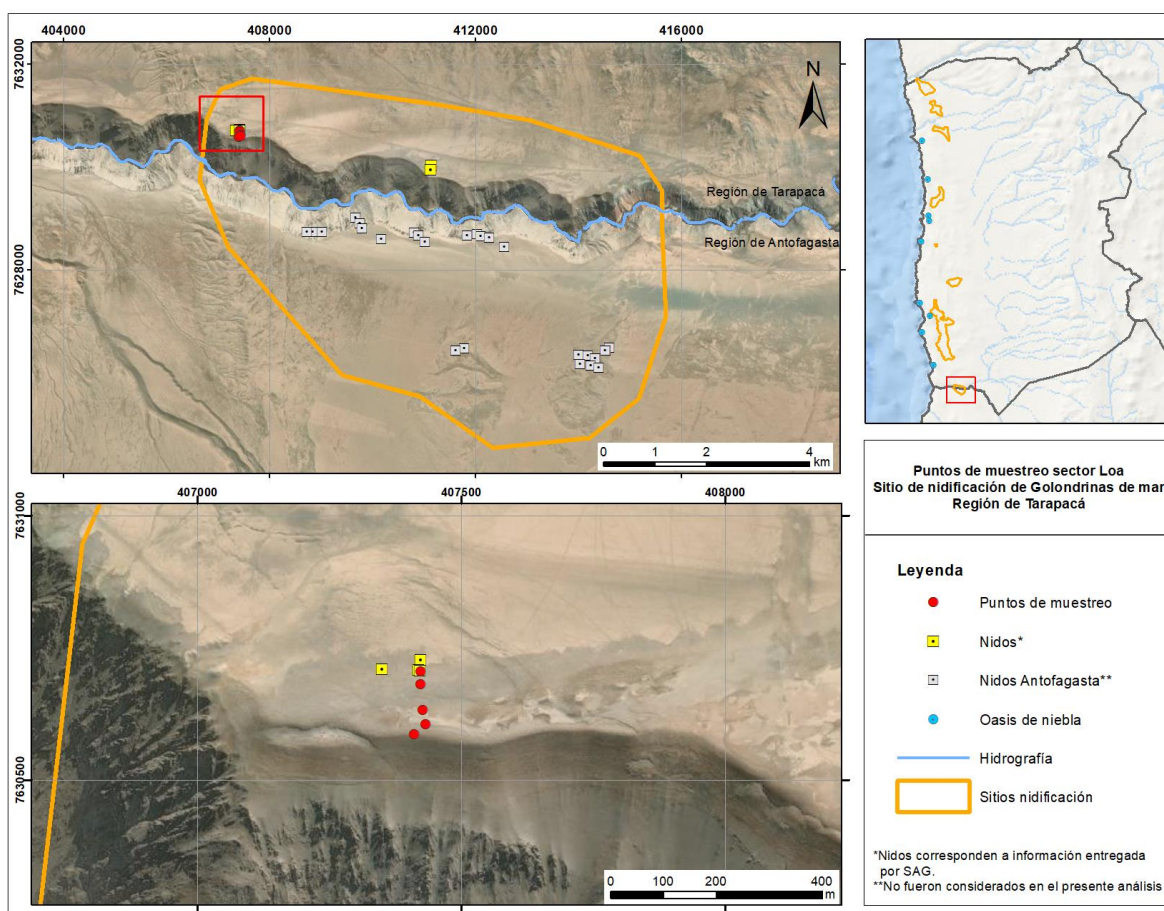


FIGURA 50. PUNTOS DE MUESTREO SECTOR ALTO LOA, REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Este sector presenta una superficie con limo y arenisca, y no se observa presencia de rocas, corresponde a una planicie sobre la quebrada; en el borde de la quebrada se observan afloramientos rocosos, aparentemente salinos (Figura 51 a 53). El área presenta un encostramiento moderado en general, y coloración café claro/beige.

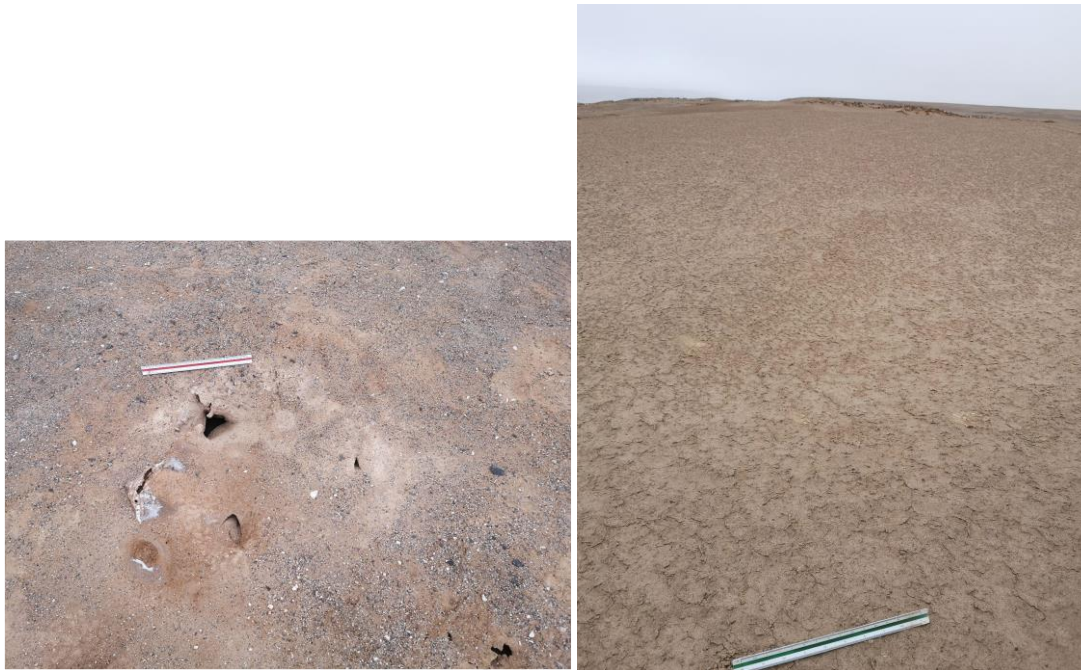


FIGURA 51. SUPERFICIES PRESENTES EN ÁREA DE MUESTREO EN ALTO LOA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 52. VISTA DESDE EL ÁREA DE MUESTREO HACIA LADERA SUR DE LA QUEBRADA DEL RÍO LOA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 53. VISTA DESDE EL ÁREA DE MUESTREO HACIA LADERA SUR DE LA QUEBRADA DEL RÍO LOA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En general, este sector presenta una geología con unidad predominante en su ladera norte de secuencias sedimentarias continentales parálicas o aluviales (OM1c), compuestas por conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón (Figura 54). Sin embargo, al realizar un análisis a mayor escala, se observa que está formada por la unidad Estratos de Quebrada Amarga (OMqa), agrupando “un conjunto de brechas sedimentarias y conglomerados medianamente a bien consolidados, areniscas con guijarros, areniscas, limolita con intercalaciones de tobas subordinadas.” (Vázquez et al., 2018). Del mismo modo, y hacia el norte del sector se encuentra la Formación El Toco (Dt (a)) que en este sector corresponden a Areniscas medias, gruesas, muy gruesas, y conglomerados finos. De manera subordinada, presentan capas de areniscas finas y muy finas, y en forma más acotada, también lutitas. Se caracterizan por tener una composición subarcósica rica en cuarzo (30-50%). Hacia la parte superior, estas facies gradan progresivamente a las capas más finas de la facies (b). (Vázquez et al., 2018). Por otra parte, no existen registros de nidos en los depósitos coluviales (PIHc) presentes en el sector para la Región de Tarapacá (Figura 55).

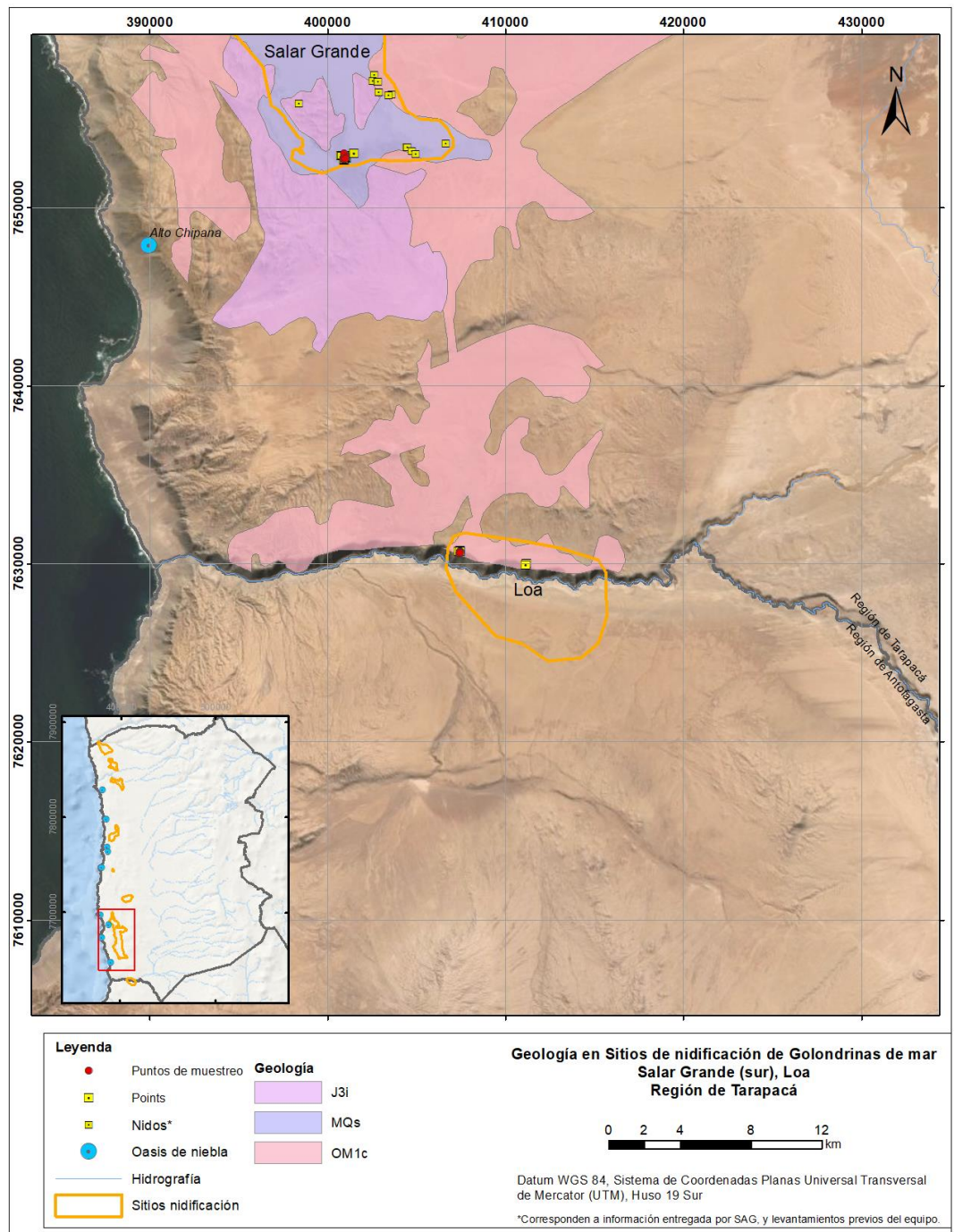


FIGURA 54. GEOLOGÍA PRESENTE EN SITIOS DE NIDIFICACIÓN DESCRITOS PARA EL SECTOR DE ALTO LOA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

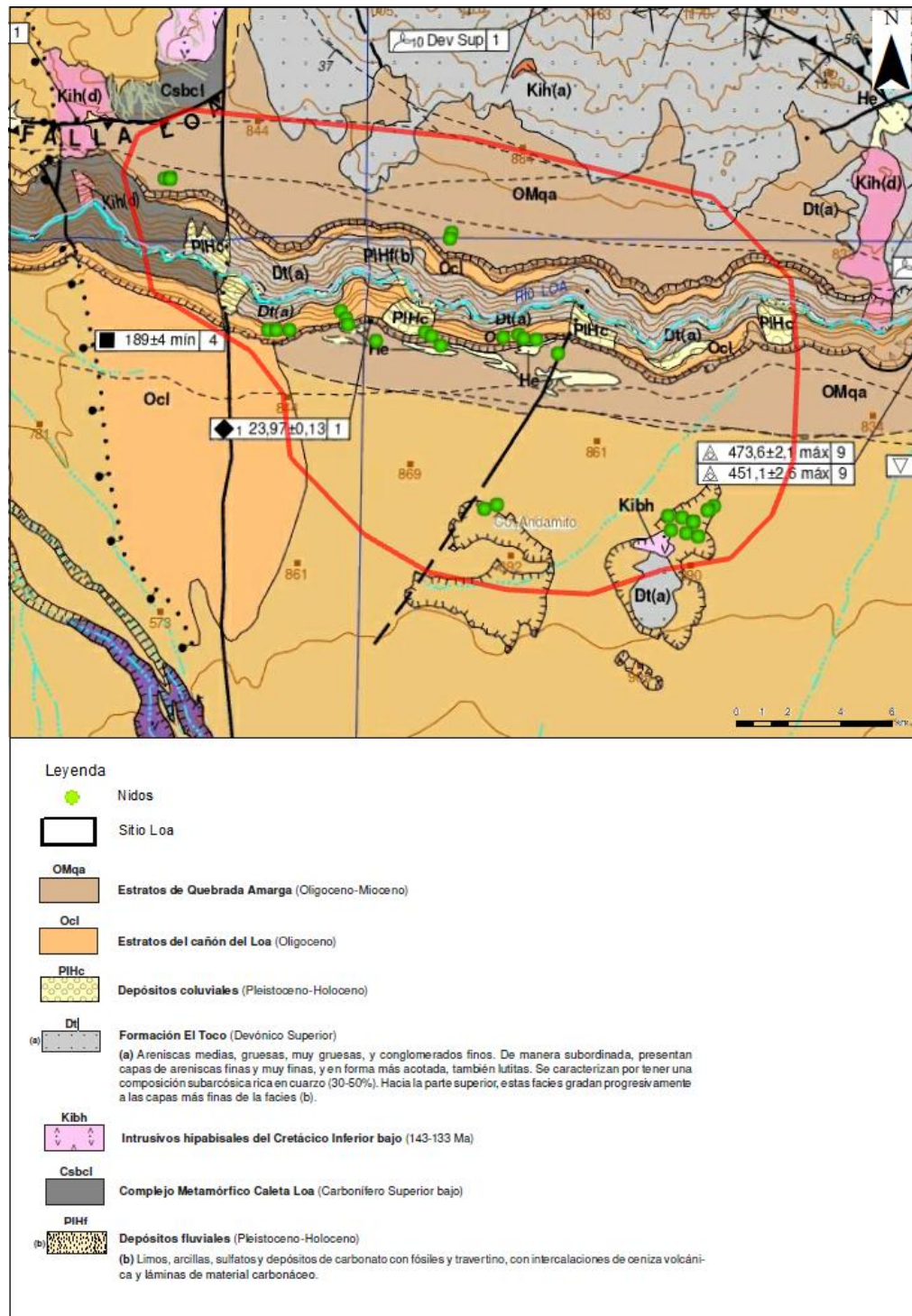


FIGURA 55. GEOLOGÍA SECTOR ALTO LOA, MODIFICADO DE VÁSQUEZ ET AL., 2018.

5.2.3 Preferencias de hábitat

5.2.3.1 Escala Paisaje

i. Variables Bioclimáticas

El modelo Maxent produce un mapa de distribución de especies basado en la idoneidad del hábitat en el que el valor del Área Bajo la Curva (AUC) representa el rendimiento del modelo, las curvas de respuesta y la tabla de porcentajes muestran cómo contribuye cada variable ambiental al modelo Maxent (Tabla 9). El análisis de modelamiento de nicho ecológico para estimar la preferencia de hábitat de las golondrinas de mar en la escala de paisaje mediante variables bioclimáticas demostró que las variables BIO12 (Precipitación anual), BIO18 (Precipitación del trimestre más cálido) resultaron ser las variables que en mayor proporción contribuyeron al modelo, con un porcentaje de 69.1 y 19.4, respectivamente. Adicionalmente, si bien no posee un porcentaje de contribución relevante, al realizar la permutación se observa que la variable BIO4 (Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar x 100)) es la que más reduce la ganancia del modelo cuando se omite (31.6). Según muestran los resultados, el patrón de condiciones bioclimáticas que están presentes en la distribución de los nidos de golondrinas de mar se asocian con condiciones de humedad en época estival y variabilidad anual de las temperaturas.

TABLA 9. ESTIMACIONES DE LAS CONTRIBUCIONES RELATIVAS DE LAS VARIABLES AMBIENTALES AL MODELO DE MAXENT Y LA IMPORTANCIA DE CADA VARIABLE EN LA PERMUTACIÓN DE JACKKNIFE.

Variable	Porcentaje de contribución	Importancia de la permutación
BIO12	69.1	0.1
BIO18	19.4	0.2
BIO2	4.1	7.2
BIO15	2.1	6.6
BIO7	1.7	9.4
BIO8	1.2	7.4
BIO4	0.7	31.6
BIO6	0.6	15.7
BIO16	0.3	0
BIO1	0.3	0
BIO11	0.1	2.1

BIO5	0.1	3.9
BIO17	0.1	0
BIO3	0.1	0
BIO14	0.1	0
BIO19	0.1	0
BIO9	0.1	15.8
BIO13	0	0
BIO10	0	0

El área bajo la curva es un enfoque de clasificación para evaluar el rendimiento del modelo mediante la determinación de la ubicación de la existencia probable que tiene un rango más alto que el espacio disponible (ausencia) al azar. El rendimiento del modelo se indica mediante un valor AUC alto, donde un valor de 0,5-0,7 se considera bajo, 0,7-0,9 se considera útil y más de 0,9 se considera muy preciso para medir la asistencia y la ausencia. Este estudio muestra un rendimiento muy preciso (AUC=0,994) del modelo (Figura 56).

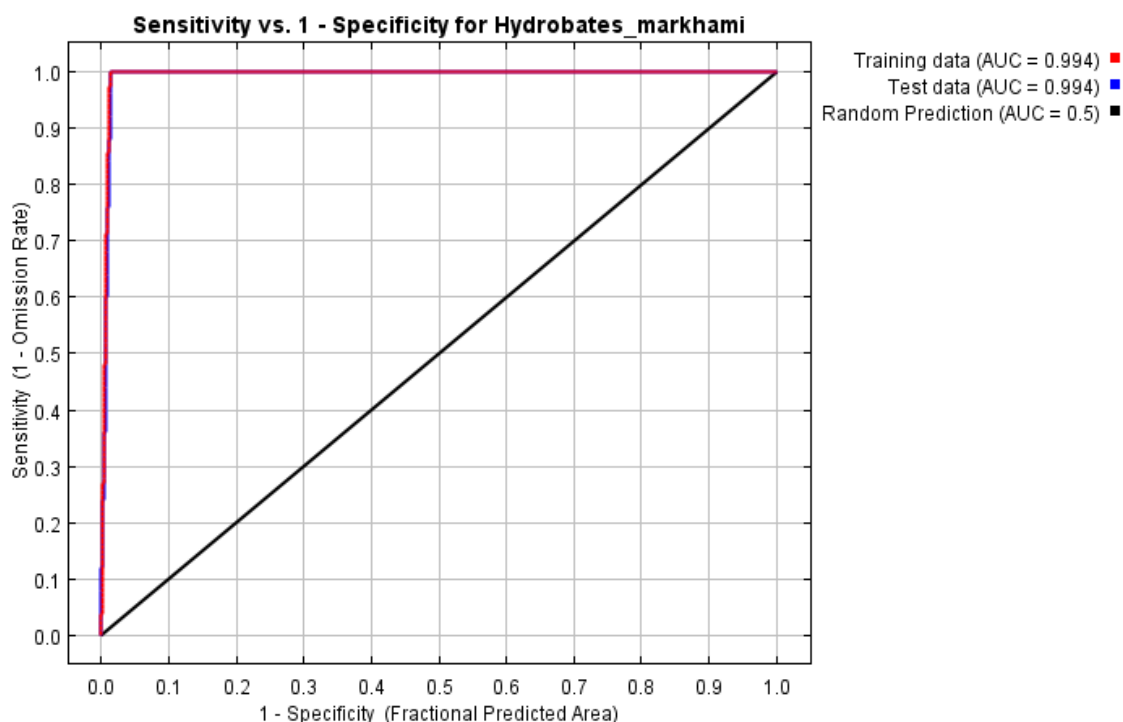


FIGURA 56. RESULTADO DE LA CURVA AUC EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE PREFERENCIA DE HÁBITAT DE SITIOS DE NIDIFICACIÓN DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El mapa resultante es un modelo de predicción de la posibilidad de presencia de especies en una región en función de la idoneidad del hábitat (Figura 57). En este mapa se observa que la mayor probabilidad de presencia de nidos de golondrinas de mar ($>0,5$) ocurre en el piso vegetal de desierto tropical interior, donde se pueden apreciar los tonos más rojizos. Parece relevante mencionar la cercanía de los sitios con mayor probabilidad de presencia de nidos con las diferentes quebradas que existen en el borde costero de la Región.

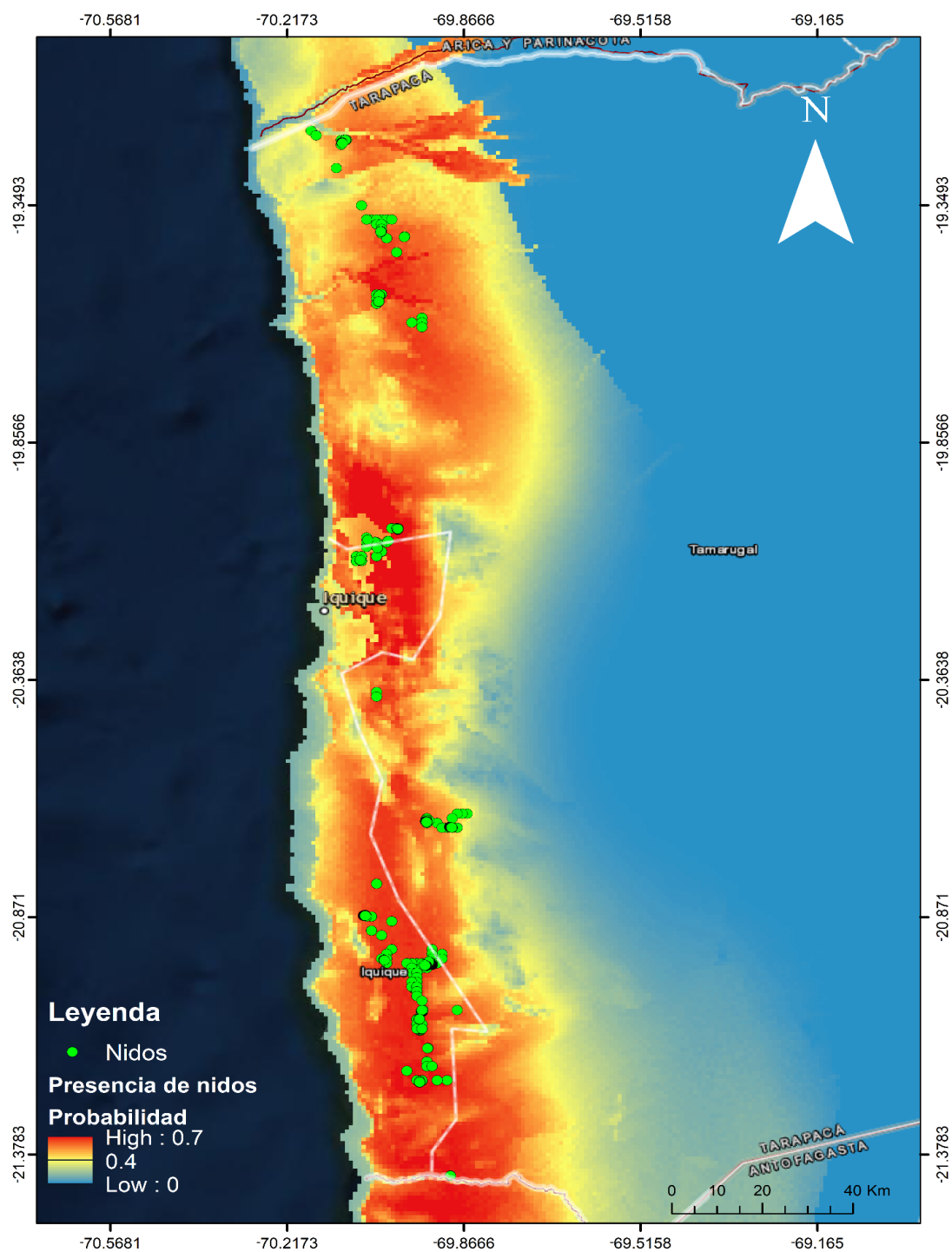


FIGURA 57. MAPA DEL MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ BASADO EN LAS VARIABLES BIOCLIMÁTICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

ii. Variables Geológicas

En cuanto a las variables geológicas, el análisis de modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) muestra que la variable Geomorfología es la que presenta el mejor ranking AIC con un

valor de 212.1 (Tabla 10). Le segunda en el ranking AIC la variable Roca 3 y Roca 4, sin embargo, con valores de muy poco peso para el modelo (AICcWt).

TABLA 10. RANKING AIC PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS (GLMM) PARA ESTIMAR LA PREFERENCIA DE HÁBITAT DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ MEDIANTE VARIABLES GEOLÓGICAS A ESCALA DE PAISAJE.

	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	Cum.Wt	LL
Geomorfología	3	212.1	0	1	1	-103
Roca 3	10	300.3	88.2	0	1	-140.1
Roca 4	9	449	237	0	1	-215.5
Roca 2	6	695.7	483.6	0	1	-341.8
Unidad geomorfológica	8	781.2	569.1	0	1	-382.1
Roca 1	8	865.4	653.4	0	1	-424.7
Ambiente	6	883.1	671	0	1	-435.5

Al analizar individualmente la variable Geomorfología (Tabla 11), se observa que la categoría No salar se asocia positivamente a la presencia de nidos, mientras que la categoría de Salar se asocia negativamente, sin embargo, ninguna de estas es estadísticamente significativa ($p > 0.05$). En la Figura 58, se puede observar la alta diferencia que existe entre los nidos que se encuentran en una geomorfología de salar versus una que no sea salar.

TABLA 11. ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LA VARIABLE GEOMORFOLOGÍA CON SUS CATEGORÍAS SALAR Y NO SALAR USADAS EN EL MODELO DE PREFERENCIA DE HÁBITAT.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
No salar	34.57	85.33	0.405	0.685
Salar	-31.63	85.33	-0.371	0.711

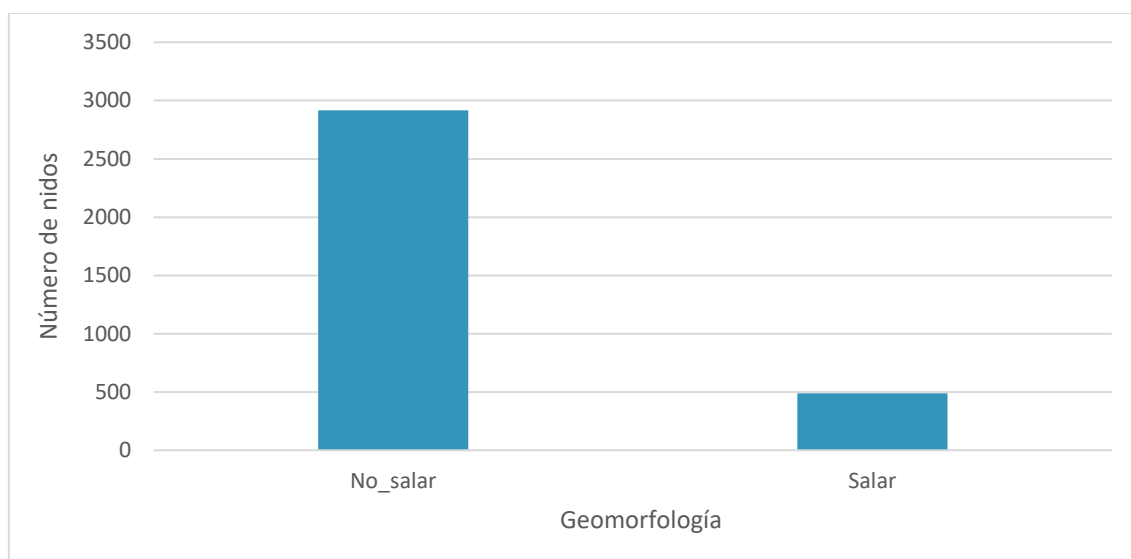


FIGURA 58. DISTRIBUCIÓN DE NIDOS POR CATEGORÍAS PRESENTES EN LA VARIABLE GEOMORFOLOGÍA USADAS EN EL MODELO DE PREFERENCIA DE HÁBITAT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.2.3.2 Escala local

El análisis desarrollado para la predicción de preferencia de hábitat a escala local mostró que el modelo con mejor ranking AIC contiene a las variables Tipo de sustrato y Encostramiento (AIC= 173.5) que se lleva el 53% del peso del modelo (AICcWt= 0.53), seguido por el modelo con la variable Tipo de sustrato (AIC= 173.7) con un peso inferior (AICcWt= 0.47). Entre estos dos modelos se alcanza el 100% del peso del AIC (Tabla 12).

TABLA 12. RANKING AIC PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS (GLMM) PARA ESTIMAR LA PREFERENCIA DE HÁBITAT DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ MEDIANTE VARIABLES AMBIENTALES TOMADAS IN SITU A ESCALA LOCAL.

	K	AICc	Delta_AICc	AICcWt	Cum.Wt	LL
Tipo + Encostramiento	6	173.48	0.00	0.53	0.53	-80.52
Tipo	4	173.74	0.26	0.47	1.00	-82.77
Encostramiento	4	182.91	9.42	0.00	1.00	-87.35
Clase	9	195.87	22.39	0.00	1.00	-88.46
Grado	4	221.41	47.93	0.00	1.00	-106.60
Elevación	3	223.77	50.29	0.00	1.00	-108.82
Exposición ladera	3	224.12	50.64	0.00	1.00	-109.00

Al examinar el análisis individual del modelo que obtuvo el mejor ranking AIC (Tabla 13), se observa que para la variable Tipo de sustrato, las categorías de Tipo de estructura y Tipo placa se asocian positivamente con la presencia de nidos, sin embargo, solo la primera de estas es estadísticamente significativa. Por otro lado, la categoría de sustrato de Tipo granulado resultó asociarse negativamente con la presencia de nidos, siendo estadísticamente significativas. En cuanto a la variable Encostramiento, las categorías de sustrato Moderadamente encostrado y Encostrado son las que se asocian positivamente a la presencia de nidos, ambas resultaron ser estadísticamente significativas. Sin embargo, la categoría de sustrato No encostrado se asoció negativamente con la presencia de nidos, siendo estadísticamente significativa.

TABLA 13. ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LA VARIABLE GEOMORFOLOGÍA CON SUS CATEGORÍAS SALAR Y NO SALAR USADAS EN EL MODELO DE PREFERENCIA DE HÁBITAT.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
No encostrado / Tipo granulado	-39,405	0.8761	-4,498	0.0000068	***
Tipo Estructura	28,995	10,618	2,731	0.00632	**
Tipo Placa	13,728	10,855	1,265	0.20601	
Moderadamente encostrado	20,876	10,582	1,973	0.04853	*
Encostrado	22,815	11,352	2,010	0.04446	*

Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

5.2.4 Delimitación cartográfica de sitios de nidificación

Sobre la delimitación de los sitios de nidificación, se realizó una revisión de los sectores ya descritos, además de los nidos identificados en la región. A lo anterior se trabajó con la información obtenida del modelamiento de datos descrito en el punto anterior, para las variables bioclimáticas y geológicas, incorporando la variable de presión de vapor de agua, junto a la orientación de las laderas. De esta manera se realizó un análisis conjunto de las variables con relación a los sitios existentes, lo que permitió observar los sectores con probabilidad de presentar nidificación de golondrina de mar. Se debe considerar que la delimitación no es definitiva, sino que corresponde a una primera aproximación de nuevos límites y/o sitios propuestos para su revisión, ya que se espera ingresar los datos a recopilar durante los terrenos de seguimiento de nidos para profundizar en las variables y lograr una definición más concisa. En la Figura 59 se observa el resultado preliminar.

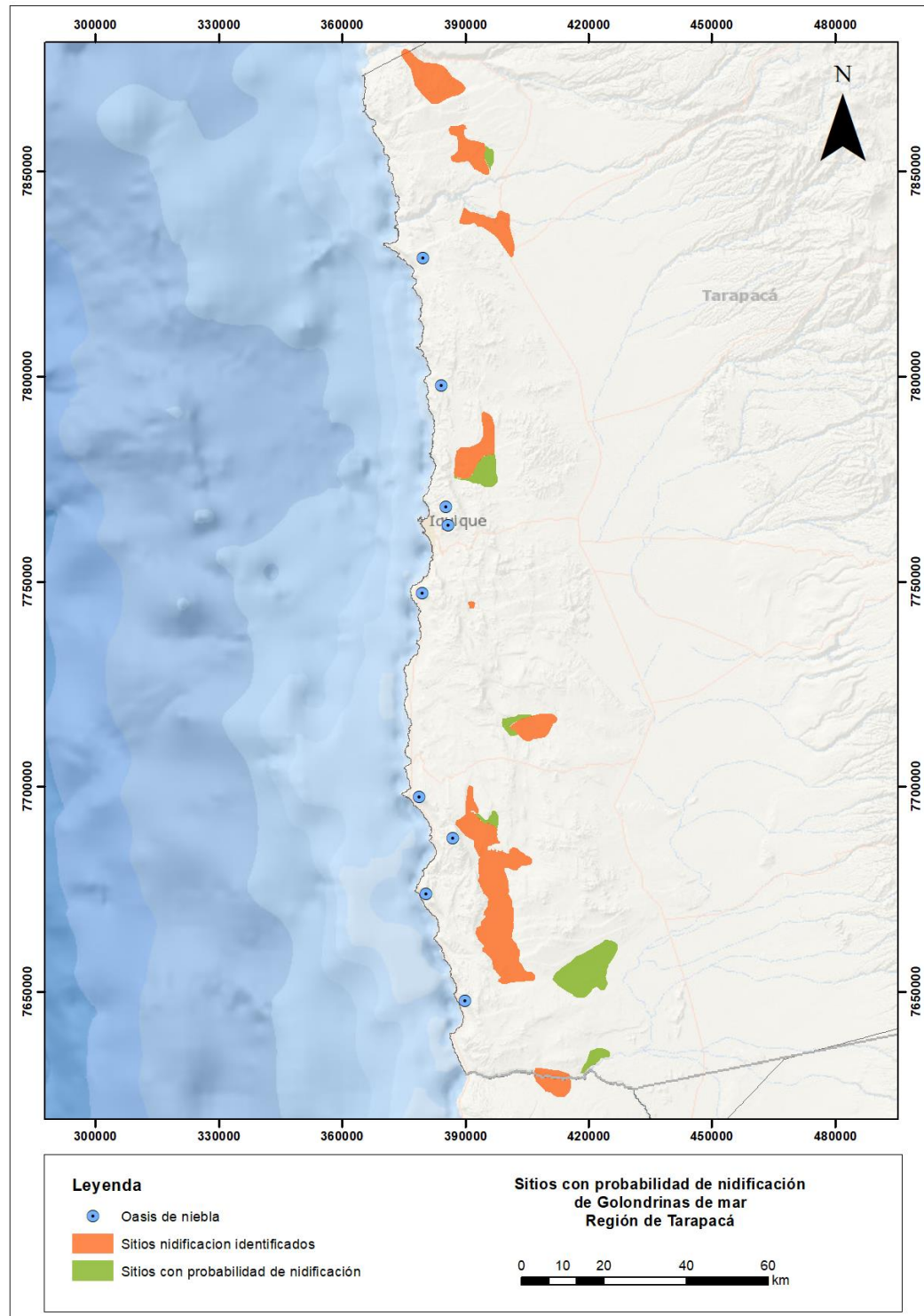


FIGURA 59. SITIOS CON PROBABILIDAD DE NIDIFICACIÓN DE GOLONDRINAS DE MAR EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se observa que los sitios identificados como potenciales nuevas áreas de nidificación se encuentran ampliando la extensión de los polígonos ya descritos, o bien, agregando otros

cercanos a ellos, siempre manteniendo características como geología y geomorfología, sumado al análisis bioclimático y presión vapor de agua.

Sobre el uso de la orientación de laderas, esta fue en primera instancia considerada para apoyar la delimitación de los posibles nuevos sectores de nidificación, sin embargo, se debe considerar que la escala de análisis es mayor, por tanto, deberá ser revisada y comparada con los nidos presentes por sector y los resultantes de las campañas de terreno posteriores a la ejecución de este proyecto.

5.5. Definición de sitios de nidificación

La definición de los sitios de nidificación para un monitoreo exhaustivo se realizó considerando los criterios de análisis a los que fueron sometidos los registros de nidos de golondrinas de mar acumulados en la Región de Tarapacá, se considera que los sitios de mayor importancia para las poblaciones de las especies se ubican en Pampa Perdiz (Caleta Buena) y Salar Grande, con 923 y 2763 nidos respectivamente (Anexo 1). La caracterización de los sitios reproductivos demuestra que ambos sitios poseen una extensión que contiene una alta diversidad de hábitats y tipos de sustratos. A su vez, su ubicación cercana a actividades mineras y de zonas de basurales clandestinos, las dejan especialmente expuestas a los efectos que estas actividades humanas generan. Por tanto, es necesario desarrollar un especial esfuerzo en monitorear exhaustivamente estos sitios, no solo por su importancia ecológica y representatividad, sino por su vulnerabilidad.

5.6. Seguimiento y monitoreo de sitios de nidificación

5.6.1 Seguimiento de nidos

Para el seguimiento de los nidos presentes en los sitios escogidos, correspondientes a Caleta Buena y Salar Grande, y luego de una recopilación de información año 2022 de la ROC, SAG y Norte Andino EIRL, se realizó una selección aleatoria con base en la existencia de nidos. Se estableció como porcentaje representativo el 10% del total de nidos por cada sitio, llevando al seguimiento de 50 nidos en el sitio de Caleta Buena (Pampa Perdiz), y 200 nidos en Salar Grande, lo cual correspondió al último filtro de selección sobre el criterio de representatividad de hábitats para cada sitio; considerando los diferentes sustratos donde se encontraron nidos, además del grado de accesibilidad a dichos sectores lo que permita su constante monitoreo, incluso posterior a esta licitación. En la Figura 60 se observa el total de nidos presentes en Caleta

Buena junto a los nidos seleccionados aleatoriamente para su monitoreo. En el Anexo 2 se presenta el total de nidos monitoreados por cada uno de los sitios.

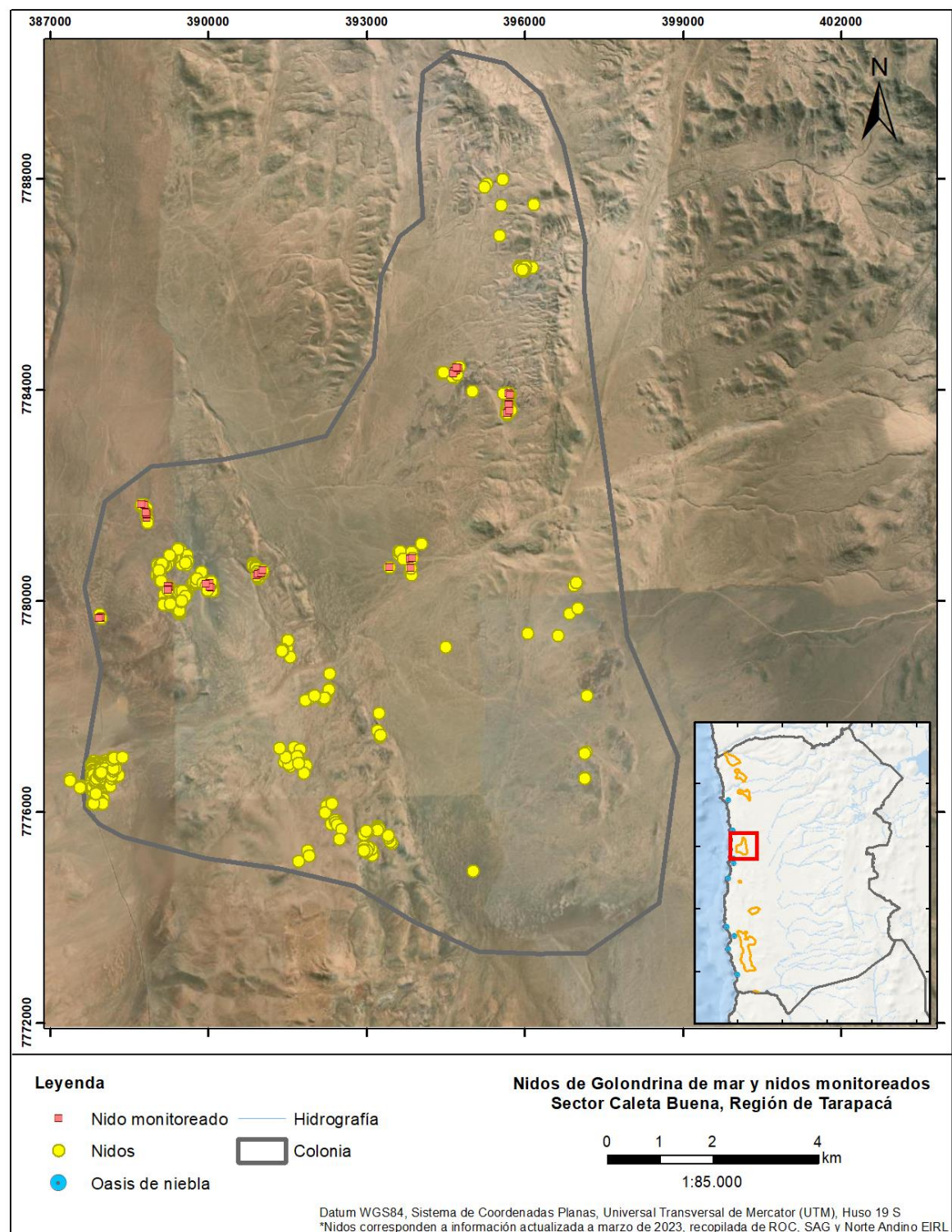


FIGURA 60. NIDOS IDENTIFICADOS DE GOLONDRINA DE MAR Y NIDOS MONITOREADOS EN SECTOR CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En cuanto al estado reproductivo de los nidos seleccionados se puede observar que para el sitio de Caleta Buena (Pampa Perdiz) los primeros individuos adultos fueron reportados por cámaras trampa el 24 de agosto de 2022 en adelante (Figura 61). Para el inicio del periodo de visitas a terreno, en septiembre de 2022, el 40% de los nidos muestreados se encontraban con un adulto en su interior (Figura 62). Los primeros nidos con huevos fueron registrados en el mes de noviembre, sin embargo, el máximo valor fue reportado en el mes de noviembre (43% de los nidos muestreados). A pesar de que los primeros pollos fueron reportados a inicios de la temporada reproductiva (Figura 63), el máximo número de nidos con crías fue observado en el mes de febrero (53% de los nidos muestreados). Finalmente, las crías como volantones fueron reportadas solo para el mes de marzo (12% de los nidos muestreados), lo cual puede responder a su mayor capacidad de movilidad dentro del nido.



FIGURA 61. REGISTRO DE CÁMARA TRAMPA DONDE SE OBSERVA UN ADULTO DE GOLONDRINA DE MAR NEGRA (*H. MARKHAMI*) AFUERA DE UN NIDO EN EL SITIO DE REPRODUCCIÓN DE CALETA BUENA (PAMPA PERDIZ) EL 24 DE AGOSTO DE 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

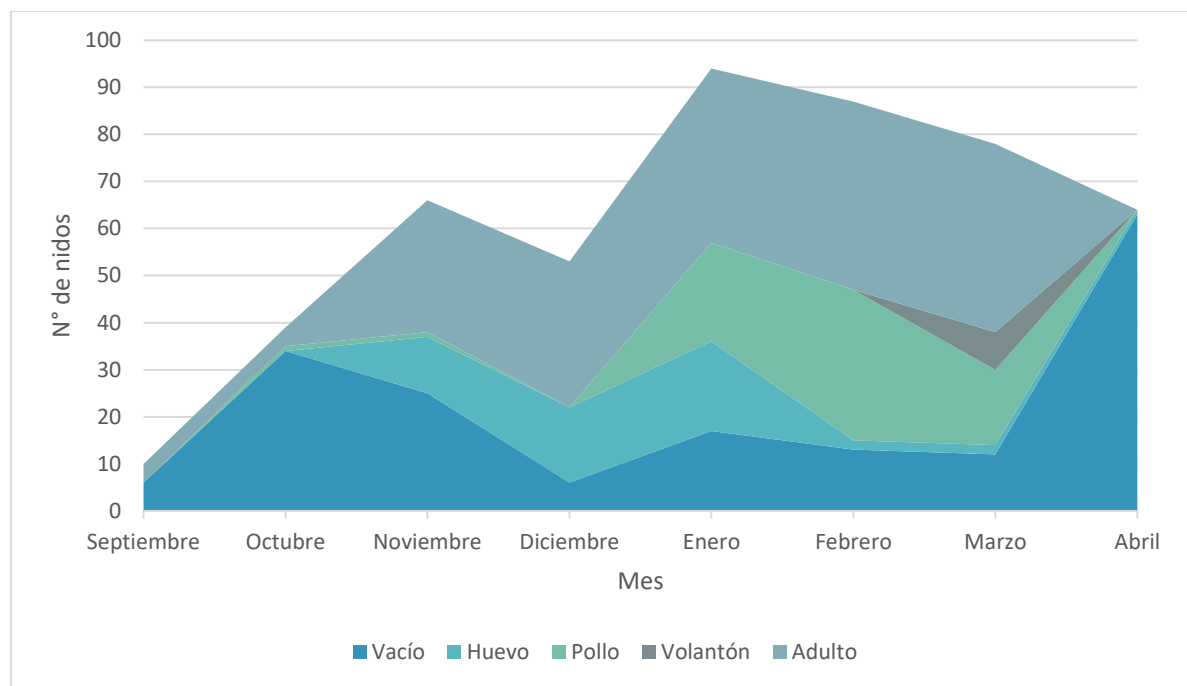


FIGURA 62. ESTADO FENOLÓGICO DE LOS NIDOS REGISTRADOS EN EL SITIO DE REPRODUCCIÓN DE CALETA BUENA ENTRE LOS MESES DE SEPTIEMBRE DE 2022 Y ABRIL DE 2023. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 63. CRÍA EN NIDO DE GOLONDRINA DE MAR REGISTRADO EN EL MES DE NOVIEMBRE EN EL SITIO DE REPRODUCCIÓN DE CALETA BUENA (PAMPA PERDIZ) EL 11 DE SEPTIEMBRE DE 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Mientras, en la Figura 64 se presenta el total de nidos presentes en Salar Grande junto a los nidos seleccionados aleatoriamente para su monitoreo. En el Anexo 2 y 3 se presenta el total de nidos monitoreados por cada uno de los sitios.

Con base en los 200 nidos marcados y monitoreados en la colonia reproductiva de Salar Grande, se observa la presencia de adultos al interior de las cavidades desde inicios de septiembre (Figura 65 y 66), cuando se comenzó a monitorear el sitio. A partir del mes de diciembre se comienzan a reportar huevos al interior de los nidos (entre 1 y 2 huevos por nido), alcanzando su máximo en el mes de enero (38% de los nidos muestreados). Por otro lado, las crías se observan a partir del mes de diciembre, sin embargo, es durante el mes de febrero de 2023 donde se pudo observar la mayor cantidad de crías al interior de los nidos (55% de los nidos muestreados). Finalmente, el número de volantones comienza a aumentar desde el mes de febrero, alcanzando su máximo en el mes de marzo (19% de los nidos muestreados).

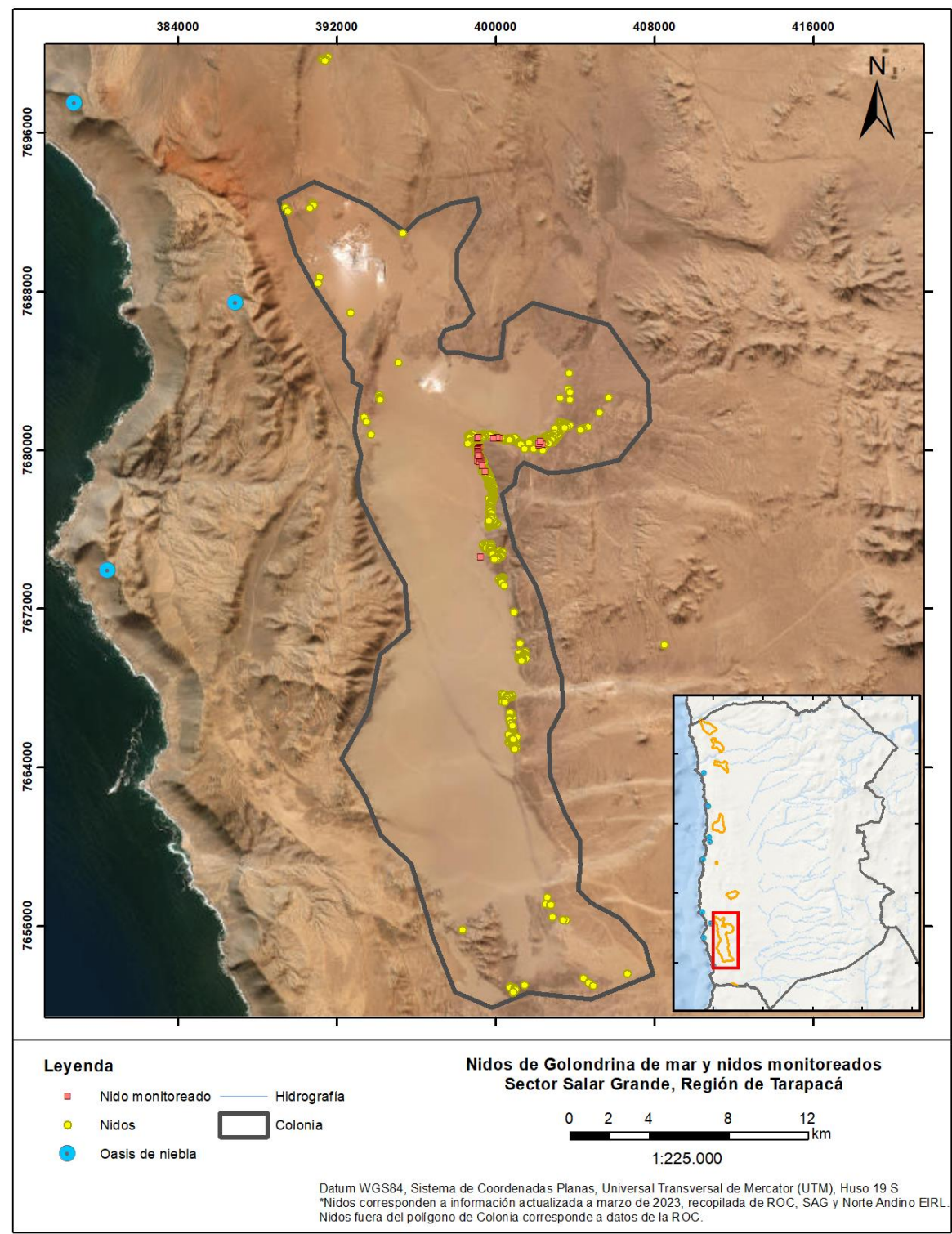


FIGURA 64. NIDOS IDENTIFICADOS DE GOLONDRINA DE MAR Y NIDOS MONITOREADOS EN SECTOR SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

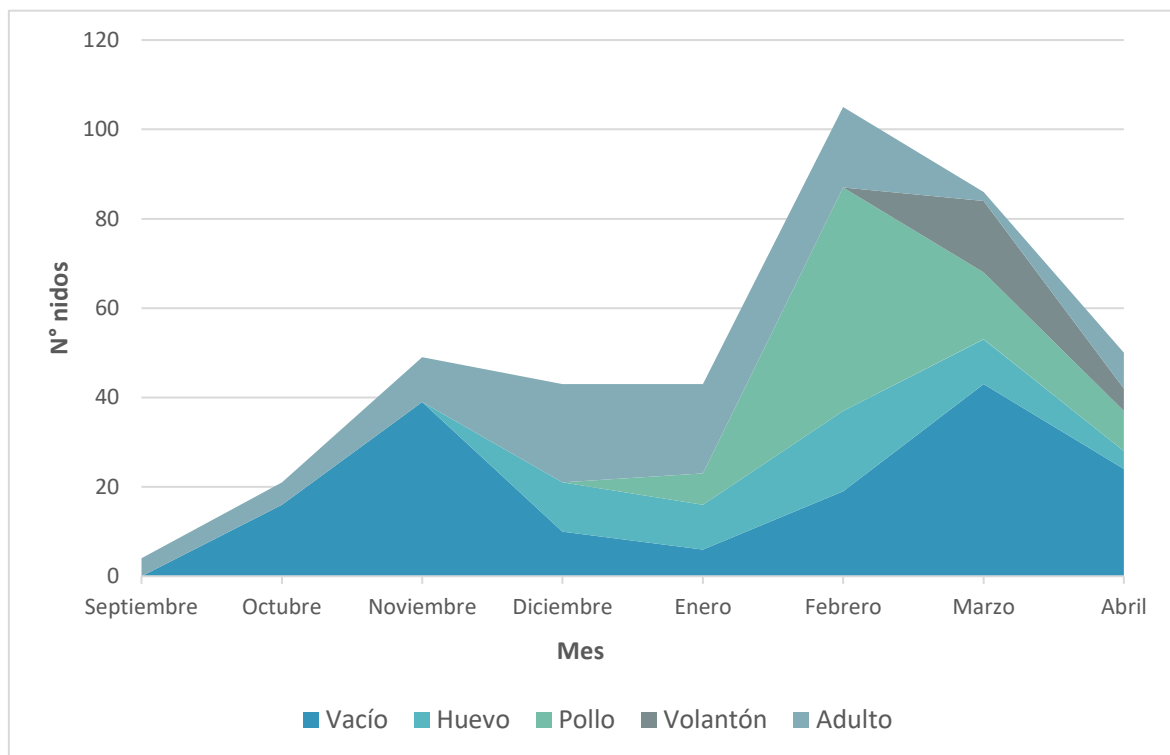


FIGURA 65. ESTADO FENOLÓGICO DE LOS NIDOS REGISTRADOS EN EL SITIO DE REPRODUCCIÓN DE SALAR GRANDE ENTRE LOS MESES DE SEPTIEMBRE DE 2022 Y ABRIL DE 2023. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 66. NIDO REPORTADO EN CALETA BUENA (PAMPA PERDIZ) DONDE SE PUDO COMPROBAR ACTIVIDAD REPRODUCTIVA CON LA PRESENCIA DE UNA PAREJA REPRODUCTIVA DE GOLONDRINA DE MAR NEGRA (*H. MARKHAMI*) AL INTERIOR DEL NIDO EL 21 DE OCTUBRE DE 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.6.2 Marcaje y evaluación de reutilización de nidos

5.6.2.1. Marcaje de nidos

Con relación al marcaje de nidos para el sitio de nidificación en Caleta Buena se logró la instalación de placas de aluminio con códigos alfanuméricos en los 68 nidos correspondientes al 10% de los nidos registrados en esa colonia reproductiva (Figura 67 y 68). En el Anexo 2 se presentan las coordenadas de los nidos que cuentan con placas instaladas; lo cual también se puede observar espacialmente en la Figura 69, donde se muestran los nidos que están siendo monitoreados y que se encuentran marcados con placa alfanumérica (en color rojo) y los que han sido monitoreados, pero que no cuentan con placa alfanumérica (en color violeta).



FIGURA 67. CÓDIGO ALFANUMÉRICO GRABADO EN PLACAS DE ALUMINIO PARA EL MARCAJE DE NIDOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 68. VISTA FINAL DEL MARCAJE DE NIDOS INSTALADOS EN SALAR GRANDE, PAMPA HERMOSA Y CALETA BUENA.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

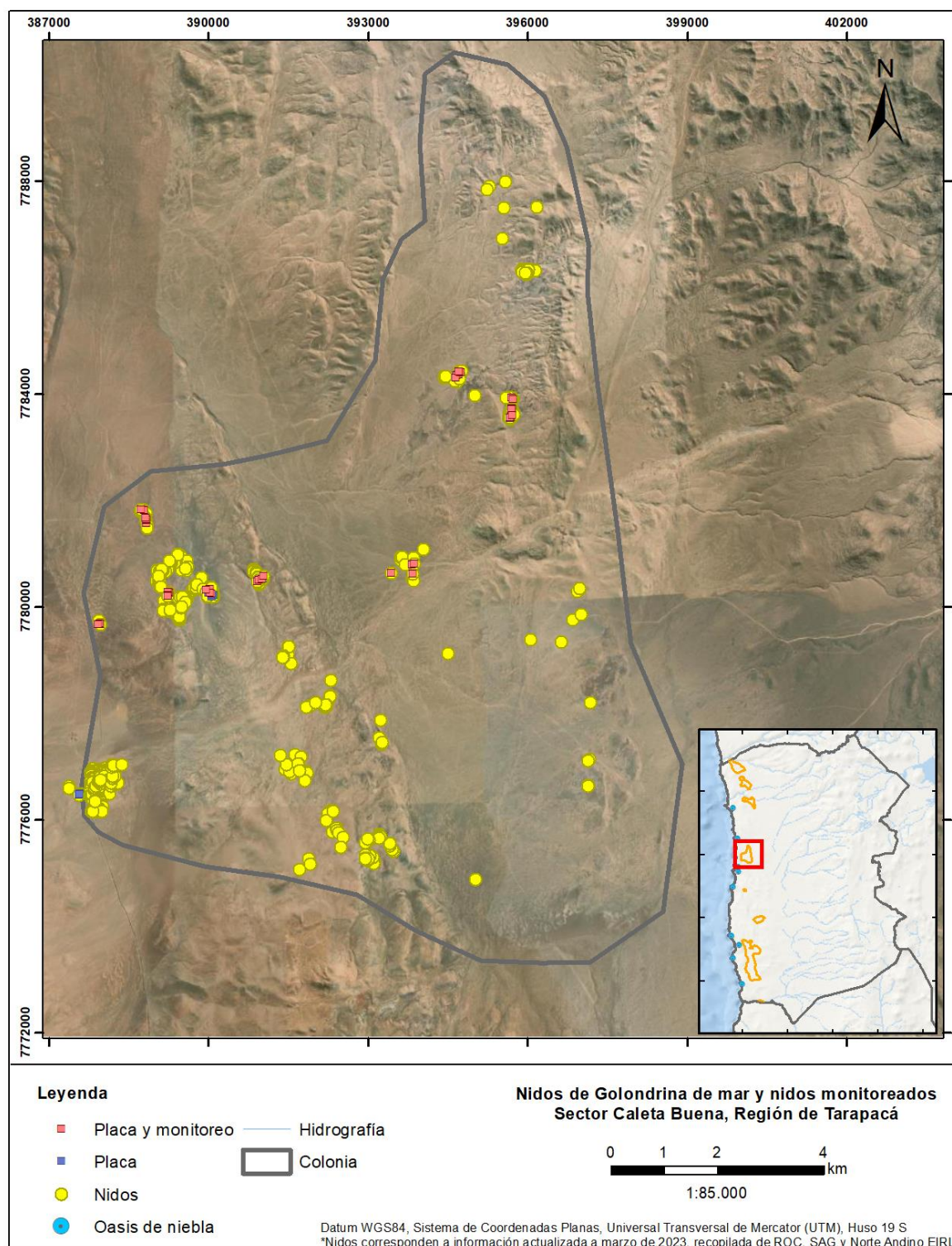


FIGURA 69. NIDOS MONITOREADOS Y NIDOS CON PLACA IDENTIFICATORIA INSTALADA EN SECTOR CALETA BUENA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para el sitio de nidificación de Salar Grande, se logró la instalación de las 200 placas con código alfanumérico, en Anexo 2 y 3 se presentan las coordenadas de los nidos que cuentan con dicha

identificación; mientras, en la Figura 70 se presentan los nidos con placa instalada que al mismo tiempo corresponden a los monitoreados, en color violeta.

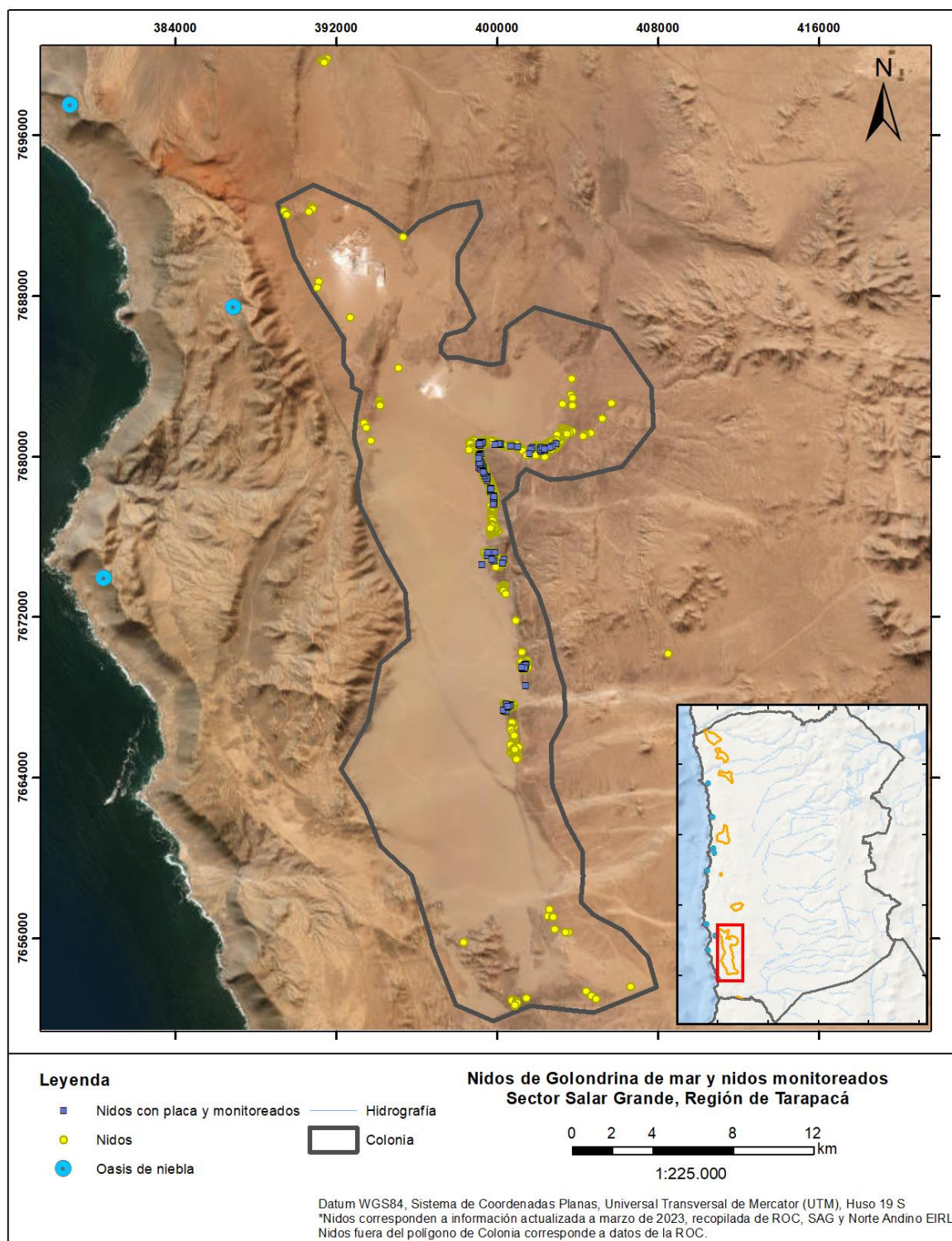


FIGURA 70. NIDOS MONITOREADOS Y NIDOS CON PLACA IDENTIFICATORIA INSTALADA EN SECTOR SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Finalmente, y según lo acordado con la contraparte, el durante el mes de noviembre se realizó un primer monitoreo en el sector de Pampa Hermosa, con la finalidad de revisar la reutilización de nidos e incluir en el marcaje y seguimiento a otras especies de golondrinas de mar. En la Anexo 2 y 3 se presentan las coordenadas de los nidos visitados, y en la Figura 71 se observa su localización espacial.

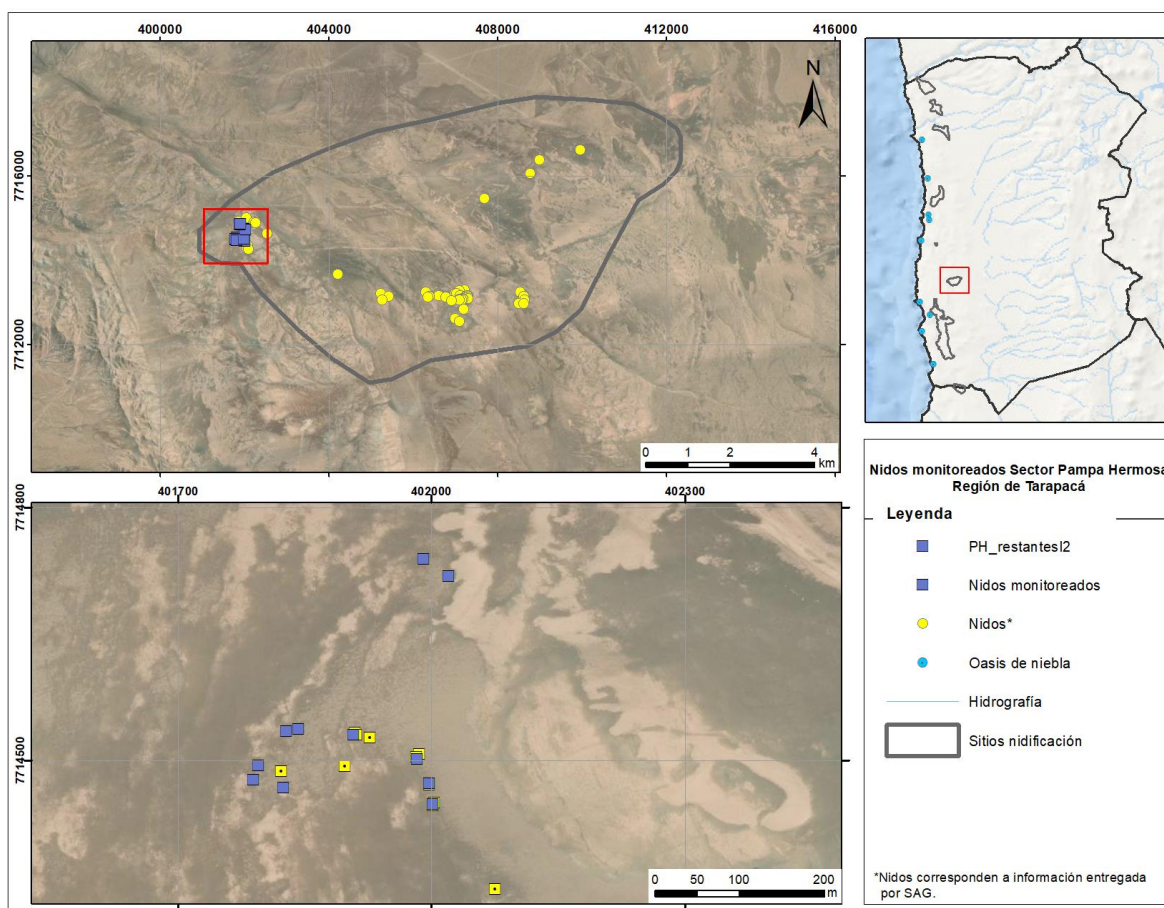


FIGURA 71. NIDOS REVISADOS EN SECTOR PAMPA HERMOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.6.2.2. Reutilización de nidos

El monitoreo de nidos en el sector de Caleta Buena ha mostrado que el porcentaje de ocupación ha aumentado desde el inicio en el mes de septiembre de las campañas de terreno. En cuanto al avance del porcentaje de ocupación mensual de nidos, se puede observar que este aumenta sostenidamente hasta alcanzar sus valores máximos entre diciembre y marzo (Figura 72), con valores entre 86% y 82% de ocupación en estos meses. Por otro lado, se reporta una ocupación del 100% de los nidos para esta temporada reproductiva (2022-2023), en referencia a la temporada anterior (2021-2022).

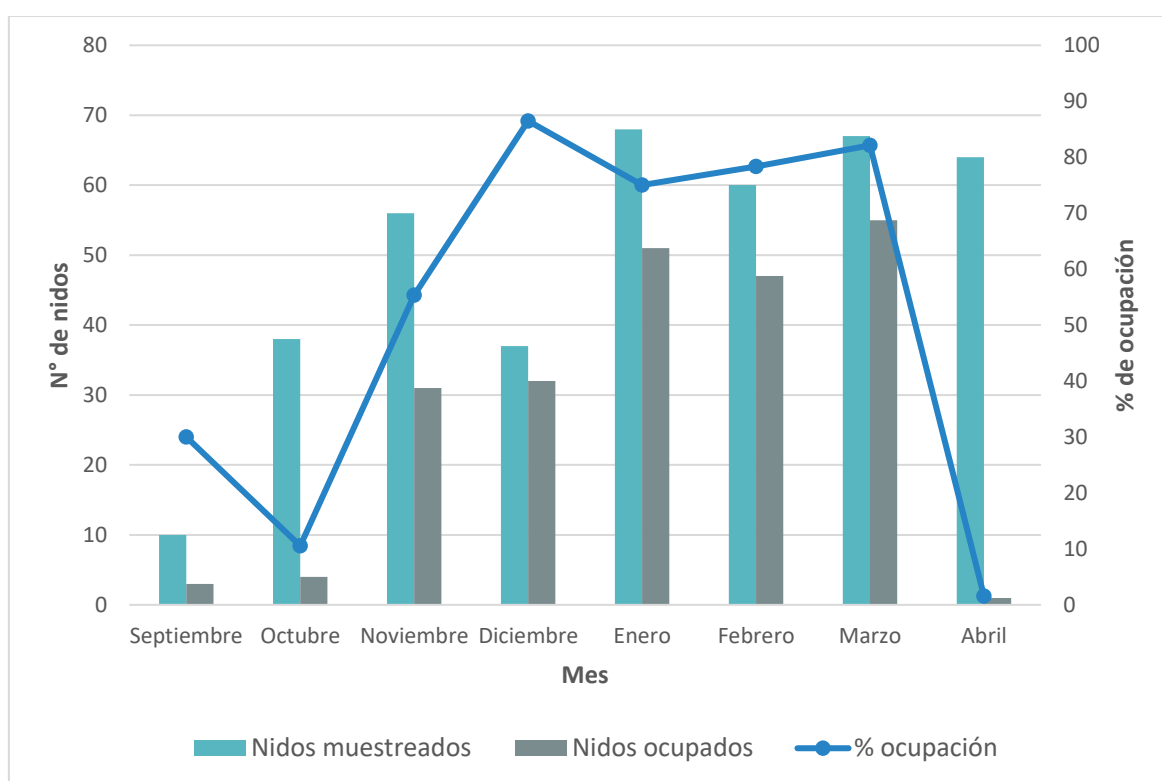


FIGURA 72. NÚMERO Y PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DE NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR EN EL SITIO REPRODUCTIVO DE CALETA BUENA ENTRE LOS MESES DE SEPTIEMBRE DE 2022 A ABRIL 2023. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En el sitio de nidificación de Salar Grande se observa que el porcentaje mensual de ocupación de nidos comienza a aumentar desde el mes de diciembre con un 70% de ocupación (Figura 73), hasta febrero con un 80% de ocupación. Sin embargo, la ocupación se mantiene alta hasta la última campaña de terreno realizada (26-28 abril; Tabla 6). En cuanto al porcentaje de ocupación, se registra un valor del 96% para esta temporada reproductiva (2022-2023), en referencia a la temporada anterior (2021-2022).

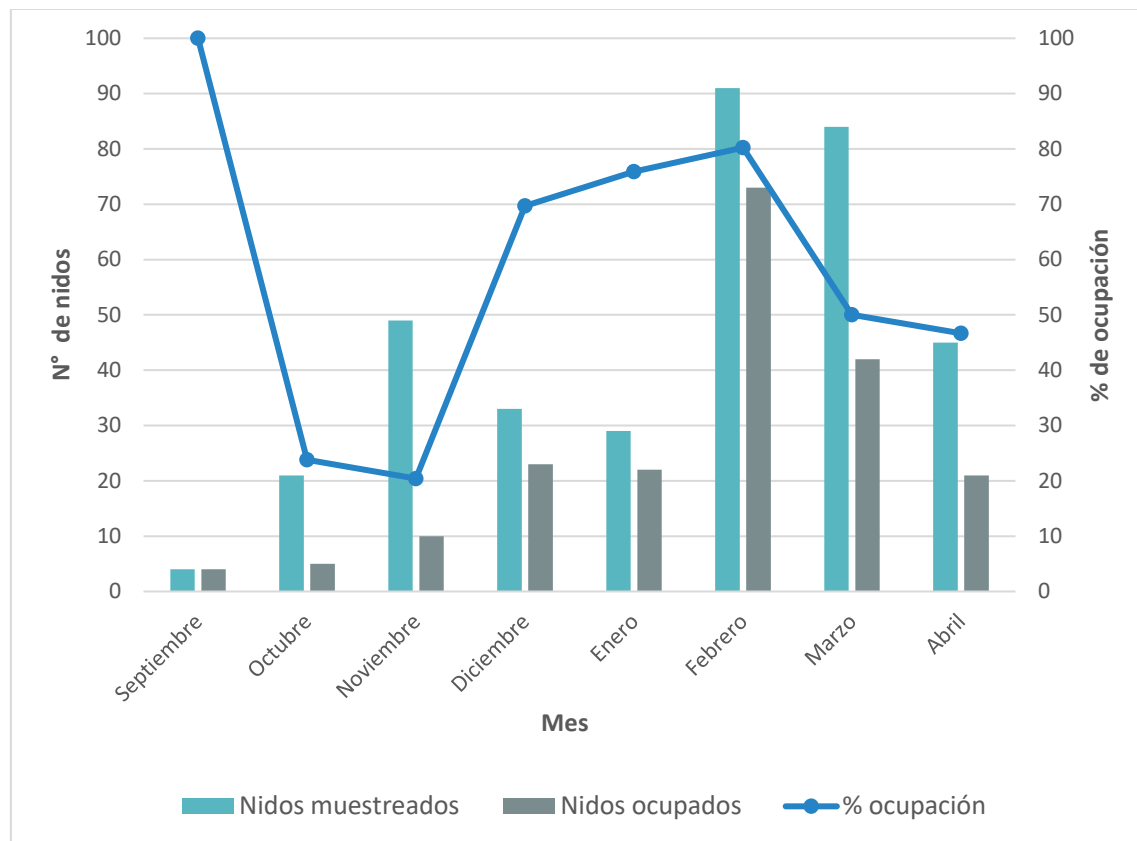


FIGURA 73. NÚMERO Y PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DE NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR EN EL SITIO REPRODUCTIVO DE SALAR GRANDE ENTRE LOS MESES DE SEPTIEMBRE DE 2022 A ABRIL 2023. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.6.3 Actualización del calendario de nidificación y actividad diaria de la golondrina de mar negra (*H. markhami*)

Con base en los resultados obtenidos de los monitoreos a las colonias reproductivas de Caleta Buena y Salar grande para la especie golondrina de mar negra (*H. Markhami*), y en complemento con lo señalado en la literatura, se propone una actualización al calendario reproductivo de la especie para la zona (Figura 74). Según lo propuesto, se extiende el inicio de la temporada reproductiva entre agosto, con la llegada de adultos a las cavidades (periodo pre-reproductivo), hasta el mes de junio cuando los últimos volantones emprenden su vuelo al mar (periodo post-reproductivo). También se amplía el periodo de postura de huevos y cuidado de crías, adelantándose para el mes de octubre y hasta finales de abril. Finalmente, siguiendo los reportes de SAG Tarapacá y lo descrito por Medrano et al., (2019), se considera que el inicio de la migración de adultos y volantones hacia el océano comienza a finales del mes de febrero y se extiende hasta el mes de junio.

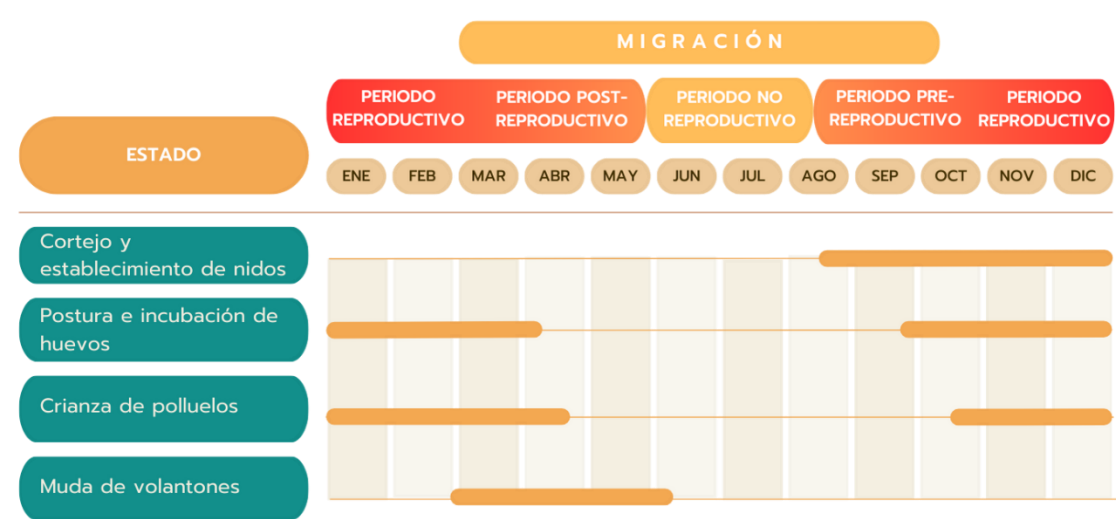


FIGURA 74. CALENDARIO REPRODUCTIVO DE GOLONDRINA DE MAR NEGRA (*H. MARKHAMI*) EN LA ZONA SUR DE SU DISTRIBUCIÓN, CORRESPONDIENTE A LOS SITIOS DE NIDIFICACIÓN DE CALETA BUENA Y SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Asimismo, y según los resultados del registro de cámaras trampa correspondiente a cinco sitios de nidificación (Quiuña, Chiza, Caleta Buena, Pampa Hermosa y Salar Grande), donde se analizaron 695 registros de video y fotografía; se generó un cronograma con el registro de actividad diaria de la especie, observándose que la mayor parte de los registros detectados por cámaras trampa ocurrieron durante las horas de la noche y madrugada, entre las 20 y 05 horas (Figura 75).

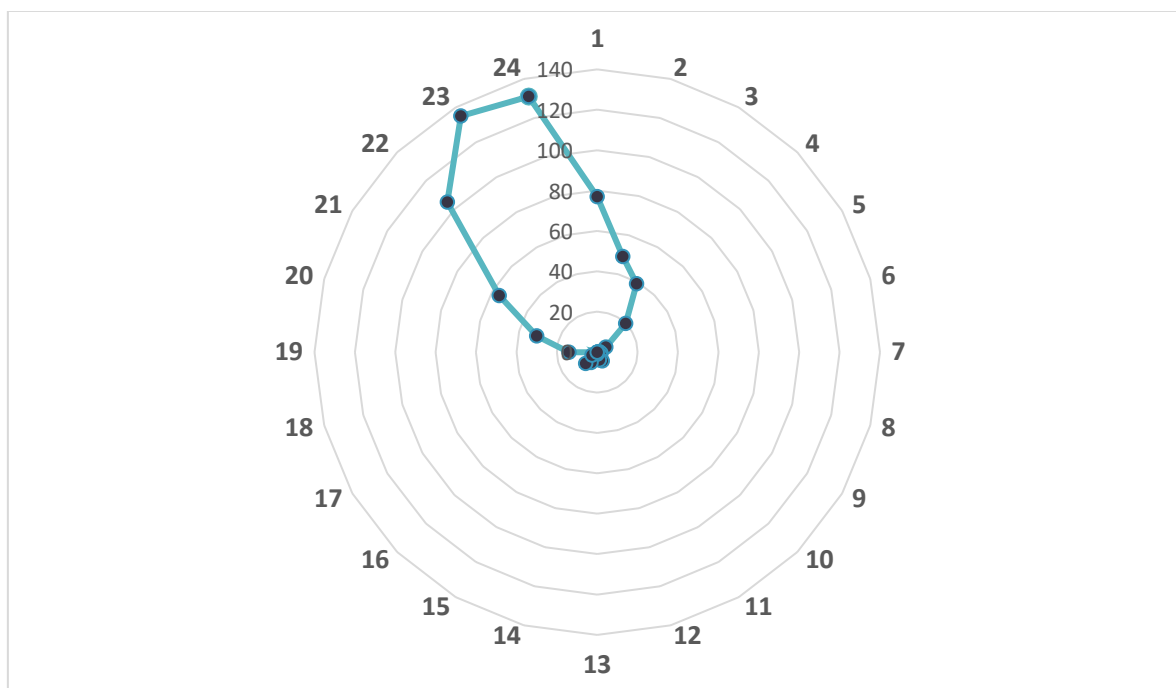


FIGURA 75. CRONOLOGÍA DE ACTIVIDAD DE LA GOLONDRINA DE MAR NEGRA (*H. MARKHAMII*) EN BASE A LOS REGISTROS DE CÁMARA TRAMPA. LOS VALORES CORRESPONDEN A NÚMEROS DE REGISTROS (VIDEO O FOTOGRAFÍA). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.7 Amenazas en sitios de nidificación de golondrinas de mar

5.7.1. Identificación y Cuantificación de impactos de principales amenazas

Luminosidad Artificial

La contaminación lumínica es la alteración de los niveles de luz natural debido a la introducción de iluminación artificial en el entorno (Cinzano et al., 2001). De acuerdo con esta definición, cualquier fuente de luz artificial durante la noche contribuye a la contaminación lumínica. A nivel global, la Alteración de la Luz Artificial Nocturna (ALAN, por sus siglas en inglés) se distribuye principalmente en áreas urbanas y rurales (Falchi et al., 2016). Sin embargo, también se utilizan luces artificiales en entornos marinos, como embarcaciones, plataformas, puertos y faros (Davies et al., 2014). Como resultado, las aves marinas a menudo se ven expuestas a luces artificiales tanto en áreas costeras como en alta mar.

Las aves marinas según Dias et al. (2019), representan el grupo de aves más vulnerable, las cuáles desempeñan roles vitales en los procesos ecológicos de los hábitats costeros, incluyendo la regulación trófica, el transporte de nutrientes y la formación de la comunidad (Graham et al., 2018). Dado el papel integral que desempeñan en los ecosistemas, las aves marinas se utilizan con frecuencia como indicadores de los impactos ambientales causados por actividades

antropogénicas, tanto en tierra como en el mar (Henny et al., 1982; Cifuentes et al., 2003; Votier et al., 2011; Voulgaris, 2017; Ryan, 2018; Thushari & Senevirathna, 2020; Bianchini et al., 2022).

Las luces artificiales pueden afectar a especies de aves marinas diurnas y nocturnas al extender la exposición lumínica durante las horas nocturnas. La interrupción de los patrones de luz natural debido a la contaminación lumínica tiene numerosos impactos biológicos en las aves marinas, tanto a nivel individual, poblacional como de especie (Montevecchi, 2006). Desde una perspectiva de conservación, el efecto más perjudicial de la iluminación artificial en las aves marinas es la ocurrencia de eventos masivos de mortalidad (Rodríguez et al., 2017c) atrayéndolas y desorientándolas durante sus desplazamientos entre colonias y zonas de alimentación (Montevecchi, 2006; Troy et al., 2013; Rodríguez et al., 2017b).

El fenómeno conocido como *fallout* se refiere a la atracción de las aves marinas hacia la Alteración de la Luz Artificial Nocturna (ALAN), lo que provoca desorientación y las lleva a aterrizar (Telfer et al., 1987). Este efecto afecta principalmente a las aves jóvenes durante sus vuelos de iniciación desde sus nidos hasta el océano, aunque los adultos también pueden verse involucrados (Le Corre et al., 2002; Rodríguez y Rodríguez, 2009). Durante estos vuelos, las aves son atraídas o desorientadas por las luces artificiales, lo que puede resultar en colisiones con estructuras antropogénicas, como lámparas, cables eléctricos, casas e incluso el suelo, o pueden volar en círculos hasta agotarse y caer. Si sobreviven a estas colisiones y aterrizan en tierra, se vuelven vulnerables a otras amenazas, como la depredación por especies introducidas y animales domésticos y salvajes (como gatos o perros), colisiones con vehículos, deshidratación, inanición o incluso la caza furtiva para consumo humano (Deppe et al., 2017; Rodríguez et al., 2012c, 2014, 2017c). Por esta razón, se llevan a cabo campañas de rescate en numerosos sitios alrededor del mundo con el objetivo de minimizar el impacto de *fallout*. Sin estas acciones, se estima que las aves en tierra morirían, ya que no lograrían encontrar el océano (Le Corre et al., 2002).

Las razones exactas de la atracción de las aves marinas jóvenes hacia las luces artificiales aún no están completamente comprendidas, se han propuesto al menos cuatro hipótesis que no son excluyentes entre sí. En primer lugar, se ha sugerido que los polluelos inexpertos podrían confundir la luz artificial con presas bioluminiscentes naturales (Imber, 1975). En segundo lugar, se ha planteado la posibilidad de que los polluelos asocien la luz con la comida, ya que durante su etapa de desarrollo dependen del alimento que les proporcionan los padres en la entrada de la madriguera (D. Ainley, com. pers. en Rodríguez et al., 2017c). En tercer lugar, se ha propuesto que la Alteración de la Luz Artificial Nocturna (ALAN) podría interferir con las señales visuales

provenientes de fuentes de luz natural, como la luna, las estrellas o incluso la luz reflejada en la superficie del mar (Telfer et al., 1987). Por último, se ha planteado que la falta de entrenamiento y los sistemas visuales subdesarrollados, combinados con la inexperiencia conductual inherente a los polluelos durante su período de plumaje, podrían influir en las consecuencias de su comportamiento (Atchoi et al., 2020).

Dado que algunas de estas hipótesis están relacionadas con la alimentación, se sugiere que la atracción de las aves marinas jóvenes hacia las luces artificiales puede estar influenciada por la asociación de la luz con la disponibilidad de alimento en su etapa de desarrollo. Debido a la relación propuesta entre la atracción de las aves marinas jóvenes hacia las luces artificiales y la comida, se podría esperar que los individuos que no logran llegar al océano presenten un peor estado corporal debido al hambre en comparación con aquellos que tienen éxito en su migración. Sin embargo, estudios han encontrado que los individuos que quedan varados en tierra ligera no parecen estar en desventaja en términos de su condición corporal en comparación con aquellos que son capturados en la colonia en la misma noche (Rodríguez et al., 2017c).

Además, se ha observado que la condición corporal no difiere entre las aves marinas admitidas con vida y las que son encontradas muertas durante las campañas de rescate (Cuesta-García et al., 2021). Aunque se ha encontrado que la probabilidad de ser encontrado muerto aumenta con la fecha de rescate (Rodríguez et al., 2012c). Sin embargo, se ha registrado una clara disminución en la condición corporal a medida que avanza la temporada de rescate en varias especies, como la Pardela cenicienta (*Calonectris borealis*) (Cuesta-García et al., 2021), la Pardela cenicienta (*C. diomedea*), la Pardela balear (*Puffinus mauretanicus*) (Rodríguez et al., 2015b), la Pardela Cola corta (*Ardenna tenuirostris*) (Rodríguez et al., 2017b), y el Frailecillo atlántico (*Fratercula arctica*) (Wilhelm et al., 2013).

Estos hallazgos sugieren que la condición corporal de las aves marinas varadas no necesariamente está relacionada con su capacidad de alcanzar el océano, y que la fecha de rescate puede ser un factor determinante en su supervivencia y estado físico.

Los efectos de los *fallout* están influenciados principalmente por tres factores: el tamaño de la población reproductora, el éxito reproductivo en términos de crías, y la distancia entre las fuentes de luz y las áreas de anidación, así como la intensidad de la contaminación lumínica. Los registros de aves rescatadas ilustran la magnitud de estos fenómenos. Por ejemplo, en una sola temporada, se han rescatado más de mil fardelas de Newell (*P. newelli*) en Kauaʻi, Hawaiʻi (Raine

et al., 2017). Estos ejemplos demuestran que las poblaciones reproductoras relativamente grandes son especialmente susceptibles.

Es importante destacar que el número de aves rescatadas es menor que el número de aves que quedan atrapadas por las luces, ya que aproximadamente el 40% de las aves nunca son encontradas (Ainley et al., 2001; Podolsky et al., 1998; Rodríguez et al., 2014, 2017c), lo que implica que la cifra real es aún mayor. La distancia entre las fuentes de contaminación lumínica y las áreas de anidación también influye en la magnitud de los *fallout*. Se han registrado altos números de polluelos varados en las proximidades de sus áreas de anidación, a pesar de que las colonias no son las zonas con mayor contaminación lumínica (Rodríguez et al., 2012; Rodríguez y Rodríguez, 2009; Rodríguez et al., 2014; Troy et al., 2011, 2013). De hecho, los vuelos iniciales y experimentales rastreados con dispositivos GPS indican que los polluelos de pardela de Cory pueden ser atraídos a distancias de hasta 16 km desde su nido hasta los sitios de varado (Rodríguez et al., 2015a).

Estos hallazgos revelan la importancia tanto del tamaño de la población reproductora como de la distancia entre las fuentes de luz y las áreas de anidación en la magnitud de los *fallout*. Además, destacan la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor los patrones y factores que contribuyen a este fenómeno.

A pesar de los factores principales mencionados anteriormente, existen otros que regulan la magnitud de los *fallout* de aves, ya sea a diario o a lo largo del año. Uno de los primeros impulsores observados de su magnitud es el ciclo lunar. Durante las noches de luna llena, son pocas las aves que se posan en la luz (Le Corre et al., 2002; Miles et al., 2010; Rodríguez y Rodríguez, 2009; Rodríguez et al., 2014; Sípósz et al., 2018; Telfer et al., 1987). De hecho, las variaciones anuales en el número de aves rescatadas se explican principalmente por la coincidencia de la luna llena con el pico de vuelo de los polluelos. Los años en los que la luna llena coincide con el pico de vuelo se caracterizan por tener un menor número de aves en tierra (Ainley et al., 2001; Friswold et al., 2020; Rodríguez et al., 2012b). Se ha planteado que los mayores niveles de luz ambiental durante las noches de luna llena, que pueden disminuir la visibilidad de las fuentes de contaminación lumínica, podrían explicar el efecto del ciclo lunar en los *fallout*. Además, los polluelos inexpertos podrían utilizar la luna como una señal de orientación durante sus primeros vuelos hacia el océano (Telfer et al., 1987).

Otro factor de importancia es el clima, se ha observado que los números de *fallout* aumentan en condiciones climáticas adversas como la presencia de niebla, lluvia y viento (Rodríguez et al., 2014; Sípósz et al., 2018; Telfer et al., 1987). La niebla y la lluvia pueden intensificar la dispersión

de la luz en el aire, lo que a su vez aumenta los niveles de contaminación lumínica (Kyba et al., 2011) y dificulta la visibilidad, facilitando las colisiones entre las aves marinas y las estructuras antropogénicas. Los vientos fuertes pueden incrementar el número de posibles víctimas, ya que muchos polluelos de aves marinas necesitan el impulso del viento para iniciar sus vuelos iniciales. Además, las fuertes corrientes de aire dificultan la maniobrabilidad durante los vuelos, lo que conlleva un mayor riesgo de colisión. Estos factores adicionales, el ciclo lunar y las condiciones climáticas, desempeñan un papel significativo en la magnitud de los *fallout* de aves marinas. Comprender la interacción de estos factores con los aspectos principales del tamaño de la población reproductora, la distancia a las fuentes de luz y la intensidad de la contaminación lumínica es fundamental para abordar de manera efectiva la conservación de las aves marinas y mitigar los impactos negativos de estos eventos.

En los últimos años, la región de Tarapacá ha experimentado un significativo aumento en la urbanización y ampliación de proyectos extractivos, así como en la preocupación por la seguridad. Este crecimiento ha llevado a un incremento en la instalación de luminarias LED en la zona, lo cual ha contribuido a mejorar la eficiencia energética y la calidad de la iluminación en la región. A finales del año 2018, las autoridades municipales comenzaron un importante recambio de 12,167 luminarias convencionales por tecnología LED en diferentes lugares de la comuna. Es importante considerar que muchas de estas luminarias se mantienen encendidas durante toda la noche, sin regulación, lo que ha generado problemas de contaminación lumínica pudiendo afectar a las especies locales, como la golondrina de mar, durante su periodo reproductivo. Se ha observado un aumento en el número de volantones rescatados años tras año, y esto podría estar relacionado con la forma en que se ilumina la zona.

Como resultado del recambio de luminarias LED, se observó un aumento considerable de las emisiones, que se sumaron a las luminarias comerciales instaladas previamente por privados. El “*New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness*” (Falchi et al. 2016) muestra la luminosidad artificial en diferentes lugares de la Región de Tarapacá mediante el Radiómetro de Imágenes Infrarrojas Visibles (VIIRS-NASA), observándose puntos de alta contaminación lumínica en ciudades, borde costero y proyectos mineros (Figura 76) que podrían estar relacionados con sitios de alta frecuencia de *fallout* de golondrinas de mar. Otro ejemplo relevante es la iluminación del borde costero de Iquique (Figura 77), que podría estar afectando de manera relevante los vuelos de golondrinas de mar. No menos importante, es lo que ocurre con la expansión urbana en la comuna de Alto Hospicio, donde también se observa un aumento en la contaminación lumínica en los accesos de la ciudad.

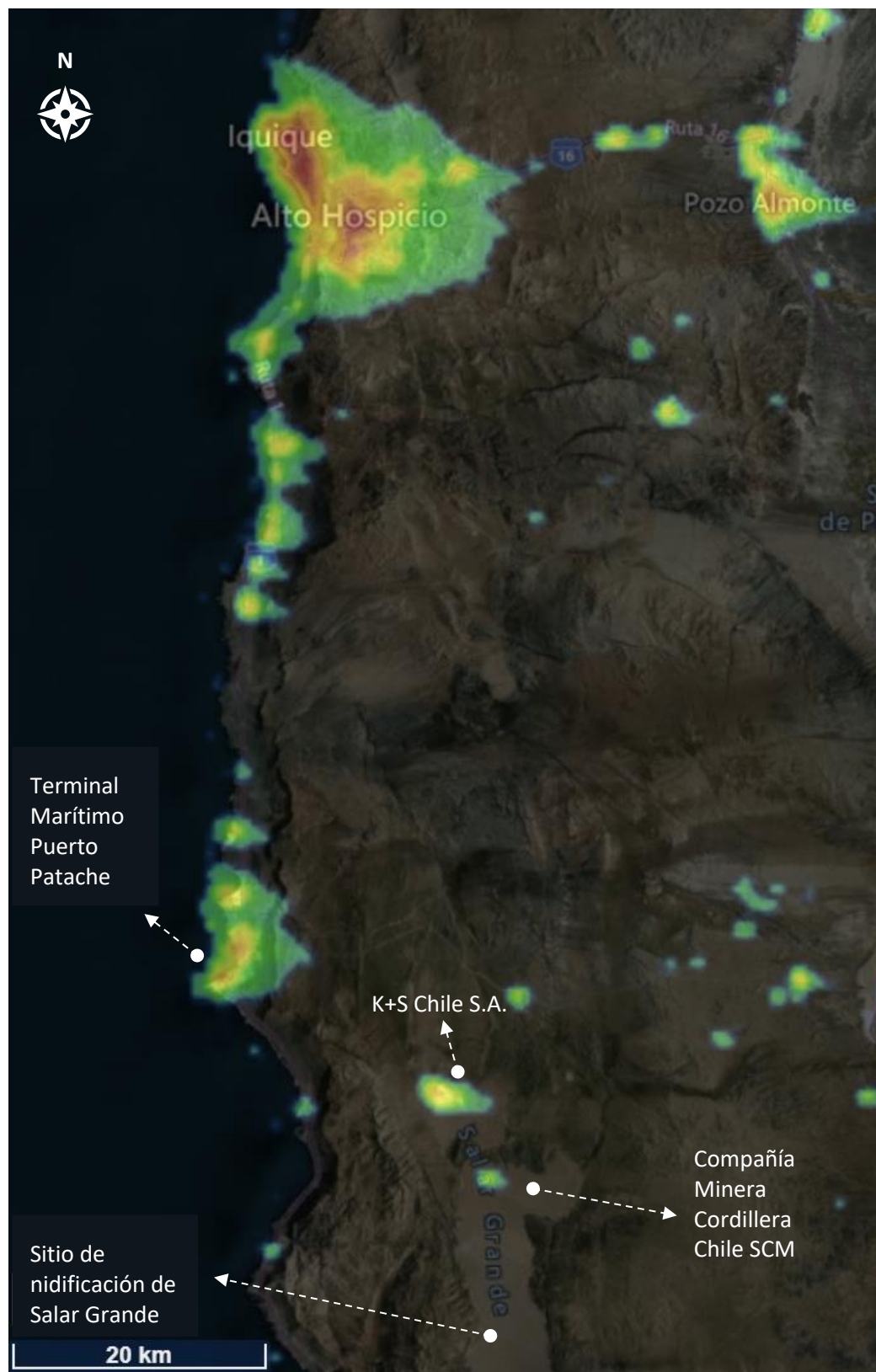


FIGURA 76. VARIACIÓN DE LA LUMINOSIDAD ARTIFICIAL EN DIFERENTES SITIOS DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ, DONDE SE OBSERVA LA COMUNA DE IQUIQUE, ALTO HOSPICIO, POZO ALMONTE Y EL SITIO DE NIDIFICACIÓN DE SALAR GRANDE. FUENTE: WWW.LIGHTPOLLUTIONMAP.INFO

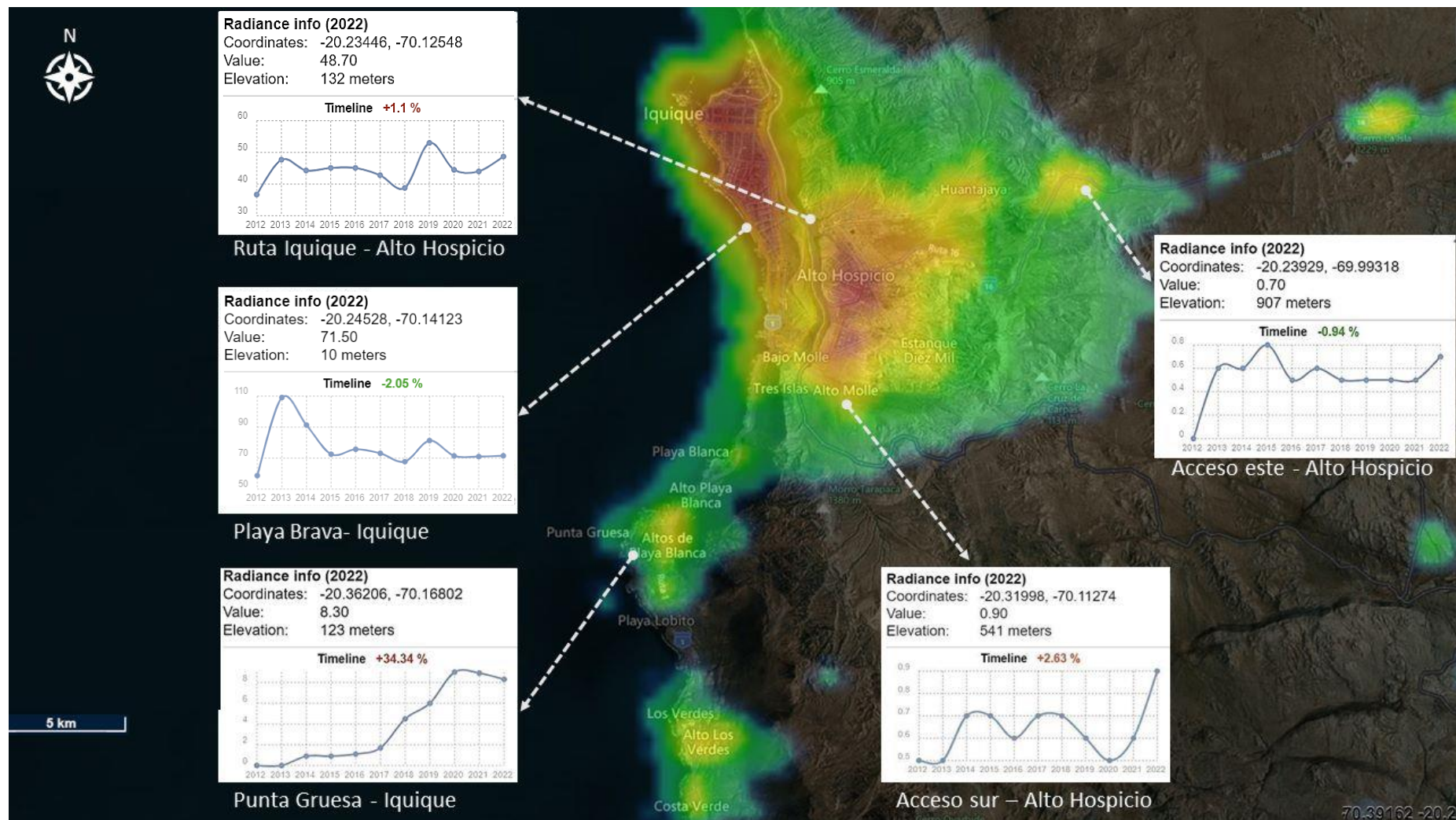


FIGURA 77. VARIACIÓN DE LA LUMINOSIDAD ARTIFICIAL EN DIFERENTES SITIOS DE LA COMUNA DE IQUIQUE Y ALTO HOSPICIO. FUENTE: WWW.LIGHTPOLLUTIONMAP.INFO

Desde el año 2010, la Unidad de Recursos Naturales de la Dirección Regional del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) Tarapacá ha llevado a cabo labores de atención de denuncias, rescate y liberación de especies de golondrinas de mar que se ven afectadas por la contaminación lumínica en la región. La ONG Golondrina de Mar ha desempeñado un papel fundamental desde el año 2017 hasta la actualidad en la recolección y posterior liberación de individuos de golondrina de mar afectados por la contaminación lumínica. Mediante campañas en redes sociales, han logrado generar conciencia en la población, fomentando su participación en el rescate de estas especies en peligro de extinción y facilitando su regreso a aguas marinas. No obstante, es importante destacar que estas acciones por sí solas no son suficientes, ya que es necesario abordar el problema de fondo, que radica en la forma en que se ilumina el entorno y su impacto en la fauna silvestre.

Uno de los objetivos del presente estudio consistía en identificar y evaluar las amenazas que afectan a las áreas de nidificación de las golondrinas durante el periodo reproductivo 2022-2023, en particular el fenómeno de la contaminación lumínica. Con el fin de cuantificar el impacto negativo asociado a dicha contaminación, se planeaba capturar individuos en los sitios de nidificación y realizar el anillamiento correspondiente a los individuos capturados. Sin embargo, debido a la existencia de Alerta Sanitaria, específicamente relacionada con la gripe aviar, el permiso necesario por parte del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) para llevar a cabo la captura de las aves y cumplir con este objetivo específico, fue denegado (Anexo 4.1). La medida adoptada por el SAG en respuesta a la alerta sanitaria prevaleció sobre las actividades de investigación planificadas, impidiendo así la recopilación de datos relevantes para la cuantificación del efecto negativo de la contaminación lumínica en las golondrinas en los sitios de nidificación. Es importante destacar que la decisión del SAG de denegar el permiso de captura se basó en consideraciones relacionadas con la protección de la salud humana y la prevención de posibles riesgos para la población de golondrinas de mar en la Región.

En un intento de obtener datos de aves rescatadas durante esta temporada, se tomó contacto con la ONG Golondrina de mar y el Centro de Rescate los que se encuentran operativos en el rescate de estas aves en la ciudad de Iquique. A ellos se les solicitó la disponibilidad de los datos para su inclusión en el presente informe respetando la autoría del origen de los datos. En respuesta, se recibió una comunicación indicando que harían llegar los datos una vez que tuvieran el tiempo necesario para recopilarlos, ya que se encontraban ocupados con diversas actividades durante el periodo reproductivo en curso (Anexo 4.2 y 4.3). Sin embargo, hasta la fecha de finalización de este informe, no se recibieron los datos solicitados por parte de las

organizaciones mencionadas. A pesar de los esfuerzos realizados para obtener esta información, no se logró obtener una respuesta satisfactoria en relación a la entrega de los datos correspondientes. Es importante destacar que la falta de estos datos limita la exhaustividad y completitud de los resultados presentados en este informe, lo que a su vez puede tener implicaciones en la precisión y representatividad de los hallazgos. Dado lo anterior, se enfatiza la necesidad de establecer canales de comunicación más efectivos y transparentes entre los diferentes actores involucrados, a fin de garantizar el intercambio de datos relevantes y promover una colaboración más estrecha para el desarrollo de investigaciones y la búsqueda de soluciones a los desafíos relacionados con la conservación de la fauna silvestre.

Se recomienda encarecidamente que los datos relacionados con el rescate de aves y los lugares de liberación, así como su posterior recaptura, estén disponibles y accesibles para la comunidad científica. Esto permitiría dimensionar con mayor precisión el verdadero impacto generado y proporcionaría información valiosa para la búsqueda de soluciones efectivas. Actualmente, existe una falta de retroalimentación entre las instituciones involucradas y la comunidad científica, lo que dificulta la búsqueda de una solución integral al problema. Es necesario establecer mecanismos de colaboración y comunicación más estrechos, con el fin de desarrollar estrategias de iluminación que minimicen el impacto en la fauna silvestre y permitan su conservación a largo plazo.

Además, para mitigar los impactos ambientales negativos de la contaminación lumínica, es fundamental adoptar medidas de mitigación durante el periodo reproductivo de la golondrina de mar y otras especies sensibles. Una solución podría ser la implementación de tecnologías de iluminación amigables con el medio ambiente, además de desarrollar estudios que permitan identificar puntos calientes de caída o zonas de alto riesgo para las golondrinas de mar. Sin embargo, esto se debe hacer mediante la colaboración de organizaciones sociales, comunitarias e instituciones gubernamentales y no gubernamentales locales y nacionales.

Actividades y Proyectos Mineros (Ruido y vibraciones)

En un estudio realizado por Croxall et al. (2012), se observó que las aves marinas presentan una mayor vulnerabilidad frente a las actividades humanas en comparación con otras aves. Esto se debe a que dependen de hábitats costeros y marinos para su alimentación, reproducción y descanso, y suelen anidar en colonias concentradas en áreas específicas. La alteración de estos hábitats, causada principalmente por el desarrollo urbano y la pesca intensiva, ha llevado a la reducción de las poblaciones de aves marinas en todo el mundo.

Paleczny et al. (2015) reveló que las poblaciones de aves marinas han disminuido a un ritmo preocupante en los últimos años. Se estima que las aves marinas han experimentado una disminución del 70% en su tamaño poblacional desde 1950. Esta tendencia alarmante se debe a la combinación de múltiples factores antropogénicos, como la sobreexplotación pesquera, la degradación de los hábitats costeros y la contaminación de los océanos. Este fenómeno plantea preocupaciones acerca de los posibles efectos negativos que pueda causar durante los procesos críticos del ciclo de vida, como la reproducción o la muda, las aves marinas son susceptibles al estrés individual, y la respuesta a las perturbaciones puede intensificarse, lo que resulta en un menor éxito reproductivo (Buxton et al., 2017a; Liu et al., 2020).

Estas aves pueden experimentar diversas exposiciones acústicas a lo largo de su vida, se ha establecido que el ruido puede actuar como un contaminante potencial que altera la conservación de especies animales (Slabbekoorn et al., 2018). La alteración sensorial causada por los desarrollos costeros puede provocar una respuesta de estrés en las aves, lo que conlleva a una disminución en el tiempo dedicado a comportamientos biológicamente importantes, como la búsqueda de alimento, la comunicación y la reproducción (Chan y Blumstein, 2011; Deroose-Wilson et al., 2015; Buxton et al., 2017a; Francos, 2017; Bevan et al., 2018). Además, los animales que se encuentran distraídos también pueden ser más vulnerables a los ataques fatales de los depredadores, ya que su estado mental preocupado disminuye su capacidad para detectar y evitar amenazas (Chan et al., 2010).

Las aves marinas poseen sentidos altamente adaptados a su entorno (Boyle y Samson, 1985; Tablado y Jenni, 2015; Blackwell et al., 2016; Blumstein et al., 2017; Buxton et al., 2017a), lo que las hace extremadamente sensibles a los problemas de contaminación sensorial ambiental (Vander Pol et al., 2009; Piña-Ortiz et al., 2016; Rodríguez et al., 2017; Ryan, 2018; Mooney et al., 2019).

Dentro de las especies de aves marinas, la exposición a corto plazo al ruido antropogénico puede tener implicaciones significativas en la aptitud física a largo plazo a nivel individual (Barnett y Hemsworth, 1990; Calow y Forbes, 1998), lo cual, a su vez, puede resultar en una disminución de la población (Melanie, 2004; MacDougall et al., 2013; Alcance y Diamante, 2017; Rosa y Abrahams, 2018) o el abandono de sitios perturbados (Bennie et al., 2018; Thompson, 2021).

Durante los procesos sensibles del ciclo de vida, como la reproducción o la muda de las aves marinas, la respuesta de estrés de un individuo a una perturbación puede intensificarse y reducir el éxito reproductivo (Buxton et al., 2017a; Liu et al., 2020).

La respuesta al estrés de las aves marinas también puede variar a nivel individual dependiendo de su sexo. Por ejemplo, un estudio realizado por Weimerskirch et al. (2002) encontró que los machos de albatros errante (*Diomedea exulans*) exhibían una respuesta más intensa que las hembras antes de la manipulación. De manera similar, Ellenberg et al. (2009) descubrieron que las hembras de pingüinos de ojos amarillos (*Megaduptes antípodas*) expuestas a la presencia humana mostraron frecuencias cardíacas más bajas, pero tiempos de recuperación más prolongados que los machos, lo que sugiere que los machos están más a la defensiva, pero menos estresados que las hembras.

Los machos tienden a mostrar comportamientos defensivos más intensos, posiblemente debido a una mayor producción de testosterona (Kazama et al., 2011), mientras que las hembras tienden a ser más sensibles a las perturbaciones en el nido debido a las presiones ya existentes relacionadas con el almacenamiento de reservas corporales y la puesta de huevos (Goutte et al., 2010).

Esta situación es relevante en el caso de las poblaciones nidificantes de golondrina de mar en Salar Grande, las cuales se enfrentan a las actividades de construcción y extracción de mineras no metálicas en la zona. Estas actividades generan un impacto que, hasta el momento, no ha sido debidamente considerado y que, según lo mencionado anteriormente, puede tener consecuencias negativas para la conservación de esta población de aves pelágicas en peligro.

De acuerdo con el criterio de evaluación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en relación a los impactos por ruido de fauna nativa (2022), se establece que, si se produce una afectación fisiológica como la generada por el impacto mencionado, se considerará como significativo. Estos hallazgos resaltan la necesidad de reconocer y evaluar de manera precisa el impacto real de actividades humanas en la fauna silvestre, y enfocar los esfuerzos en la protección y conservación de dicha fauna por encima de las actividades extractivas. En los casos

en los que no sea posible mitigar completamente el impacto, se recomienda al menos buscar medidas para disminuirlo en la medida de lo posible, teniendo en cuenta el bienestar y la supervivencia de las especies afectadas.

Residuos Terrestres

Según la Estrategia Nacional de Conservación de Aves 2021-2030 (MMA 2022), la contaminación es la afectación de la calidad ecológica de un ecosistema o afectación directa de una o más especies de avifauna producto de luminarias, ruido, desechos o tóxicos de origen antrópico. Es una amenaza global para las aves la contaminación de los ecosistemas (MMA–ONU Medio Ambiente, 2022). Se predice que el 99% de las aves marinas tendrá plástico en su cuerpo para el año 2050 (Wilcox et al., 2015). Se ha detectado en Jotes de cabeza colorada (*Cathartes aura*) ingesta de plásticos donde más del 75% de las egagrópilas analizadas contuvieron este material (Torres-Mura et al., 2015). Las revisiones en terreno mediante imágenes de dron demuestran que, para el sector de Caleta Buena, el área ocupada por basurales ilegales se cuantificó en una superficie que abarca un total de 4.061,2 m² (Figura 78). Además, se puede evidenciar que la quema de estos basurales ilegales se localiza muy próximo a la ubicación de nidos de golondrina de mar (Figura 79).

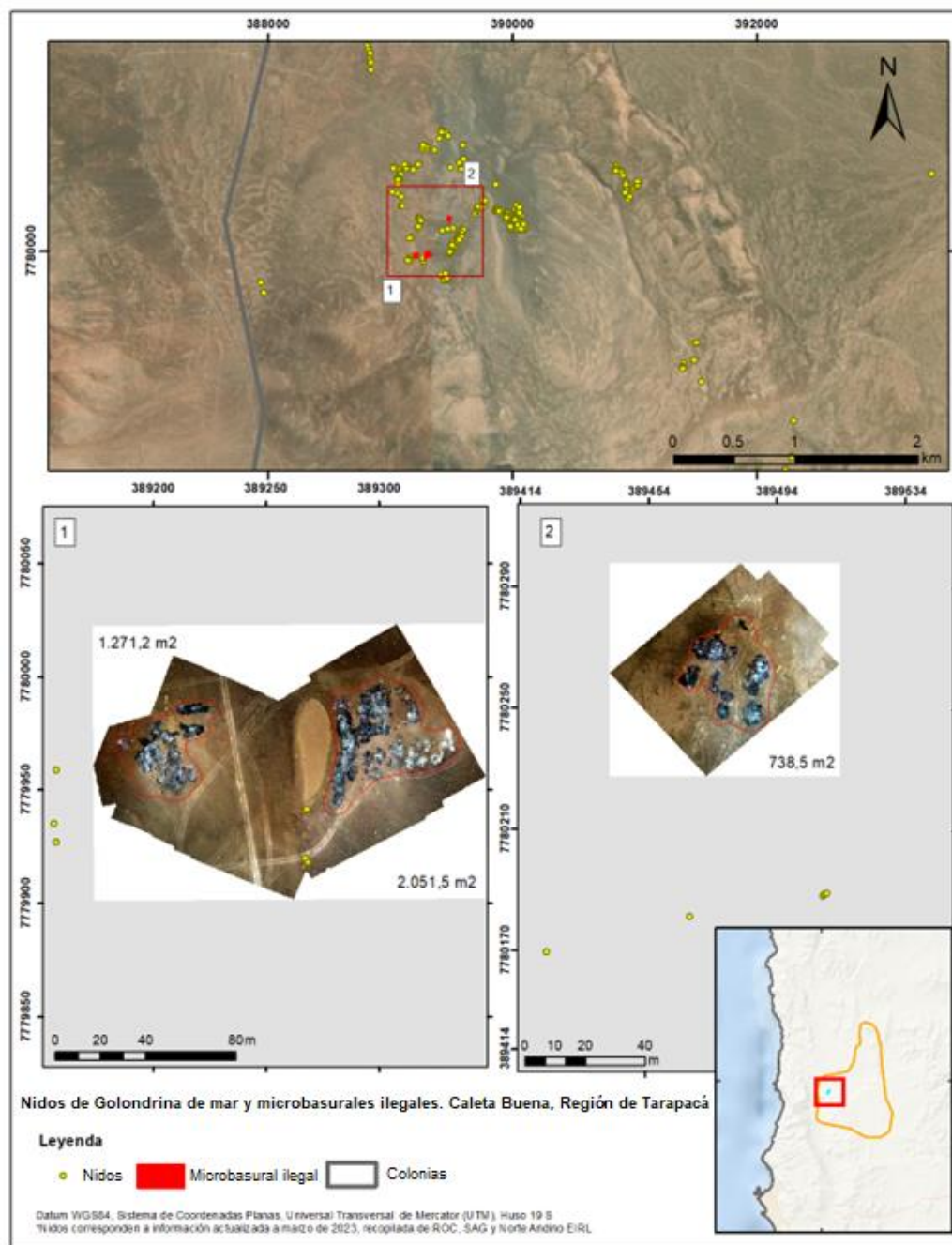


FIGURA 78. NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR LOCALIZADOS CERCANO A MICROBASURALES ILEGALES, SECTOR CALETA BUENA.
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



FIGURA 79. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE QUEMA DE RESIDUOS TERRESTRES EN EL SITIO DE NIDIFICACIÓN DE CALETA BUENA UTILIZADOS COMO MICROBASURALES ILEGALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Tránsito fuera de ruta sobre Sitios de Nidificación de Golondrinas de mar

En el sector de Salar Grande, el vuelo de dron permitió sobrevolar un área de 87,4 ha, de las cuales se logró identificar con claridad 16 km de huellas de vehículos o caminos (Figura 80). Esto es equivalente a 9,8 ha. De caminos, considerando un ancho entre 3 y 6 m, lo cual corresponde al 11,3% del área total. En la Figura 80 se observa la relación entre las huellas de vehículos y los nidos presentes en el área analizada de Salar Grande, donde 30 nidos se encuentran dentro del área (Figura 81).



FIGURA 80. HUELLA DE CAMINO UBICADO EN SITIO DE NIDIFICACIÓN DE SALAR GRANDE DONDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

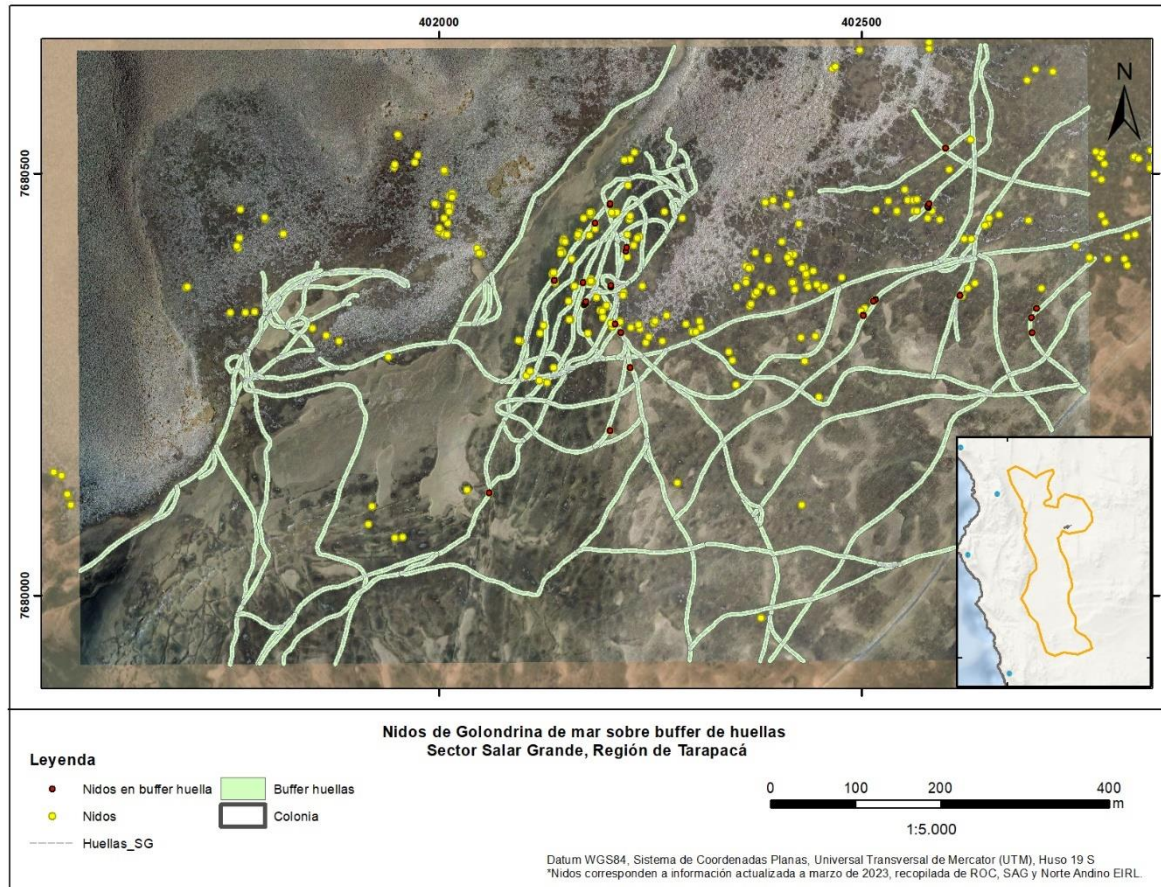


FIGURA 81. NIDOS DE GOLONDRINA DE MAR SOBRE BUFFER DE 6M A HUELLAS IDENTIFICADAS EN SECTOR SALAR GRANDE.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Por otra parte, y al realizar un buffer de 10 m a los nidos del área sobrevolada (Figura 82), se observan que 117 de ellos tendrían cercanía a los caminos identificados, y por tanto su estructura estaría siendo amenazada.

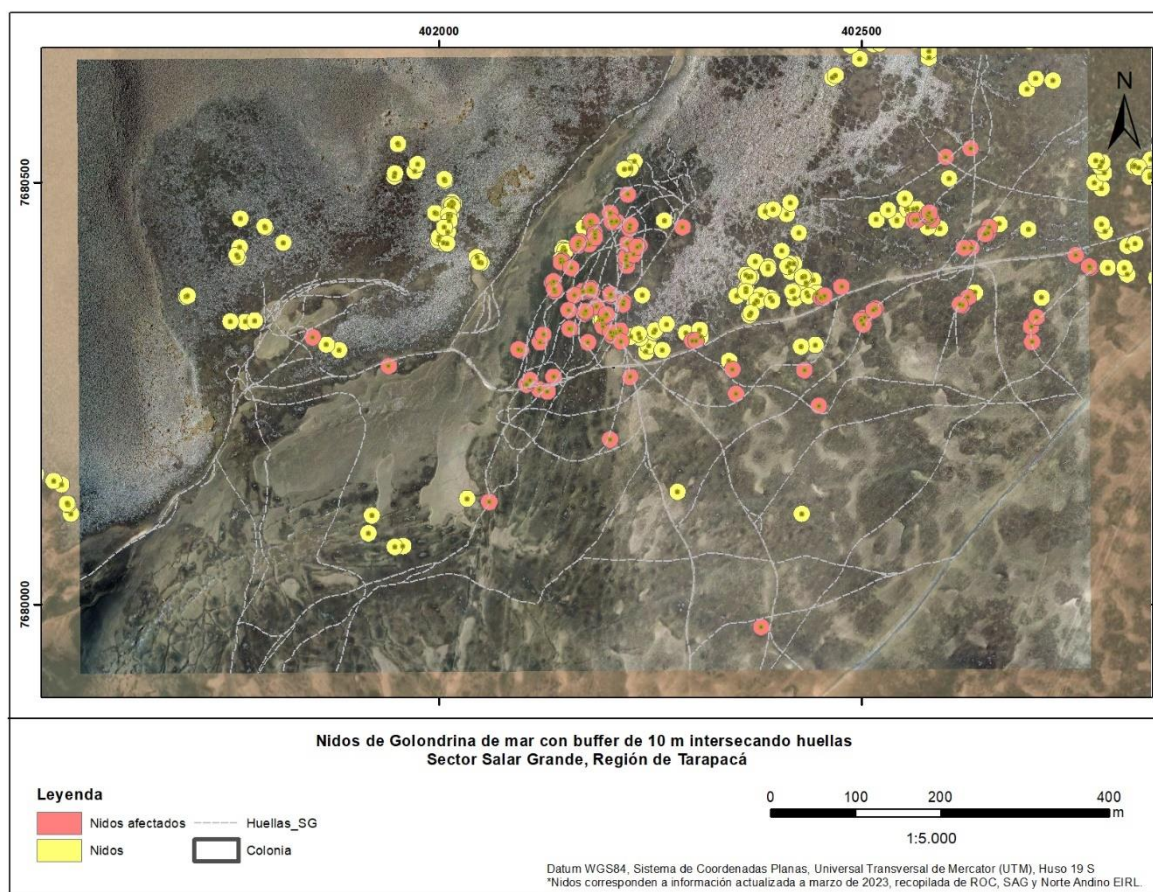


FIGURA 82. BUFFER DE 10 M A NIDOS DE GOLONDRINAS DE MAR CON RELACIÓN A HUELLAS IDENTIFICADAS EN SALAR GRANDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Con la instalación de cámaras trampa se pudo evidenciar la presencia de actividades recreativas que podrían destruir los nidos. Como el de un vehículo tipo *Buggy utv* transitando por el sitio de nidificación de Pampa Hermosa el 28 de agosto del 2022, lo cual demuestra que actividades recreativas como el “Rally Atacama 2022” tienen impacto relevante por transitar fuera de ruta, generando un riesgo de destrucción de cavidades y pérdida de superficie como área de reproducción (Figura 83).



FIGURA 83. REGISTRO DE CÁMARA TRAMPA EN EL SITIO DE NIDIFICACIÓN DE GOLONDRINA DE MAR EN PAMPA HERMOSA DONDE SE OBSERVA VEHÍCULO DE RALLY. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.8 Guía Metodológica para el estudio y monitoreo de golondrinas de mar en el norte de Chile

La Guía Metodológica para el estudio y monitoreo de golondrinas de mar en el norte de Chile (Anexo 5) tiene como objetivo proporcionar un marco de referencia completo y práctico para la investigación y seguimiento de estas aves marinas en la región y en todo el norte de Chile. El desarrollo de esta Guía fue mandatado por el Servicio Agrícola y Ganadero de Chile (SAG) a Norte Andino Estudios Ambientales EIRL., en el marco del “Estudio sobre las poblaciones de golondrinas de mar que nidifican en la Región de Tarapacá y sus principales amenazas”.

Las golondrinas de mar, pertenecientes a la familia Hydrobatidae, son especies emblemáticas que desempeñan un papel crucial en los ecosistemas costeros y marinos. El norte de Chile alberga importantes colonias reproductivas de golondrinas de mar, que encuentran en pleno Desierto de Atacama un hábitat propicio para su anidación. Estas aves migratorias se caracterizan por sus largos viajes en busca de alimento y por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y oceanográficas. Sin embargo, debido a las diversas amenazas

que enfrentan las golondrinas de mar, es fundamental contar con un enfoque metodológico sólido y estandarizado para su estudio y monitoreo. Esta guía tiene como propósito ser un complemento metodológico al Plan de Recuperación, Conservación y Gestión de las Golondrinas de Mar del Norte de Chile; brindando a investigadores/as y profesionales de medio ambiente, las herramientas necesarias para llevar a cabo estudios ambientales, evaluaciones del estado de las colonias y diseño de estrategias de conservación efectivas.

Esta Guía abarca diversos aspectos clave, comenzando una revisión de los antecedentes ecológicos y de distribución de las especies de golondrinas de mar en la Región de Tarapacá y norte de Chile (Capítulo 2), además de sus amenazas y cómo abordarlas en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental (Capítulo 3). Posteriormente, se propone una metodología para la detección y estudio de colonias reproductivas en el norte de Chile (Capítulo 4), y se muestran diferentes métodos para el seguimiento y monitoreo de estas colonias (Capítulo 5). Finalmente, se entregan recomendaciones a investigadores/as y profesionales que desempeñen actividades en sitios de nidificación para disminuir riesgos personales y a las colonias (Capítulo 6).

A través de la implementación de esta guía, se espera generar conocimientos científicos actualizados sobre las golondrinas de mar en el norte de Chile, así como contribuir a la conservación de estas aves y sus hábitats. Además, se busca fomentar la colaboración entre investigadores, instituciones y organizaciones locales para el monitoreo y protección de estas especies. Finalmente, la Guía Metodológica para el estudio y monitoreo de golondrinas de mar en el norte de Chile representa una herramienta fundamental para avanzar en el conocimiento y conservación de estas aves marinas, contribuyendo a su protección y la gestión sostenible de los ecosistemas áridos del norte de Chile.

6. DISCUSIÓN

6.1 Recopilación de datos y caracterización del hábitat

Los análisis desarrollados en este estudio fueron generados a partir de la consolidación de coordenadas geográficas de nidos de golondrinas de mar provenientes de diferentes bases de datos (revisar Metodología para más detalle), reportando un valor acumulado de 3872 nidos para toda la Región de Tarapacá. Dado que algunos sitios reproductivos han sido muestreados por diferentes instituciones o entidades, detectamos varias duplicidades en las coordenadas, las cuales fueron corregidas, sin embargo, es posible que en el conteo final (3872) aún existan nidos duplicados que no fueron eliminados debido que existía una pequeña diferencia de distancia en sus coordenadas geográficas, por otra parte, es preciso señalar que varios de los puntos identificados como nidos no corresponden a ello, por tanto se sugiere un trabajo en terreno a mediano plazo para la revisión de los nidos en las bases de datos. Por este motivo, se seguirá examinando la distribución total de nidos, con el fin de proveer al Mandante una base de datos consolidada y que además considere nuevos registros provenientes de proyectos que se emplazan en el área de estudio y hacen reporte de hallazgos a la Superintendencia de Medio Ambiente. Esta base de datos se entrega al Mandante como parte del Anexo 3.

La caracterización de los sitios de nidificación a escala de paisaje mostró que la distribución espacial de los nidos se encuentra asociada a zonas de mayor presión de vapor de agua, variable que es posible correlacionar con la formación de neblinas costeras. Este resultado concuerda con la descripción que realiza Luebert & Pliscoff, (2017), donde destaca la importancia de este fenómeno para la existencia de vegetación aerófito y xerófito en los denominados “oasis de neblina”. La presencia de neblina no solo se relaciona con la presión de vapor de agua, sino que es facilitada por la existencia de formaciones orográficas como quebradas y depresiones en el farellón costero que permite la entrada de vapor de agua hacia el desierto interior. A pesar de que no es posible indicar si existe una causalidad entre los sitios de nidificación y estos factores bioclimáticos y orográficos, existen reportes de la utilización de quebradas y corredores de neblina como sitios de acceso para las aves en el desierto costero como gaviota garuma (*Leucophaeus modestus*) y otros (Malinarich et al 2016; Salinas, 2015).

6.2 Preferencia de hábitat

El análisis de preferencia de hábitat a escala de paisaje muestra que las variables bioclimáticas que mejor predicen la presencia de nidos corresponden a condiciones de variación de

temperatura y precipitaciones durante el trimestre más cálido, es decir durante la época estival donde ocurre el *peak* de nidificación. Esto se refuerza con los resultados obtenidos de la caracterización de hábitat, donde se observa la potencial importancia de las quebradas y corredores de neblina.

En cuanto a las variables geológicas, a pesar de que las categorías de la variable de Geomorfología no fueron estadísticamente significativas, existe una tendencia evidente de una mayor cantidad de nidos en ambientes que no corresponden a un sustrato de salar propiamente tal. Estos resultados son coherentes con lo descrito en la caracterización geológica de los sitios de nidificación, donde la mayor parte de los nidos se ubica en unidades geomorfológicas correspondientes a Secuencias sedimentarias y una pequeña porción en las unidades de Depósitos evaporíticos. De esta manera, si bien la literatura que describe que los sitios de nidificación se encuentran asociados a salares, no lo es en estricto rigor, sino que en unidades geomorfológicas diferentes que pueden ubicarse en sus bordes o cercanos a éstos (Sernageomin, 2003).

Por otro lado, la nomenclatura geológica de Sepúlveda et al., (2014) y Vázquez et al., (2018), permiten señalar que la mayor parte de los nidos georreferenciados se ubican sobre la unidad de Gravas de Alto Hospicio, las que corresponden a una secuencia de gravas bien consolidadas y areniscas de origen aluvial, con algunas intercalaciones de cenizas fuertemente cementada por sales solubles. El informe de Geología y suelos salinos de Alto Hospicio (Sernageomin, 2018), señala que la fuerte cementación de esta unidad geológica (Gravas de Alto Hospicio) puede ser explicada debido al transporte de aguas subterráneas ocurridas principalmente por fracturas y estructuras de orientación este-oeste que ha generado el desarrollo de grietas. Además, señala que estas fracturas se asocian a la contracción y expansión del depósito más superficial, debido a las variaciones en el volumen de las sales contenidas como respuesta a cambios bruscos de temperatura y humedad. Estas características geomorfológicas podrían estar explicando la presencia de sectores con mayor presencia de cavidades o con tendencia a la formación de estas, lo cual estaría favoreciendo la disponibilidad de hábitat para la reproducción de golondrinas de mar.

A escala local, los resultados muestran una tendencia a una mayor preferencia por sitios con sustratos estructurados, bien sedimentados y con una tendencia moderada y alta al encostramiento. Por otro lado, no se encontraron asociaciones importantes con las dimensiones de la abertura de la cavidad y pendiente de la ladera. Los resultados tampoco mostraron una relación estadística con la variable de exposición del nido, variable que ha sido estudiada en el

hemisferio norte donde se reportó un patrón de orientación de los nidos hacia el Ecuador debido a ventajas térmicas (Zwartjes & Nordell, 1998; Ojeda et al., 2021), sin embargo, a diferencia de los nidos de golondrinas de mar, las aves estudiadas en bosque corresponden a cavadores primarios que tienen la oportunidad de seleccionar la orientación de los nidos. Finalmente, los resultados a escala local serían congruentes con las condiciones y procesos geológicos que dan origen a sustratos con mayor tendencia a formar cavidades.

6.3 Definición de potenciales nuevos sitios de nidificación

Teniendo en consideración la alta asociación entre formaciones geológicas y condiciones bioclimáticas asociadas a la humedad ambiental, se desarrolló una propuesta de delimitación cartográfica de potenciales sitios de nidificación; la cual agrega áreas potenciales áreas que se encuentran adyacentes a los sitios reproductivos previamente identificados y suma otros sitios cercanos a estos. Cabe mencionar que la proposición de estas nuevas áreas responde a las variables analizadas en este informe, sin perjuicio que pudieran existir otras que aún no son consideradas o con una escala que permita mayor resolución.

6.4 Seguimiento y monitoreo de sitios de nidificación

Durante los meses en que se ha desarrollado evaluación de los nidos de golondrinas de mar en los sitios de nidificación (septiembre de 2022 a abril de 2023), fue posible observar que las primeras llegadas de adultos reproductivos a los sitios ocurren durante los meses de agosto a septiembre, lo cual adelanta el periodo reproductivo para la golondrina de mar negra (*H. markhami*) propuesto previamente por otros autores (Malinarich y Vallverdú, 2021; Medrano et al., 2019) y a su vez retrasa el mismo debido a la presencia de crías y huevos durante el mes de abril. Teniendo en cuenta esta actualización del periodo reproductivo para los sitios al sur de la Quebrada Tiliviche, se hace relevante el seguimiento de los nidos hasta la finalización del periodo reproductivo con el fin de consolidar los hallazgos. A pesar de la limitación del periodo de seguimiento de nidos debido a la finalización de esta Licitación, los resultados entregados son una actualización relevante para futuros estudios de conservación y gestión de la especie.

Al analizar diferenciadamente las colonias reproductivas seleccionadas (Caleta Buena y Salar Grande), se observa que la actividad en el sitio ubicado más al norte, es decir Caleta Buena, comienza y finaliza su temporada reproductiva antes que Salar Grande, lo cual es confirmado por la gradualidad en que los nidos van siendo ocupados y desocupados. Por otro lado, en cuanto al porcentaje de ocupación de los nidos de esta temporada (2022-2023), con respecto a la

temporada anterior (2021-2022), se observó un patrón similar entre Caleta Buena y Salar Grande, donde un alto porcentaje de nidos fue reutilizado. Este resultado es coherente con diferentes estudios de petreles (Janhcke, 1994; O'Dwyer y Nevitt 2009), donde la fidelidad al sitio de nidificación es facilitada por las habilidades olfativas de las especies.

6.5 Amenazas en sitios de nidificación

Dadas las rápidas tasas de cambios ambientales como resultado de las actividades humanas, existe una necesidad urgente de comprender en qué medida los individuos responden a tales cambios y cómo estas condiciones cambiantes afectan a su población, a fin de centrar los esfuerzos en las especies más vulnerables y en los sitios más apropiados (Thompson et al., 2020). Esta investigación ayuda a llenar este vacío de conocimiento y a ampliar nuestra comprensión de la respuesta de las especies mencionadas a los cambios ambientales inducidos por el hombre en los sitios de nidificación y ruta de vuelo.

Los desarrollos costeros, como la nueva instalación de actividades extractivas, aumentan la presencia humana, incluyendo el tráfico terrestre y marino, la contaminación de diversas fuentes (por ejemplo, luz, ruido y vibraciones) y potencialmente conducen a la atracción de más depredadores y especies invasoras dentro del área (Thayer et al., 1999; Rodríguez et al., 2015, 2017; Buxton et al., 2017a; Franks, 2017; Plan SA, 2020; Syposz et al., 2021). Estos impactos antropogénicos pueden tener consecuencias significativas para las aves marinas como lo son las golondrinas de mar y su hábitat.

La instalación de microbasurales ilegales y rellenos sanitarios cerca de la colonia de Caleta Buena es una amenaza potencial por el arrastre de basura que podría obstruir cavidades y la atracción de depredadores como roedores introducidos *Rattus spp.*, perros y jotes de cabeza colorada (Barros et al., 2019). En la actualidad se pudo cuantificar menos de 0,5 hectáreas de microbasurales con quema de residuos textiles, lo cual podría aumentar si no se aplican mejoras de fiscalización y medidas de gestión.

Una amenaza relevante según Medrano et al. (2019), son los caminos para las colonias de golondrinas de mar en la región de Tarapacá, específicamente en Colonia Salar de Quiuña, Colonia Pampa La Perdiz (Pampa Hermosa) y Colonia Salar Grande. Esta amenaza se cuantificó en un área de Salar Grande precisando que el 11,3% corresponde a caminos que se relacionan con 30 nidos con un buffer de 6 m. No obstante, es crucial considerar la posibilidad de que la presencia de actividades humanas y el aumento de perturbaciones puedan tener efectos adversos sobre las poblaciones de aves marinas (Smith et al., 2018). Por lo tanto, es fundamental

realizar seguimientos a largo plazo y evaluar las tendencias poblacionales para comprender plenamente los efectos de estos cambios ambientales y antropogénicos en las aves marinas reproductoras.

Por lo tanto, se recomiendan estudios futuros, especialmente estudios experimentales a largo plazo, que abarquen diversas especies y ubicaciones, para comprender en mayor medida los impactos a largo plazo las amenazas a las que son expuestas las aves pelágicas debido a los tipos de contaminación ya mencionados.

7. CONCLUSIÓN

El presente informe presenta la sistematización de 3872 nidos de tres especies de golondrinas de mar (*Hydrobates markhami*, *Hydrobates hornbyi* y *Oceanites gracilis*) presentes en la Región de Tarapacá. Este número de nidos corresponde al total de datos de nidos disponibles, luego de la revisión de datos recopilados desde la ROC, SAG y Norte Andino EIRL.

Los resultados muestran que la caracterización de los sitios de nidificación a escala de paisaje presenta condiciones relativamente similares, como la presencia de condiciones bioclimáticas que favorecen el ingreso de humedad a los sitios de nidificación y que gracias a condiciones orográficas podrían estar actuando como corredores biológicos, facilitando el ingreso de las aves a los sitios de reproducción. Por otra parte, se evidenció que los nidos se ubican mayoritariamente sobre las unidades geológicas de tipo Secuencias sedimentarias, por sobre las evaporíticas (como salares), donde predominan las unidades de Gravas de Alto Hospicio, que parecen poseer las condiciones más favorables para la formación de cavidades que pueden ser usadas en la temporada reproductiva.

Los resultados de caracterización de los sitios de reproducción muestran clara correlación con los resultados de preferencia de hábitat, donde las variables de precipitación y características geomorfológicas son las más importantes según los modelos. De igual manera, los resultados obtenidos a escala local dan importancia a la formación de sustratos estructurados y encostrados.

En base al análisis de caracterización y de preferencia de hábitat, se construyó un mapa con zonas que conjugan las variables más importantes de este estudio y se identificó sitios que potencialmente podrían cumplir las características de hábitat para la nidificación de golondrinas de mar. Sin embargo, es posible que un análisis a mejor escala e integrando nuevas variables pudiera entregar mejores predicciones de potenciales sitios de reproducción.

Los resultados presentados en este informe corresponden a los primeros que incluyen este tipo de variables y que proponen potenciales nuevos sitios de reproducción. La importancia de la ampliación en el conocimiento de la ecología de esta especie podrá aportar a una mejor estimación de sus poblaciones, además de entregar nuevas luces para la comprensión de las características ambientales que estarían influyendo sobre la selección de sitios de reproducción, mejorando y haciendo más eficientes los esfuerzos en investigación y manejo para su conservación.

El seguimiento de nidos proporciona una actualización relevante sobre el período reproductivo de las golondrinas de mar negra en los sitios de nidificación estudiados. Estos hallazgos destacan la importancia de seguir monitoreando los nidos hasta el final del período reproductivo y tienen implicaciones para futuros estudios de conservación y gestión de la especie. Además, se observó una diferencia en el tiempo de reproducción entre las colonias seleccionadas y se encontró una alta tasa de reutilización de nidos en ambas ubicaciones, lo cual es consistente con la fidelidad al sitio de nidificación observada en otras especies relacionadas.

Tanto la contaminación por ruido y vibraciones como la contaminación lumínica representan amenazas significativas para las golondrinas de mar y otras aves marinas. Estas amenazas tienen efectos negativos en el comportamiento, el éxito reproductivo y la supervivencia de estas aves. La exposición al ruido antropogénico interrumpe su comportamiento natural, mientras que la contaminación lumínica puede desorientarlas durante sus desplazamientos y llevar a colisiones y aterrizajes en lugares inapropiados. La reducción del ruido y las luces artificiales en áreas sensibles para las aves marinas es crucial para abordar estas amenazas. Las amenazas de

Proteger estas especies es fundamental tanto para su supervivencia como para la salud de los ecosistemas marinos. Es importante comprender cómo responden las aves marinas a los cambios ambientales inducidos por el hombre y centrar los esfuerzos en las especies más vulnerables y los sitios más apropiados. Los desarrollos costeros junto a la presencia de residuos y depredadores introducidos también representan amenazas adicionales. Se requiere un monitoreo a largo plazo y estudios experimentales para comprender plenamente los efectos de estas amenazas en las aves marinas y se recomienda realizar investigaciones futuras en diversas especies y ubicaciones para evaluar los impactos a largo plazo de la contaminación mencionada.

8. LITERATURA CITADA

- Ayala L, C Mendoza & J Pérez (2004) Two new breeding localities for the Wedgerumped Storm-Petrel *Oceanodroma tethys kelsalli* in Peru. Marine Ornithology 32: 107- 108. BirdLife International (2015) IUCN Red List for birds.
- Ayala, L., & Sanchez-Scaglioni, R. (2007). A new breeding location for Wedge-rumped Storm-Petrels (*Oceanodroma tethys kelsalli*) in Peru. Journal of Field Ornithology, 78(3), 303–307.
- 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(1), 75–84.
- Barros, R., Medrano, F., Silva, R., & de Groote, F. (2018). First breeding site record of Hornby’s Storm Petrel *Oceanodroma hornbyi* in the Atacama Desert, Chile. Ardea, 106(2), 203–207.
- Barros, R., Medrano, F., Silva, R., Schmitt, F., Malinarich, V., Terán, D., Peredo, R., Pinto, C., Vallverdú, A., Fuchs, J., & Norambuena, H. v. (2020). Breeding Sites, Distribution and Conservation Status of the White-Vented Storm-Petrel *Oceanites gracilis* in the Atacama Desert. Ardea, 108(2).
- Bennie J, Davies TW, Cruse D, Bell F, Gaston KJ, James J (2018) Artificial light at night alters grassland vegetation species composition and phenology. Journal of Applied Ecology 55, 442–450. doi:10.1111/ 1365-2664.12927
- Bernal, M., Simeone, A., & Flores, M. (2006). Breeding of wedge-rumped storm-petrels (*Oceanodroma tethys*) in northern Chile. Ornitología Neotropical, 17(2), 283–287. BirdLife International. (2018a). *Hydrobates tethys*. The IUCN Red List of Threatened Species2018: e.T22698496A132651043.
- Bianchini K, Mallory ML, Braune BM, Muir DCG, Provencher JF (2022) Why do we monitor? Using seabird eggs to track trends in Arctic environmental contamination. Environmental Reviews 30, 245–267. doi:10.1139/er-2021-0078.
- BirdLife International. (2018b). *Oceanites gracilis*. The IUCN Red List of Threatened Species2018: e.T22698442A132647135.
- BirdLife International. (2019a). *Hydrobates hornbyi*. The IUCN Red List of Threatened Species2019: e.T22698567A156372027.

- BirdLife International. (2019b). *Hydrobates markhami*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019:e.T22698543A156377889.
- Boersma P, M Nerini & E Wheelwright (1980) The breeding biology of the Fork-tailed Storm-Petrel (*Oceanodroma furcata*). Auk 97:268-282.
- Brooke M (2004) Albatrosses and petrels across the world. Oxford University Press, Oxford, UK. 419 pp.
- Brown, R.G.B., 1980. Seabirds as marine animals. In: Burger, J., Olla, B.L., Winn, W.E. (Eds.), Behavior of Marine Mammals, vol. 4. Plenum Press, New York, pp. 1–39.
- Cifuentes JM, Becker PH, Sommer U, Pacheco P, Schlatter R (2003) Seabird eggs as bioindicators of chemical contamination in Chile. Environmental Pollution 126, 123–137. doi:10.1016/S0269-7491(02) 00400-1.
- Cinzano, P., Falchi, F., y Elvidge, C. D. The First World Atlas of the artificial sky brightness. Monthly Notices of Royal Astronomical Society. 328, pp. 689-707. 2001.
- Davies, T.W., Duffy, J.P., Bennie, J. & Gaston, K.J. (2014). The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. Frontiers in Ecology and the Environment, 12(6), 347-355.
- Dias, M. P., R. Martin, E. J. Pearmain, I. J. Burfield, C. Small, R.A. Phillips, O. Yates, B. Lascelles, P. G. Borboroglu, and J. P. Croxall. 2019. Threats to seabirds: a global assessment. Biological Conservation 237:525-537. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.033>.
- Estrada, J. (2014). Finding correlations among successful reintroduction programs: An analysis and review of current and past mistakes (Master's Thesis). University of Michigan. Michigan.
- Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C.M., Elvidge C.D., Baugh K., Portnov B., Rybnikova N., Furgoni R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. Science Advances, 2, e1600377. <http://doi.org/10.5880/GFZ.1.4.2016.001>
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology. Fisher, J & R Lockley (1954) Averages from data for four species of Storm-Petrels. Sea birds. London, Collins, 183-189 pp.
- Furness R, Monaghan P. 1987. Seabird Feeding Ecology. In Seabird Ecology Springer, Boston, MA. pp. 23-34.

- 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.
- Granizo, Tarsicio et al. 2006. Manual de Planificación para la Conservación de Áreas, PCA. Quito: TNC y USAID.
- Haché, S. et al., 2017. Phylogeography of a migratory songbird across its Canadian breeding range: Implications for conservation units. *Ecology and Evolution*, (May), pp.6078–6088.
- Hackett, S. J., Kimball, R. T., Reddy, S., Bowie, R. C. K., Braun, E. L., Braun, M. J., Chojnowski, J. L., Cox, W. A., Han, K.-L., Harshman, J., Huddleston, C. J., Marks, B. D., Miglia, K. J., Moore, W. S., Sheldon, F. H., Steadman, D. W., Witt, C. C., & Yuri, T. (2008). A Phylogenomic Study of Birds Reveals Their Evolutionary History. *Science*, 320(5884), 1763–1768.
- Haney, J.C., Solow, A.R., 1992. Analyzing quantitative relationships between seabirds and marine resource patches. *Curr. Ornithol.* 9, 105– 151.
- Harrison, P., 1983. Seabirds: an Identification Guide. Houghton Mifflin Co., New York.
- Henny CJ, Blus LJ, Prouty RM (1982) Organochlorine residues and shell thinning in Oregon seabird eggs. *The Murrelet* 63,15–21. doi:10.2307/ 3535474
- Jahncke J (1993) Primer informe del área de anidación de la golondrina de la tempestad negra *Oceanodroma markhami* (Salvin 1883). *Memorias X Congreso Nacional de Biología*, 1992, Lima: 339-343.
- Johnson, A., et al. (2019). "Underwater noise disrupts communication between marine mammals and seabirds." *Marine Ecology Progress Series*, 598, 197-211.
- Jouventin P, Monicault G & Blosseville J (1981) La danse de l'albatros, *Phoebastria fusca*. *Behaviour* 78: 43–80.
- Kennedy, M. (2002). Seabird Supertrees: Combining Partial Estimates of Procellariiform Phylogeny. *The Auk*, 119(1), 88–108.
- Lamouroux, N. and Souchon, Y. 2002. Simple predictions of instream habitat model outputs for fish habitat guilds in large streams. *Freshwater Biology*, 47: 1531-1542.
- Landsat/Copernicus/Maxar, 2022. Región de Tarapacá, Chile. [Imagen satelital]
- Luebert, F., & Plischoff, P. (2017). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile (Second edi). Editorial Universitaria.
- 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. Universidad Católica del Norte.
- Malinarich, V. (2016). Diagnóstico poblacional de la Gaviota garuma *Leucophaeus modestus* (Tschudi, 1843), Zona Norte de Chile. Reporte técnico, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
- Malinarich, V., & Vallverdú, A. (2019). Estudio de las poblaciones de golondrina de mar en la región de Tarapacá. Unidad de Recursos Naturales Renovables, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
- Malinarich, V., & Vallverdú, A. (2021). Estudio de las Poblaciones de Golondrinas de Mar en la Región de Tarapacá. Unidad de Recursos Naturales Renovables, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), 1–60.
- Medrano, F., Drucker, J., & Jaramillo, A. (2021). Markham's Storm-Petrel (*Hydrobates markhami*). In T. S. Schulenberg, S. M. Billerman, & B. K. Keeney (Eds.), Birds of the World. Cornell Lab of Ornithology.
- Medrano, F., Silva, R., Barros, R., Terán, D., Peredo, R., Gallardo, B.-J., Cerpa, P., de Groote, F., Gutiérrez, P., & Tejeda, I. (2019). Nuevos antecedentes sobre la 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(1), 21–30.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). Listado de Especies Clasificadas desde el 1° al 17° Proceso de Clasificación RCE (actualizado a mayo de 2022).
- Ministerio de Medio Ambiente (2022). Plan de Recuperación, Conservación y Gestión de las Golondrinas de Mar del Norte de Chile. Diario Oficial de la República de Chile.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (1994). Ley 19300 Sobre bases generales del medio ambiente.
- Mouguin, J (1996) Faithfulness to mate and nest site of Bulwer's Petrel, *Bulweria bulweria* at Selvagem Grande. Marine Ornithology 24: 15–18.
- Muheim, Rachel & Bäckman, Johan & Akesson, Susanne. (2003). Magnetic compass orientation in European Robins is dependent on both wavelength and intensity of light. The Journal of experimental biology. 205. 3845-56. 10.1242/jeb.205.24.3845.
- Montevecchi, W. A. 2006. Influences of artificial light on marine birds. Pages 94-113 in C. Rich and T. Longcore, editors. Ecological consequences of artificial night lighting. Island Press, Washington, D.C., USA.

- O'Brien, T.G. & Kinnaird, M.F., 2008. A picture is worth a thousand words: the application of camera trapping to the study of birds. *Bird Conservation International*, 18(S1).
- Ojeda, V., Schaaf, A., Altamirano, T. A., Bonaparte, B., Bragagnolo, L., Chazarreta, L., Cockle, K., Dias, R., Di Sallo, F., Ibarra, J. T., Ippi, S., Jauregui, A., Jiménez, J. E., Lammertink, M., López, F., Núñez Montellano, M. G., de la Peña, M., Rivera, L., Vivanco, C., ... Politi, N. (2021). Latitude does not influence cavity entrance orientation of South American avian excavators. *The Auk*.
- Ovenden J, A Wust-Saucy, R Bywater, N Brothers & R White (1991) Genetic evidence for philopatry in a colonially nesting seabird, the Fairy Prion (*Pachyptila turtur*). *Auk* 108: 688–694.
- Phillips, S. J.; Anderson, R. P. & Schapire, R. E. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, 2006, vol. 190, p. 231-259.
- Pyle, P. (1993). A markham's storm-petrel in the northeastern Pacific. *Western Birds*, 24, 108–110.
- Rabouam C, J Thibault & V Bretagnolle (1998) Natal Philopatry and Close Inbreeding in Cory's Shearwater (*Calonectris diomedea*). *Auk* 115(2): 483–486.
- Raine, A., M. Vynne, S. Driskill y E. Pickett. 2018. Monitoring of Endangered Seabirds in Hono o Na Pali Natural Area Reserve IV: Hanakapi ai. Inf. téc., University of Hawaii and Division of Forestry and Wildlife, Pacific Cooperative Studies Unit. Kaua i: Kaua i Endangered Seabird Recovery Project.
- Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile (ROC), 2022. "Información espacial sobre reproducción de aves marinas en Chile". Versión 4.1, publicada el 26/07/2022. Disponible en www.redobservadores.cl/golondrinas
- Red Hemisférica de Reservas para las Aves Playeras. 2009. Proyecto de Recuperación de Aves Playeras en el Noroeste de México.
- Rodewald, A.D., Kearns, L.J. & Shustack, D.P., 2011. Ecological Society of America Anthropogenic resource subsidies decouple predator — prey relationships. *Ecological Applications*, 21(3), pp.936–943.
- Rodríguez, Airam & Burgan, Graeme & Dann, Peter & Jessop, Rosalind & Negro, Juan & Chiaradia, Andre. (2014). Fatal Attraction of Short-Tailed Shearwaters to Artificial Lights. *PLoS ONE*. 9. e110114. 10.1371/journal.pone.0110114.

- Rodríguez, A., P. Dann, and A. Chiaradia. 2017a. Reducing light-induced mortality of seabirds: high pressure sodium lights decrease the fatal attraction of shearwaters. *Journal for Nature Conservation* 39:68-72.
- Rodríguez, A., N. D. Holmes, P. G. Ryan, K. J. Wilson, L. Faulquier, Y. Murillo, A. F. Raine, J. F. Penniman, V. Neves, B. Rodríguez, J. J. Negro, A. Chiaradia, P. Dann, T. Anderson, B. Metzger, M. Shirai, L. Deppe, J. Wheeler, P. Hodum, C. Gouveia, V. Carmo, G. P. Carreira, L. Delgado-Alburquerque, C. Guerra-Correa, F. X. Couzi, M. Travers, and M. Le Corre. 2017b. Seabird mortality induced by land-based artificial lights. *Conservation Biology* 31:986-1001. <https://doi.org/10.1111/cobi.12900>
- Rodríguez, A., J. Moffett, A. Revoltós, P. Wasiak, R. R. McIntosh, D. R. Sutherland, L. Renwick, P. Dann, and A. Chiaradia. 2017c. Light pollution and seabird fledglings: targeting efforts in rescue programs. *Journal of Wildlife Management* 81:734-741.
- Ryan PG (2018) Entanglement of birds in plastics and other synthetic materials. *Marine Pollution Bulletin* 135, 159–164. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.06.057.
- Salinas, P. R. (2015). Informe final diagnóstico del estado y tendencia de la biodiversidad Región de Tarapacá (Proyecto N° 82692: “Planificación Nacional de la Biodiversidad para apoyar la implementación del Plan Estratégico de la Convención de Diversidad Biológica (CDB) 2011-2020”). Ministerio del Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Schmitt, F., Barros, R., & Norambuena, H. (2015). Markham’s Storm Petrel breeding colonies discovered in Chile. *Neotropical Birding*, 17, 5–10.
- Schreiber E, Burger J. (Eds.). 2001. *Biology of marine birds*. CRC press. 740 pp.
- Schreiber, E.A., Burger, J., 2002. *Biology of Marine Birds*. CRC Press, Boca Raton.
- Sensing, R. et al., 1999. Application of Sensors and Thermal Cameras for the Census of Winter Roosts of Birds. 46(2), pp.187–193.
- Sepúlveda, F.A.; Vásquez, P.; Quezada, A. 2014. Cartas Patillos y Oficina Victoria, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 167-168. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión 1.0, 2003). Santiago.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) del Gobierno de Chile. (2019). Guía para la predicción y

evaluación de impactos por ruido y vibración en el SEIA.

- Sheehan, K.L. et al., 2017. Using species distribution models to define nesting habitat of the eastern metapopulation of double-crested cormorants. *Ecology and Evolution*, 7(1), pp.409–418.
- Silva, Luis Ignacio, 1977. Geología de las hojas Pisagua y Zapiga, I Región Tarapacá, Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas. 1 mapa escala 1:100.000.
- Smith, J., et al. (2017). "Effects of seismic air gun exposure on the foraging behavior of marine birds." *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 543-552.
- Slabbekoorn, H., Dooling, R., Popper, A. & Fay, R. (2018). Effects of anthropogenic noise on animals. New York, NY, U.S.A: ASA Press-Springer Science+Business Media, LLC.
- Soanes, L.M. et al., 2015. Tracking a small seabird: First records of foraging movements in the Sooty Tern *Onychoprion fuscatus*. *Marine Ornithology*, 43(2), pp.235–239.
- Spear, L. B., & Ainley, D. G. (2007). Storm-Petrels of the Eastern Pacific Ocean: Species Assembly and Diversity along Marine Habitat Gradients. *Ornithological Monographs*, 62, iii–77.
- Thushari GGN, Senevirathna JDM (2020) Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon* 6, e04709. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04709.
- Torres-Mura, J.C. & Lemus, M.L., 2013. Breeding of Markham's Storm-Petrel (*Hydrobates markhami*, Aves: Hydrobatidae) in the desert of northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86(4), pp.497–499.
- Vásquez, P.; Sepúlveda, F., 2013. Cartas Iquique y Pozo Almonte, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 162-163;114 p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Troy, J. R., N. D. Holmes, J. A. Veech, and M. C. Green. 2013. Using observed seabird fallout records to infer patterns of attraction to artificial light. *Endangered Species Research* 22:225-234. <https://doi.org/10.3354/esr00547>.
- van Franeker, J. Save the North Sea Fulmar-Litter-EcoQO Manual Part 1: Collection and dissection procedures. Vol. 672 (2004).
- Vásquez, P.; Sepúlveda, F.A.; Quezada, A.; Aguilera, S.; Franco, C.; Blanco, N. 2018. Cartas Guanillos del Norte y Salar de Llamara, Regiones de Tarapacá y Antofagasta. Servicio

Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.

Votier SC, Archibald K, Morgan G, Morgan L (2011) The use of plastic debris as nesting material by a colonial seabird and associated entanglement mortality. *Marine Pollution Bulletin* **62**, 168–172. doi:10.1016/j.marpolbul.2010.11.009.

Voulgaris M-D (2017) Metal concentrations in Scopoli's shearwater (*Calonectris diomedea*) seabird in Strofades island complex, Greece; Strofades Island. MaCS -SIMCO thesis, University of Algarve, Faro, Portugal.

Wiltschko, W., Munro, U., Ford, H. *et al.* Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds. *Nature* 364, 525–527 (1993).

Winkler, D. W., Billerman, S. M., Lovette, I. J. (2020a). Northern Storm-Petrels (Hydrobatidae). In S. M. Billerman, B. K. Keeney, P. G. Rodewald, & T. S. Schulenberg (Eds.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology.

Winkler, D. W., Billerman, S. M., & Lovette, I. J. (2020b). Southern Storm-Petrels (Oceanitidae). In S. M. Billerman, B. K. Keeney, P. G. Rodewald, & T. S. Schulenberg (Eds.), *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology.

Zhao, X., Zhang, M., Che, X. & Zou, F. (2020). Blue light attracts nocturnally migrating birds. *The Condor*, 122(2), duaa002.

Zwartjes, P. W., and S. E. Nordell (1998). Patterns of cavity-entrance orientation by Gilded Flickers (*Colaptes chrysoides*) in cardoncactus. *The Auk* 115:119–126

9. EQUIPO

- **Paola Araneda Cid**, Bióloga, MSc., PhD(c), Jefa de proyecto y asesora científica.
- **Javiera Zamora Marín**, Geógrafa, Especialista SIG y asesora de análisis espaciales.
- **Elena Alarcón Astudillo**, Bióloga, coordinadora de campañas de terreno y estudio de amenazas para las especies.
- **Francisca Montecinos Menares**, Agrónoma, coordinadora de campañas a terreno y sistematización de la información.