



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OCUPACIÓN DEL LOBO MARINO
COMÚN (*OTARIA FLAVESCENS*), EL PINGÜINO DE HUMBOLDT (*SPHENISCUS
HUMBOLDTI*) Y LOS BOSQUES DE MACROALGAS (*MACROCYSTIS PYRIFERA*) EN EL
ISLOTE DE PUPUYA, REGIÓN DE O'HIGGINS.**

Memoria para optar al título de Geógrafo

SEBASTIÁN LUCIANO SOBARZO LEYTON

Profesora Guía: Daniela Iлона Manushevich Vizcarra

SANTIAGO-CHILE 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más profundos agradecimientos a mi mamá, papá, hermana, Sharon, Aia, tata y abuelita por las enseñanzas, amor, apoyo y por la permanente intensidad y pasión a la vida que los habita. A la familia de la Tercera compañía de Bomberos de Pupuya, por la fraternidad y comprensión a mis ausencias por terminar esta etapa.

A mis amigas de la universidad, Antonia, Q'ala e Ignacia por el cariño, amistad y la importancia del ser uno, el valor de los sueños y las metas. Al grupito de lanzas internacionales, Ara, Paulo, Cami y Leandro por lo importante de la simpleza, la chacota y las risas para enfrentar las etapas de la vida. Especialmente a Leandro por un último abrazo bien dado y la enseñanza de la existencia después de tu partida.

Por la paciencia, tiempo, ayuda, entusiasmo y compañía a las personas involucradas en las distintas etapas de esta investigación.

A Javi, Pato, tío Gerardo y los gatos, en la tercera dimensión y estética. A Bastián por la compañía, interés y aterrizaje a la realidad para hacer de este trabajo, la universidad, los proyectos e ideas procesos algo más livianos y funcionales. A Ivonne y nuevamente a Bastián por asistir a las preparaciones y actividades de la hostil y accidentada visita a terreno. A Javiera Zuñiga, por sus constantes ayudantías, orientaciones y muestras de vocación a la ciencia y el mar.

Por sus aportes y tiempo a las profesionales consultadas para encaminar la investigación, Francisca del Castillo, Lunna Iturra y Kathia Burdiles Reyes. Además, a los consejos y apoyo de la profesora Joselyn Arriagada que ayudó a descifrar la estructura inicial de la investigación y al profesor Pablo Sarricolea por aprendizaje y confianza en la creación de conocimiento geográfico a partir del uso de drones.

Agradezco especialmente a mi profesora guía Daniela Manushevich Vizcarra por el compromiso, disposición, paciencia y grandes dosis de energía y motivación, quien además confió y permitió sostener y avanzar con los objetivos esenciales de esta investigación en todo momento. A Alejandra Mora Soto, quien transmitió desinteresada e ilimitadamente sus orientaciones, conocimiento y cariño por las algas, el mar y la naturaleza. A ambas, muchas gracias, sin lugar a duda contar ambas guías fue una gran oportunidad y privilegio.

También agradezco mi equipo del FONDART “Q-Bo” que rescata ideales, valores y motivaciones relacionadas con esta investigación.

Por último, agradecer por su flora, fauna, su gente, el silencio profundo y su frío mar a Pupuya, que inspiran calma, intensidad y compañía.

RESUMEN

El estudio de los ecosistemas marinos costeros representa un desafío para el conocimiento de la naturaleza, principalmente por la dificultad de acceso a estos espacios. Actualmente, ante las amenazas e impactos que degradan la naturaleza, la investigación científica facilita iniciativas de conservación y preservación, al generar bases teóricas asociadas a información de las especies marinas y sus dinámicas, como también, acerca de los factores climatológicos, oceanográficos y topográficos que constituyen y afectan estas áreas. Esta investigación contribuye a desarrollar conocimiento a nivel local del Islote de Pupuya, el que resulta crucial para la organización de las comunidades presentes en el océano como base para generar medidas para su protección y conservación.

En esta investigación, se reconoce al Islote de Pupuya como un ecosistema marino-costero óptimo para el desarrollo de alta productividad biológica, que lo constituyen dinámicas particulares de una red trófica donde coexisten tres especies propias de los ecosistemas marinos: el pingüino de Humboldt, el lobo marino común y los bosques de macroalgas.

En esta memoria se caracteriza el contexto físico y biogeográfico del Islote de Pupuya como espacio marino propicio para la presencia de las especies antes mencionadas, a través de una caracterización topográfica del Islote, junto con la identificación y descripción de la ocupación de las tres especies, como también, con la identificación de relaciones espaciales de ocupación entre las especies frente a los factores climáticos, topográficos y oceánicos, con el apoyo de herramientas como el uso de drone, imágenes satelitales, herramientas digitales y visitas a terreno.

El Islote se compone de 4 promontorios principales, que constituyen una superficie total aproximada de 40.596 m², y cuya cima se encuentra cercana a los 42 metros de altura. Este espacio a su vez, se encuentra zonificado, de acuerdo con la investigación realizada por Fundación Kennedy, en 5 espacios diferenciados: Mesetas de Escasa Presencia Reproductiva; Mesetas Reproductivas; Zona Intermareal; Zonas de Roqueríos y Acantilados; y Cuevas. Estas zonas tienen características particulares de relieves, altura y formas, como también restringen o permiten la ocupación de las especies de la red trófica en estudio. Responden ante la exposición constante a factores bióticos y abióticos como las lluvias, mareas, oleaje, vientos, entre otros, como también al uso de hábitat, reproducción y descanso por parte de las especies presentes.

Con esta investigación se determina que el Islote se constituye de procesos, fenómenos y espacios que sostienen las dinámicas de las comunidades biológicas que habitan en él. El Islote permite un flujo energético de una red trófica que involucra a las especies señaladas, y consecuentemente, las especies superponen su ocupación según sus necesidades con ciertas restricciones que permiten la coexistencia y supervivencia a distintas escalas, por lo tanto, su alteración impacta en el equilibrio ecosistémico marino. Corresponde a una formación rocosa aislada, con características particulares como la influencia de la corriente de Humboldt y la surgencia, que permiten el equilibrio y preservación de las especies que lo habitan.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	7
1.1 Introducción	7
1.2 Planteamiento del problema.....	8
1.3 Área de estudio	10
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo General.....	13
1.4.2 Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO	14
2.1 Surgencia costera.	14
2.2 La Corriente de Humboldt	15
2.3 Islote de Pupuya.....	16
2.3.1 Elementos de zonificación topográfica del Islote de Pupuya.....	17
2.4 Nicho ecológico	18
2.5 Cadena trófica de los ecosistemas marino-costeros.....	19
2.6 Bosques de macroalgas como especie ingeniera del ecosistema marino del Islote22	
2.6.1 Aportes del nitrato (NO ₃) en bosques de macroalgas.....	23
2.7 El pingüino de Humboldt en la red trófica del ambiente marino-costero.....	24
2.8 El lobo marino común como depredador tope y especie clave en ambientes marino-costeros.....	26
2.9 Levantamiento de información satelital.....	27
2.10 Fotogrametría.....	28
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	31
3.1 Modelamiento físico del Islote de Pupuya.....	31
3.1.1 Levantamiento aerofotogramétrico con dron	31
3.1.2 Procesamiento fotogramétrico.....	32
3.1.3 Levantamiento de información topográfica en terreno.....	32
3.1.4 Zonificación del Islote de Pupuya mediante aerofotogrametría y visita a terreno	

3.2	Ocupación de especies.....	33
3.2.1	Identificación de ocupación del pingüino de Humboldt a partir de visita a terreno. 33	
3.2.2	Identificación de ocupación de lobo marino común a partir de aerofotogrametría.....	34
3.2.3	Localización de bosques de macroalga a partir de imágenes satelitales.	35
CAPÍTULO 4: RESULTADOS		38
4.1	Caracterización topográfica y zonificación del Islote de Pupuya.....	38
4.1.1	Meseta reproductiva	41
4.1.2	Meseta con escasa presencia reproductiva (MEPR).....	43
4.1.3	Zona Intermareal.....	44
4.1.4	Cuevas	47
4.1.5	Roqueríos y Acantilados.....	49
4.2	Caracterización y descripción de la ocupación de especies que habitan el Islote de Pupuya.	51
4.2.1	Lobo marino común en el Islote de Pupuya	53
4.2.2	Bosques de macroalgas en el Islote de Pupuya	55
4.2.3	Pingüino de Humboldt en el Islote de Pupuya	57
CAPITULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		60
BIBLIOGRAFÍA.....		65
ANEXOS		73
	Anexo N° 1: Ficha tipo de muestreo de especies.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Zonas del Islote de Pupuya según la Fundación Kennedy	18
Tabla 2:	Transferencia de energía en la forma de nutrientes o alimentos entre diversos sistemas, ambientes y/o hábitats.....	21
Tabla 3:	Planificación de vuelo Islote de Pupuya.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa general de ubicación del Islote de Pupuya.....	12
Figura N°2:	<i>Esquema metodológico</i>	37
Figura N°3:	Zonificación del Islote de Pupuya - Perfil sotavento.....	38

Figura N°4: Zonificación del Islote de Pupuya - Perfil barlovento.....	39
Figura N°5: Cartografía de Zonificación del Islote de Pupuya	40
Figura N°6: Vista general de la Meseta reproductiva	41
Figura N°7: Ocupación del Guanay en la Meseta Reproductiva.....	42
Figura N°8: Meseta con Escasa Presencia Reproductiva (MERP)	43
Figura N°9: Zona intermareal.....	45
Figura N°10: Vista cenital de planicie rocosa de descanso	46
Figura N°11: Cuevas	47
Figura N°12: Traslape de zonas de ocupación de lobo marino común y pingüino de Humboldt.....	48
Figura N°13: Cueva con presencia de Piuchén	49
Figura N°14: Vista aérea de roqueríos y acantilados	50
Figura N°15: Ocupación y red trófica del Islote de Pupuya.....	51
Figura N°16: Cartografía de Ocupación según especie del Islote de Pupuya	52
Figura N°17: Ocupación de lobos marinos en zona de barlovento	54
Figura N°18: Ocupación de algas en la Zona Intermareal del Islote de Pupuya	57
Figura N°19: Cueva ocupada por ejemplares de pingüino de Humboldt.....	57
Figura N°20: Ejemplo de cueva de pingüino de Humboldt	58
Figura N°21: Anidación de pingüino de Humboldt	59

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

La zona costera del Chile central está definida a nivel mundial como uno de los 34 “hotspots” de biodiversidad, especialmente debido a las altas tasas de endemismo de especies y el grado de amenaza atribuido al creciente uso y degradación de los ecosistemas y territorios para actividades antrópicas (Mittermeier et al., 2004; Myers et al., 2000).

Las principales amenazas a la biodiversidad y los ecosistemas están en constante aumento y los impactos negativos de la degradación de hábitats afectan a las especies marinas, lo cual se ha reflejado en la proliferación de enfermedades, alteración en el funcionamiento de las comunidades, disminución de ejemplares de especies, o incluso, en la extinción de algunas de ellas (Mancera-Pineda et al., 2013).

Esta investigación propone aportar datos sobre un ecosistema marino-costero del Chile central llamado Islote de Pupuya, con la descripción del contexto físico y biogeográfico a partir de la zonificación del promontorio rocoso y la identificación de zonas ocupación de tres especies nativas que se encuentran dentro de una red trófica marina: el lobo marino común (*Otaria flavescens*), en Categoría de Conservación, es de Preocupación menor según Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (RCE) (Ministerio del Medio Ambiente, 2022a), siendo un mamífero depredador con un rol clave en la estructuración de las comunidades marinas con gran influencia sobre las comunidades y el ecosistema (Oliva et al., 2016); el pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) especie en Categoría de Conservación Vulnerable según Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres (Ministerio del Medio Ambiente, 2022b); y macroalgas (*Macrocystis pyrifera*) (en adelante, denominados genéricamente como “bosques de macroalgas”) las cuales constituyen hábitat, refugio y alimento para otras especies, cumpliendo un rol fundamental para organización y coexistencia de las comunidades de organismos (Plana et al., 2007).

A escala global la investigación de los ambientes marino-costero representa un gran desafío para el conocimiento de la naturaleza debido a la baja exploración histórica de estos espacios y la dificultad de acceso a estas áreas, lo cual se condice con la menor información que se tiene respecto a los ecosistemas terrestres (Mancera-Pineda et al., 2013). Por lo tanto, el conocimiento tanto de la ocupación de las especies en el Islote de Pupuya como de las zonas topográficas del Islote permitirán reconocer la información integral de este ecosistema marino-costero lo cual podría facilitar bases teóricas para iniciativas de difusión o bien de conservación y preservación de estos ecosistemas. Lo que resultaría una herramienta de utilidad para contrarrestar los impactos perjudiciales que se asocian permanentemente a estos espacios (Jorquera-Jaramillo et al., 2012).

Esta investigación plantea conocer la ocupación del pingüino de Humboldt, el lobo marino común y los bosques de macroalgas, con la caracterización del contexto biótico y abiótico del Islote de Pupuya. Particularmente, en un escenario de interacción dentro de una red trófica

marina expuesta a condiciones de vientos, marea y un espacio rocoso con particularidades topográficas.

La importancia de este estudio y propuesta metodológica consiste en la utilización de técnicas de caracterización biogeográficas digitales para identificar la ocupación de especies, como para describir físicamente un espacio marino-costero con condiciones que permiten la presencia de las tres especies marinas mencionadas. En este sentido, la caracterización el contexto físico y biogeográfico del Islote de Pupuya permite una aproximación inicial del ecosistema como espacio marino propicio para la presencia de pingüino de Humboldt, bosques de macroalgas y lobo marino común. Además, el uso de drones e imágenes satelitales, con posteriores procesamientos aerofotogramétricos y teledetección con fotointerpretación y validación de terreno, constituye una propuesta escasamente explorada en biogeografía para ecosistemas marino-costero de rápida ejecución y, además, de ser una herramienta segura que puede ser replicable para el estudio de hábitats de las especies marinas.

1.2 Planteamiento del problema

Los ambientes marino-costeros, se caracterizan por ser espacios que tienen influencia directa del mar, tales como los estuarios, manglares, arrecifes, bahías, roqueríos, playas, dunas, zonas de afloramiento, entre otros (Cortés et al., 2020).

En América Latina y el Caribe, los territorios marino-costeros, poseen alta amplitud latitudinal, y por lo tanto, se caracterizan por tener alta diversidad biológica, debido a que sus costas están conformadas por condiciones oceanográficas, climáticas, hidrográficas y morfológicas heterogéneas, que junto con otras variables terrestres que se asocian a las zonas costeras, tales como la descarga de los ríos, los usos de suelo y las actividades cotidianas y productivas, relacionadas al factor antrópico, que se desarrollan a niveles continentales, que condicionan la presencia, distribución y desarrollo de distintas especies marinas (Cortés et al., 2020).

Una muestra de lo anterior, en el caso particular de Chile, y referente a la extensa amplitud latitudinal, se ve representada en la diversidad de ecosistemas y ambientes marino-costeros (Cortés et al., 2020), los que además se relacionan con la acción de las corrientes marinas y la abundancia de los ríos que desembocan al mar, aportando nutrientes y otros factores que caracterizan hábitats que proveen condiciones y zonas de refugio favorables para diversas especies marinas (Manzur, 2005).

El territorio marítimo chileno es reconocido por los buenos indicadores de salud oceánicos, ofreciendo múltiples servicios ecosistémicos, tanto para el mundo como para la dinámica interna del país, entre los cuales se encuentran el turismo, la extracción de recursos bentónicos y la pesca. Es en este sentido que Chile se considera como un país costero, y entre sus habitantes existen relaciones directas e indirectas con el mar, en un abanico de

perspectivas que van desde los bienes y servicios o bien desde la espiritualidad, mitos y leyendas (Rovira & Herreros, 2016).

A raíz de lo anteriormente expuesto es que se puede identificar presencia de ecosistemas prístinos de alto endemismo, sin embargo, estos ambientes se han visto alterados ampliamente por el cambio climático, el aumento de la temperatura del mar, la desoxigenación, acidificación, y aumento del nivel del mar, así como múltiples presiones de origen antrópico que amenazan los hábitats y comunidades biológicas que habitan estos espacios, incluso llevándolas al colapso de los ecosistemas, y consecuentemente, a los servicios ecosistémicos que proveen (Cortés et al., 2020; Rovira & Herreros, 2016).

Dentro de las bases teóricas referentes a los ecosistemas marinos que existen, se reconocen estudios que abordan las especies tanto en su biología como su ecología (Fernández et al., 2020; Oliva et al., 2016; Weichler et al., 2004). No bien, existe poco conocimiento de estos espacios desde perspectiva análisis multivariable y multiescalar relacionado con los ecosistemas marinos, por lo que su conocimiento se ha mantenido incipiente y limitado, lo cual se puede atribuir a una serie de factores, entre los que destacan la brecha de conocimiento respecto con los ambientes terrestres, la dificultad de acceso, la gran extensión litoral, y la complejidad de estudiar la diversidad de los factores físicos y biológicos de los sistemas marinos, motivos que configuran restricciones metodológicas y prácticas (Mancera-Pineda et al., 2013; Vasquez et al., 1998).

Ahora bien, el conocimiento de estos ecosistemas permite establecer clasificaciones que contribuyen a desarrollar o mejorar los instrumentos de gestión integrada de la zona costera existentes, así como también la planificación espacial, y aporte en la toma de decisiones relacionadas sobre la protección ecosistémica y planes de recuperación de especies relacionadas con estos espacios (Universidad Austral de Chile, 2006). Según Rovira & Herreros (2016) las clasificaciones actuales de los ecosistemas marinos presentes en Chile se fundamentan en datos sobre aspectos bióticos o abióticos, como la morfología, surgencias, exposición, nutrientes, especies presentes, radiación solar, concentración de clorofila, climatología, distribución y presencia de peces, macroalgas e invertebrados, entre otros.

Con relación a lo anterior, el Islote de Pupuya, ubicado en la comuna de Navidad, en la región de O'Higgins, territorio que corresponde al objeto de esta investigación, se encuentra encasillado, según la clasificación de Spalding et al. (2007), dentro de la ecorregión marina del Chile Central, territorio que también es considerado dentro de la Zona zoogeográfica litoral V (Transicional de Chile centro-centro) (Universidad Austral de Chile, 2006), clasificaciones que han sido consideradas en acciones de protección de ecosistemas.

Adicionalmente, y como antecedente que aportan en la concepción de la amenaza que existe sobre estos ecosistemas, Marquet et al. (2019), enfatizan en que únicamente el 23% de la zona económica exclusiva se encuentra protegida bajo la figura de "parque marino", correspondiendo a zonas donde no existe poblamiento cercano, sin embargo, las ecorregiones

cercanas a la zona costera, dentro de las primeras 30 millas de la costa, la protección es inferior al 0,5%.

Así, en el contexto de degradación de los ambientes marino-costeros y el conocimiento limitado que se tiene sobre estos ecosistemas, surge la necesidad de generar conocimiento que permita tener una perspectiva integral de estos espacios, para posteriormente lograr proponer acciones para la conservación y protección de ecosistemas y especies. De esta manera, el área del presente estudio corresponde al Islote de Pupuya, un ecosistema marino-costero característico de las costas de Chile central influenciado por la Corriente de Humboldt y condiciones de surgencia que transportan nutrientes favorables para la biodiversidad (Weichler et al., 2004).

Es un Islote compuesto de diferentes zonas, que modelan espacios fundamentales para la supervivencia de especies silvestres marinas (Arriagada et al., 2018), tales como: el pingüino de Humboldt, consumidor superior que controla poblaciones de peces presentes como las sardinas y anchovetas (B. Fuentes et al., 2018); el lobo marino común, depredador tope, que contribuye con el rol de transferencia energética y regulación de población de otras especies (Oliva et al., 2016); y los bosques de macroalgas, reconocidas como “especies ingenieras de ecosistemas”, al cumplir el rol ecológico de estructuradoras de comunidades (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Estas especies, que son particularmente vulnerables ante los impactos antrópicos, como la contaminación o eutrofización a raíz del cambio climático (Cortés et al., 2020), se encuentran a su vez potencialmente amenazadas por otras actividades tradicionales propias de la comuna en que se emplaza este territorio, como la extracción de recursos, actividades deportivas y turísticas (Gobierno Regional de O’Higgins, 2018).

Por todo lo anteriormente expuesto, es que resulta necesario conocer de mejor manera el Islote de Pupuya incluyendo las especies que lo habitan y elementos que lo componen, y que corresponde a uno de los principales objetivos de este estudio, el cual contribuirá a conocer particularidades físicas y biogeográficas del Islote de Pupuya, enfocado en la caracterización de la ocupación espacial de las tres especies que coexisten en el promontorio rocoso y se desarrollan dentro de una particular red trófica: el pingüino de Humboldt, el lobo marino común y los bosques de macroalgas.

1.3 Área de estudio

El área de estudio se sitúa en la comuna de Navidad, localizada al noroeste de región de O’Higgins, la cual limita al oeste con el Océano Pacífico; al norte con las comunas de Santo Domingo y San Pedro; y al sur y sureste con Litueche. Se trata de un espacio con representaciones bióticas y abióticas con alto valor natural y cultural, caracterizándose por una alta diversidad de elementos geológicos, topográficos y de especies de flora y fauna (Ilustre Municipalidad de Navidad, 2021).

La comuna de Navidad ha tenido en los últimos años un crecimiento poblacional y una expansión urbana dispersa y semiconcentrada. Su vocación económica tiene una alta dependencia de las actividades que se sustentan principalmente en la naturaleza y la cultura local, las cuales están asociadas a la agricultura campesina, pesca, recolección de algas, turismo, actividad forestal, construcción y a los servicios que ofrecen las localidades con mayor desarrollo urbano (Ilustre Municipalidad de Navidad, 2021). En relación con los antecedentes provenientes del Censo de Población y Vivienda realizado en el año 2017, en la comuna habitan 6.641 personas reflejando un aumento de habitantes de un 22,48% respecto al anterior Censo realizado en el año 2002, datos que no consideran a la población visitante no residente del territorio (Ilustre Municipalidad de Navidad, 2021).

El territorio de la comuna de Navidad se caracteriza por el clima templado cálido de Chile central llamado Secano Costero, con alta influencia oceánica, sequía prolongada y concentración de lluvias en los meses de invierno, el cual de acuerdo con la Clasificación climática de Köppen, se reconoce como “Mediterráneo de veranos secos y frescos”, y cuya nomenclatura de clase es Csbn. Dichas condiciones climáticas están determinadas por la influencia oceánica y por la corriente de Humboldt, además, existe una predominancia de vientos del oeste que en distintas condiciones se modifican en su proveniencia suroeste o noroeste, que en conjunto al comportamiento del Anticiclón del Pacífico generan condiciones de vientos, oleaje y alta nubosidad en los sectores costeros (Ilustre Municipalidad de Navidad, 2021).

El Islote de Pupuya ($33^{\circ}58'22.44''S$ - $71^{\circ}53'39.82''O$), es el área específica contemplada para esta investigación y está ubicado en el territorio marítimo de la comuna de Navidad, al norte de la bahía de La Vega de Pupuya, representando un ecosistema rocoso aislado de difícil acceso que se encuentra cercano a la franja litoral compuesta por las playas de La Vega de Pupuya, Matanzas, Chorrillos, Puertecillo y La Boca de Navidad. Se sitúa a 850 metros mar adentro desde la localidad de La Vega de Pupuya y a menos de 600 metros en línea recta desde la costa, tiene una superficie aproximada de 3 hectáreas y está considerada como un área importante para biodiversidad y aves (IBA) debido a la presencia significativa de especies amenazadas en su espacio (Arriagada et al., 2018). Finalmente, junto a otros roqueríos y ecosistemas de la comuna, es definido por la Ordenanza Ambiental Comunal de Navidad como Sitio de Alto Valor Ambiental, debido a su importancia ambiental, ecosistémica y paisajística (Ilustre Municipalidad de Navidad, 2017).

A continuación, en la Figura N°1 se presenta la cartografía general del área de estudio, que contribuye a la contextualización situacional de esta investigación en la realidad regional y a escala comunal.

Figura 1: Mapa general de ubicación del Islote de Pupuya



Fuente: Elaboración propia, 2022.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Caracterizar el contexto físico y biogeográfico del Islote de Pupuya como espacio marino propicio para la presencia de pingüino de Humboldt, bosques de macroalgas y lobo marino común.

1.4.2 Objetivos Específicos

- I. Caracterizar topográficamente el Islote de Pupuya a partir de fotointerpretación y validación de terreno.
- II. Identificar la ocupación de tres especies de la red trófica del Islote de Pupuya: pingüino de Humboldt, bosques de macroalgas, y lobo marino común.
- III. Describir la ocupación del pingüino de Humboldt, bosques de macroalgas, y lobo marino común respecto a factores climáticos, topográficos y oceanográficos.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

2.1 Surgencia costera.

Respecto a lo expuesto por Obeso-Nieblas et al., (2012) las propiedades físicas de las aguas marinas, como la temperatura, salinidad, densidad, entre otras, son parte de la dinámica de los océanos, es decir, generan movimientos, patrones de circulación espacio-temporales a partir de diversas gradientes que se relacionan con las características morfológicas de la tierra, con la energía del viento y con otras condicionantes.

En el caso del fenómeno de surgencia, este es parte de la dinámica oceánica-atmosférica y tiene impacto en la productividad ecosistémica marina. Se relaciona con los vientos en la superficie del océano y la rotación de la tierra que en conjunto, provocan la circulación de nutrientes tales como el nitrato, por lo tanto, se considera como un proceso físico-biológico (Marin et al., 1993). Para Kuznar et al.: *“La surgencia es un fenómeno oceanográfico que produce un enriquecimiento de nutrientes de las zonas eufóticas generando un florecimiento del fitoplancton, crucial en la productividad de muchas zonas costeras en Chile”* (2009, p. 189).

De acuerdo con la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, el agua que emerge a la superficie como resultado de la surgencia es comúnmente más fría y rica en nutrientes. Estos nutrientes “fertilizan” las aguas superficiales, por lo que suelen tener alta productividad biológica. Por lo tanto, normalmente se encuentran buenas zonas de pesca donde el la surgencia es más común (NOAA, 2023)

El Comité Oceanográfico Nacional alude de forma más detallada a este concepto, considerando las particularidades del territorio chileno como parte de las variables a considerar al momento de estudiar este fenómeno:

Debido a la orientación de la costa y a la dirección de los vientos, el fenómeno de surgencia ocurre en gran parte de la costa chilena. Sin embargo, es usual que estos procesos se presenten localizados en lugares específicos, como por ejemplo, asociados a la presencia de puntas y cabos, donde hay vientos intensos. Las principales áreas de surgencia se ubican al sur de Arica, sur de Iquique hasta Punta Lobos, Antofagasta-Mejillones, al sur de Coquimbo, al sur de Valparaíso, San Antonio y la zona comprendida entre Talcahuano y el Golfo de Arauco. Estas áreas coinciden con las zonas donde se localizan, en forma abundante, las principales especies que componen la pesquería pelágica chilena (Comité Oceanográfico Nacional 2022, p. 1).

En síntesis, se considera la surgencia como un fenómeno costero, donde los sistemas de presión atmosférica generan patrones de viento con dirección al norte y paralelamente respecto al movimiento rotacional de la tierra, las aguas superficiales son desplazadas hacia el Oeste (en el caso de Chile) sustituyéndose por las frías aguas profundas llenas de nutrientes

y plancton hacia la superficie, remplazando a las aguas más cálidas que son desplazadas (Concha, 2020; Manzur, 2005).

2.2 La Corriente de Humboldt

Existen dos grandes corrientes en el sistema marítimo chileno; la Corriente de Humboldt que fluye hacia el norte, y la Corriente de Cabo de Hornos hacia el sur. La Corriente de Humboldt fluye desde la península de Taitao hacia el norte, y tiene como consecuencias aguas ricas en minerales, plancton y peces. Esta corriente, junto al anticiclón del Pacífico Sur Oriental (APSO) son determinantes del clima del territorio nacional que es característicamente oceánico (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

De forma particular, al referirse a Chile respecto al Sistema de Corriente de Humboldt, se señala que:

Las aguas que bañan las costas chilenas están dominadas por el Sistema de Corriente de Humboldt (sch), el cual es el más productivo del mundo. Presenta una alta productividad primaria asociada con eventos de surgencia impulsados por el viento en diferentes intensidades y frecuencias a lo largo de la costa sudamericana (Strub et al. 1998). El sch se extiende desde la costa oeste de América del Sur, desde el sur de Chile (alrededor de 42°–45° S) hasta las Islas Galápagos en Ecuador (Montecino et al. 2005). Es la porción oriental que fluye hacia el Ecuador del giro anticiclónico del Pacífico sudoriental, limitado al norte por la Corriente Ecuatorial del sur (ces) y al sur por los West Wind Drift (wwd; Fig.3) (Concha, 2020, p.7).

Las surgencias de la corriente de Humboldt son consideradas como uno de los sistemas más productivos del planeta, está caracterizada por flujos de agua fría superficial subantártica rica en nutriente hacia el norte (Thiel et al., 2007) por este motivo, tanto las aguas marinas de Perú como de Chile, son consideradas como una de las más productivas del mundo, lo que explica la existencia de grandes pesquerías con foco en la abundancia de anchoveta. La costa chilena es un sitio de alta productividad de especies marinas, principalmente debido a la influencia de los sistemas de surgencias de la corriente de Humboldt (Concha, 2020). Esto a propósito de la disponibilidad permanente de nutrientes (Graco et al., 2007) y un flujo de nutrientes disponibles para el sustento de las cadenas tróficas en los distintos niveles de transferencia energética (Cushing, 1971).

La abundancia de especies en la corriente está condicionada por algunos fenómenos climáticos que la afectan, tales como el fenómeno de La Niña, la cual se caracteriza por traer temperaturas oceánicofotoas frías, ricas en minerales a través del movimiento de ondas atmosféricas y oceánicas, lo cual refuerza a la Corriente de Humboldt, aumentando la productividad de biodiversidad marina hacia el Este. Contraponiéndose a los inconvenientes que trae el fenómeno de El Niño, tales como los cambios de temperatura que alteran en las condiciones ambientales de los ecosistemas marinos, relacionado con la represión de las dinámicas a las que puede llegar esta corriente, tales como los cambios bioquímicos (aumento

de temperatura, disponibilidad de oxígeno y dióxido de carbono), trayendo efectos en el funcionamiento normal de las cadenas tróficas marinas o bien en las poblaciones de especies (Concha, 2020; Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Esta corriente es un ecosistema de alta prioridad al ser hábitat de múltiples especies emblemáticas y amenazadas siendo por ejemplo, parte crucial de rutas migratorias de especies como las ballenas (OCEANA, 2017). Cabe destacar que esta fría corriente actúa como una barrera para la migración de especies que se encuentran al norte, provenientes de las aguas templadas cercanas al Ecuador, lo que indica la casi inexistente presencia de especies principalmente de flora marina en las aguas que son influidas por la corriente de Humboldt (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Pese a la importancia que tiene la corriente de Humboldt para las distintas especies, y el comportamiento del planeta, en la sección chilena de la corriente de Humboldt, tan solo el 0,1% de la porción de costa asociada a la corriente cuenta con algún tipo de figura de protección, por lo tanto, el nivel de protección de los ecosistemas marinos también es bajo (Marquet et al., 2019).

2.3 Islote de Pupuya

El concepto de Islote es fundamental para esta investigación, dado que corresponde a la unidad ecosistémica marino-costera en caracterización en este estudio y, según se define en la iniciativa de la Fundación Kennedy, a través del proyecto de investigación y valoración de la avifauna asociada al Islote de Pupuya, este espacio corresponde a:

(...) una zona de masa terrestre despoblada que está rodeada por agua, que es de menor tamaño que una isla, de hecho, la palabra islote proviene del diminutivo de isla. Los islotes albergan menor biodiversidad que las islas, sin embargo, juegan roles fundamentales como sitios de reproducción, descanso, alimentación y hogar de diversas especies. Sumado a esto, forman parte de la cultura del lugar en el que se encuentran (Arriagada et al., 2018, p. 55).

En Chile existen varias islas e islotes que están separados del continente y se encuentran consideradas como áreas de alta productividad biológica, siendo parte de ecorregiones marinas influenciadas por factores climatológicos y oceanográficos, lo que guarda relación con constituir hábitat de poblaciones de especies avifauna y fauna marina (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). Además, importante destacar que:

Su morfología es, principalmente, fruto de la acción marina sobre estos materiales estructurales, de forma que, por su exposición al oleaje y a la maresía, presentan a menudo acantilados verticales, extraplomos y relieves abruptos, calas y bahías, así como superficies aterrazadas con procesos de erosión eólica y meteorización. En definitiva, la variedad morfológica costera es una característica propia de los sistemas de islote (Planas et al., 2017, p. 25).

Dada la diversidad y abundancia de especies, como también la identificación de especies como el lobo marino, pingüino de Humboldt o el murciélago vampiro piuchén, el Islote de Pupuya es considerado uno de los sitios más importantes de la costa de Chile (Unión de Ornitólogos de Chile, 2008).

Además, la presencia de las especies consideradas en este estudio (pingüino de Humboldt, bosques de macroalgas y lobo marino común), en el Islote de Pupuya demuestra su importancia como hábitat en el equilibrio, funcionamiento y regulación de los ecosistema marino (Pérez-Matus & Ezquer, 2018), y a su vez, la ocupación de estas especies modela la heterogeneidad de las características ambientales de este sitio, y las amenazas influyen directamente su ocupación (Isasi-Catalá et al., 2016).

2.3.1 Elementos de zonificación topográfica del Islote de Pupuya

El Islote de Pupuya es un ecosistema marino, en el cual, la Fundación Kennedy a través del proyecto de investigación y valoración de la avifauna asociada al Islote de Pupuya, identifica y describe subdivisiones de acuerdo con las especies avistadas, en este sentido, este método de zonificación resulta sencillo para las evaluaciones de este ecosistema de acuerdo con la escasa información espacial disponible permitiendo una subdivisión en la cual se logra delimitar y describir el Islote en términos topográficos, asociado a los usos de las áreas por las especies.

De acuerdo con la información secundaria disponible en Arriagada et al. (2018), existen cinco diferentes zonas en el Islote que se pueden reconocer en la Tabla 1, cada uno propiamente caracterizado, que aluden a la distribución y patrones topográficos del Islote, y como en ellos se genera ocupación de diferentes especies que habitan dicho hábitat:

Tabla 1: Zonas del Islote de Pupuya según la Fundación Kennedy

Zonas del Islote de Pupuya según la Fundación Kennedy	
Subdivisiones según especies avistadas	Características por zona
Meseta reproductiva	Presencia de variadas especies de aves y sus nidos, identificándose abundantes nidos de guanay y pelicanos principalmente. Es una zona de alrededor de 1800 m ² , que se encuentra expuesta de mayor manera al viento y lluvia.
Meseta con escasa presencia reproductiva	Zona de descanso de lobos marinos y muy baja presencia de nidos de aves.
Zona Intermareal	Se identifican aves que se alimentan en el intermareal como el playero blanco, zarapito y el pilpilén común y negro, además de la existencia de algas y moluscos.
Cuevas	Albergan la presencia de ejemplares de piuchén (<i>Desmodus rotundus</i>).
Zona de Roqueríos y Acantilados	Marcada por la presencia de anidación y constituir asimismo una zona de descanso de aves. En esta subdivisión del Islote se identifican aves anidando tales como, el pingüino de Humboldt (<i>Spheniscus humboldti</i>), piquero (<i>Sula variegata</i>), gaviotín monja (<i>Larosterna inca</i>), lile (<i>Phalacrocorax gaimardi</i>) y pilpilén negro (<i>Haematopus ater</i>). Las cuevas son de origen natural o bien construidas por la avifauna con la finalidad de anidar en ellas, son de diversos tamaños y se distribuyen de forma dispersa por todo el Islote

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Arriagada et al. (2018)

2.4 Nicho ecológico

Las especies tienen un determinado lugar donde vivir al cual se adaptan; son lugares donde tienen presencia y lo habitan, al cual se le llama hábitat. Ahora bien, el hábitat es compartido por diversas especies y cada una de ellas tiene una función en este espacio, el cual puede ser modelado a partir del nicho ecológico. En este sentido, las especies están determinadas por variables ambientales que caracterizan el hábitat, y en cada una de estas variables existe un rango determinado para la supervivencia de una especie en un área determinada en la que han logrado adaptarse y especializarse según las competencias ambientales (Morlans, 2004).

Para esta investigación, el nicho ecológico corresponde a un espacio teórico que permite representar gráficamente la relación entre las condiciones bióticas y abióticas donde habita

una especie en el espacio ambiental, inicialmente, con base en variables que no presentan dinamismo. Esto quiere decir que la representación del nicho ecológico se puede basar en la modelación determinada por variables topográficas, macroclimáticas, orientación del terreno, elevación, insolación, etc. Los cuales son factores que no interactúan dinámicamente con la especie, sino que son condicionantes, a las que Hutchinson llamó “scenopoéticas”, las cuales permiten modelar a lo que se conoce como nicho fundamental (Soberón & Miller, 2009)

Ahora bien, la representación nicho ecológico, con presencia de factores dinámicos como la superposición de elementos bióticos, tales como, la presencia de otras especies, competidores, depredadores, ocupación del espacio, barreras bióticas, llevan a modelar el nicho realizado, por lo tanto, es una representación del espacio geográfico caracterizada y delimitada por factores ambientales que pueden interactuar dinámicamente con la especie, lo cual se puede graficar mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Soberón & Miller, 2009)

Considerando la bidireccionalidad de relaciones propuestas para el nicho ecológico, las dinámicas tróficas en un ambiente pueden incidir en los elementos considerados para abordar el nicho ecológico, *“El nicho ecológico expresa la interrelación del organismo con los factores ecológicos, es decir, la posición o función de una población o parte de ella en el ecosistema. La función que cumple cada especie en el ecosistema, o sea, su nicho ecológico, es determinada por una serie de factores, siendo el principal la competencia con otras especies”* (Morlans, 2004, p. 13).

Ahora bien, en esta investigación identificar el estado de las poblaciones animales en la dimensión espacial de variables como la ocupación, puede ser la base para modelar nichos ecológicos que permitan generar planes de manejo y conservación de las especies, y los modelos de ocupación son una alternativa para la evaluación de cambios de los estados poblacionales, pues abordan la detectabilidad de la especie en un espacio, con lo cual se pueden generar estimaciones de probabilidades de que una especie se encuentre presente en un área o no (Isasi-Catalá et al., 2016)

En este sentido, dependiendo de la escala que se utilice, la ocupación puede modelar la heterogeneidad entre sitios a partir de covariables como las características ambientales o la presencia de amenazas, lo cual, dependiendo de la porción de un área muestreada que es ocupada por una especie en un periodo de tiempo determinado, puede ayudar a inferir diversas condiciones del uso de hábitat de la especie (Guallichico, 2021; Isasi-Catalá et al., 2016).

2.5 Cadena trófica de los ecosistemas marino-costeros

Los organismos que comparten un mismo hábitat tienen una interacción entre sí (Rodríguez, 2000), y dichas interacciones pueden comprometer a ejemplares de la misma u otra especie. En esta investigación en interacción trófica se consideran las conductas alimentarias, en las

cuales se ciñen redes de traspaso energético a partir de la depredación, y son estas dinámicas mediante las cuales se regulan los hábitats, tanto los depredadores al alimento o la disponibilidad de alimento a los depredadores. En las redes tróficas existen múltiples flujos de energía, que no necesariamente van restringidos linealmente, sino se comportan como redes de interacciones entre especies que no cumplen un único rol, siendo predados o predadores de varias especies a la vez (Pérez-Matus & Ezquer, 2018).

Los análisis de las dinámicas tróficas pueden ser evaluados a distintas escalas para resolver interacciones que van más allá del mismo hábitat, estos factores y procesos son componentes que pueden influir desde hábitats vecinos, por lo tanto, según la escala de análisis pueden tener distintos patrones ecológicos, lo que ha afectado en la estructuración de redes tróficas de los ecosistemas marinos, tales como, arrecifes rocosos, bosques de macroalgas, etc. Incluyendo escalas complejas y poco herméticas, y por lo tanto, es necesario comprender y considerar la influencia de factores y fenómenos externos al sistema o hábitat en investigación, lo cual se puede reconocer en la Tabla 2 (Rodríguez, 2000).

En los ambientes marinos, es posible reconocer flujos de energía a partir de nutrientes de sedimentos erosionados, materia orgánica descompuesta, sedimentos en el flujo de los ríos, en el guano de las aves marinas (incluso en los parásitos que contiene), algas, vertebrados e invertebrados a la deriva y en los fenómenos de surgencias, lo cuales constituyen una fuente de nutrientes para los ambientes pelágicos y bentónicos. Esto quiere decir que en las redes tróficas se identifica, el consumo, hábitos alimenticios y a la vez se puede considerar la transferencia de energía al medio, en los cuales reincorporan a partir de deposiciones, nutrientes disponibles para el medio marino (Rodríguez, 2000).

Tabla 2: Transferencia de energía en la forma de nutrientes o alimentos entre diversos sistemas, ambientes y/o hábitats

Transferencia de energía en la forma de nutrientes o alimento entre diversos sistemas, ambientes y/o hábitats ecológicos	
Sistemas, Ambientes o Hábitats	Vías de transferencia
Sistemas Terrestre y Marino	Flujos de nutrientes, materia orgánica en descomposición y sedimentos desde la tierra al mar a través de ríos, y utilización por organismos marinos costeros.
	Depósito de guano, parásitos o restos sin vida de aves marinas en la costa, y utilización por artrópodos y carroñeros terrestres
	Arribo de algas o restos de invertebrados y vertebrados marinos a la deriva en la costa, y utilización por carroñeros y detritívoros terrestres
Ambientes Oceánico y Costero	Flujo de nutrientes a través de surgencias
Ambientes Pelágico y Bentónico	Flujo de materia y energía entre columna de agua y fondo marino a través de "nieve marina" o restos de algas y animales sin vida
	Defecación en el bentos de organismos de alimentación pelágica
Hábitats vecinos en arrecifes rocosos	Transporte de algas a la deriva desde arrecifes rocosos a sedimentos blandos y utilización de este recurso por especies de este hábitat
	Flujo de algas a la deriva o detritus generado a partir de macroalgas pardas de arrecifes rocosos hacia hábitats vecinos a los de producción, y utilización por invertebrados

Fuente: Elaboración propia, modificado desde Rodríguez (2000)

Ahora bien, para entender las conexiones de transferencia de energía entre especies de un hábitat, se puede reconocer la relación con el entorno, pero primordialmente es necesario conocer los hábitos alimenticios de cada especie en evaluación, con lo cual se logra construir esquemáticamente la red trófica, en la que se puede incluir a todas las especies dentro de un ecosistema, evaluando sus roles desde grandes depredadores hasta organismos microscópicos. Sin embargo, en esta investigación, se considerará evaluar dicho rol de cada especie en un ecosistema en una red sistemática corta debido a que es de mayor facilidad que aquellas más complejas y largas, ya que la variabilidad de relaciones y respuestas entre depredador y presa son altas, y no se manifiestan de manera lineal, lo que permite obtener insumos para comprender la ocupación de las especies en los ecosistemas de manera sencilla (Oliva et al., 2016).

Las cadenas o redes tróficas se estructuran por niveles que van desde; los autótrofos, que no requieren de presas como las macroalgas y el fitoplancton en el nivel 1. En el nivel dos, aquellas especies a los que se les transfiere la energía de las macroalgas o fitoplancton a través de su consumo. Luego, en los niveles superiores se encuentran los consumidores, que

pueden ser omnívoros o carnívoros los cuales consumen a las especies que están en los niveles anteriores, localizándose entre los niveles 3 y 4 (Pérez-Matus & Ezquer, 2018).

En el área de estudio de esta investigación habitan especies que tienen conexiones de transferencia energética con distintos roles en la red trófica señalados en el siguiente apartado:

2.6 Bosques de macroalgas como especie ingeniera del ecosistema marino del Islote

Estudios ligados a las algas marinas, las posicionan como organismos autótrofos fotosintéticos que se presentan como productores primarios y crecen adheridos al sustrato en las zonas litorales y submareales poco profundas del ambiente marino. Las algas cumplen diversas funciones, como por ejemplo, la disminución energética del oleaje que afecta a las costas, son parte de la dieta alimenticia de los humanos y algunos otros animales, o bien, son fuente para otros subproductos utilizados para la cosmética, medicina, fertilizantes y productos industriales (Ministerio del Medio Ambiente, 2018). En general, los bosques de algas y macroalgas constituyen áreas de alta productividad, diversidad y aportan en secuestro de carbono del planeta, además, representan ecosistemas con falta de conservación y sobreexplotación de alto nivel (Marquet et al., 2019).

Entre las tipologías de algas (las cuales se clasifican principalmente por el color), están las algas pardas, entre las cuales se encuentran los géneros *Lessonia*, *Macrocystis* y *Duvillea*, que se reconocen en la bibliografía como “huirales” cuando se agrupan en conjuntos de ejemplares, siendo aquellos, los cuales constituyen los bosques de macroalgas reportados en este estudio. Estas grandes algas forman parte de las comunidades marinas de las zonas intermareales en las costas rocosas del país y, son reconocidas como “especies ingenieras de ecosistemas”, al cumplir el rol ecológico de estructuradoras de comunidades (Ministerio del Medio Ambiente, 2018)

Entre las algas pardas se encuentra la especie *Macrocystis pyrifera*, comúnmente denominada como “huiró” y bajo el reconocimiento por Charles Darwin (uno de los investigadores pioneros en el reconocimiento de esta alga), se identifica sus particularidades ecológicas como hábitat de otras especies en la totalidad de su estructura (Ríos & Mutschke, 2009).

Esta especie es considerada como una especie de importancia para otros organismos, debido a su capacidad de albergar a muchos organismos y su presencia es fundamental para mantener las comunidades ecológicas marinas al ofrecer sustrato, refugio, espacio de asentamiento larval y hábitat para invertebrados y peces juveniles (Plana et al., 2007; Rodríguez, 2000), dando origen a uno de los ecosistemas más ricos y productivos del planeta (Mora-Soto et al., 2020).

Según lo informado por Silva et al. (2017), en los bosques de macroalga se presencian diversas especies submareales, siendo un ejemplo de ello: la anchoveta. Correspondiendo a una especie heterótrofa pelágica que parte de la cadena trófica marina (bajo los niveles tróficos del pingüino de Humboldt y el lobo marino común), la cual está presente en zonas

de surgencia y de forma transitoria en los bosques de algas en búsqueda de alimento (plancton) y protección ante sus depredadores.

Sin embargo, como gran parte de los ecosistemas marino-costeros, la existencia de los bosques de macroalgas, junto a todos los beneficios mencionados que trae su presencia, se ven amenazados principalmente por la extracción industrial con nuevas prácticas poco sostenibles y el fenómeno del Niño (El Niño Southern Oscillation), (Silva et al., 2017)

Con respecto a su distribución, esta especie tiene una amplia presencia tanto en las costas de Océano Pacífico de América del Norte y de América del Sur, convirtiéndose en la especie de alga marina con mayor distribución del planeta (Mora-Soto et al., 2020). Particularmente en Chile, se encuentra desde Tocopilla hasta Cabo de Hornos, utilizando las zonas protegidas y semi-protegidas ante el oleaje, formando bosques densos en aglomeraciones de ejemplares cuya longitud puede alcanzar alrededor de 30 metros (Plana et al., 2007).

Adicionalmente, según señala Ríos & Mutschke (2009), bajo las consideraciones espaciales mencionadas anteriormente, su ocupación está influida por el requerimiento de la disponibilidad de sustrato apropiado para su asentamiento y crecimiento, como roca madre, bloques o cantos, mediante su grampón o disco de adhesión. Dadas las condiciones mencionadas, los bosques de macroalgas están constituidos por comunidades de macroalgas pardas de gran tamaño entre los 5 a 20 metros de profundidad en la zona submareal y están relacionados con la presencia de zonas de alta surgencia (Silva et al., 2017).

2.6.1 Aportes del nitrato (NO_3) en bosques de macroalgas

Como ya se ha mencionado, los ecosistemas marino-costeros son fuertemente influenciados por los aportes de agua dulce, eventos de surgencia y eutrofización (abundancia anormal de nutrientes relacionados con la actividad humana), variables que afectan a los procesos bioquímicos del ecosistema (Fernández et al., 2021).

Particularmente, en este tipo de ecosistema rocoso referido para el estudio del Islote de Pupuya, las especies en evaluación, especialmente las aves guaneras y lobos marinos, influyen la presencia de los bosques de macroalga, dado que son parte del proceso químico mencionado, en el cual el nitrógeno presente en sus excretas, bajo condiciones aeróbicas y bacterianas específicas, se descompone en nitratos que escurren hacia las aguas marinas y consecuentemente, forman parte de los nutrientes disponibles (Sánchez, 2016).

Dado el proceso químico sobre las excretas en los ecosistemas rocosos que aporta nitratos en forma de nutrientes, los bosques de macroalga aprovechan su disponibilidad en medio marino. Estos aportes, ayudan a esta especie en su crecimiento, proliferación y aumento de las tasas fotosintéticas, permitiendo adaptarse a diversas condiciones abióticas y bióticas, inclusive cuando son impactadas por condiciones climáticas como el fenómeno de El Niño, el calentamiento global, y las olas de calor marina (condiciones impactan negativamente a

comunidades de aves guaneras y otras especies marinas) (Fernández et al., 2020, 2021; Tegner & Dayton, 1987).

2.7 El pingüino de Humboldt en la red trófica del ambiente marino-costero

Los pingüinos son aves marinas no voladoras que habitan en tierra y agua, y se han adaptado para ser excelentes nadadores con la ayuda de sus gruesas patas y su cuerpo robusto. En Chile habitan 10 de las 17 especies de pingüino que existen en el mundo, dentro de las cuales, el pingüino de Magallanes y el pingüino de Humboldt se diferencian por ser los únicos que habitan fuera de la región antártica (Ministerio del Medio Ambiente, n.d.).

Esta especie, tal como las aves marinas desarrolla diversas estrategias para alimentarse, sin embargo, la selección de las áreas de alimentación dependen de patrones oceánicos como corrientes, temperatura, salinidad, áreas de alta producción, áreas de convergencias, entre otras condiciones que se restringen a hábitats que proporcionan condiciones que satisfacen sus necesidades (Harries, 2004). En este sentido, en la extensión de la costa chilena, se generan singularidades dada la variación territorial, desde aguas subtropicales en los 18°S hasta los mares templados fríos en los 56°S, que junto a la influencia de la corriente de Humboldt, surgencias costeras, eventos de El Niño, factores que dan paso a la distribución de diversas especies de aves marinas dentro de las cuales se encuentra el pingüino de Humboldt (Simeone et al., 2003).

El pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*), también es conocido como “pájaro Niño” “patranca”, “pachanca” o “pájaro bobo” es la especie de ave marina endémica de la corriente de Humboldt, y se distribuye a lo largo de la costa de Perú y Chile (Luna, 2016), la cual contiene una alta riqueza en nutrientes, que aportan en la red trófica del pingüino de Humboldt (Áreas Costeras y Recursos Marinos, 2005).

Esta especie se encuentra en los niveles superiores de la red trófica marina, la cual consume especies vertebradas e invertebradas (principalmente anchovetas) (Cardenas et al., 2011; Luna, 2016; Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, n.d.). Su implicancia en las redes tróficas marinas es fundamental dadas sus altas necesidades energéticas provenientes de los alimentos (Ministerio del Medio Ambiente, 2018), consecuentemente, son capaces de representar los cambios en estos ecosistemas, es decir, son buenos bioindicadores para identificar el estado de los océanos y sus sistemas (DICYT, 2015). En este sentido, las consecuencias de las amenazas que se relacionan con el pingüino de Humboldt están estrechamente relacionadas con impactos que puede tener la red trófica marina en la que se encuentra esta especie (Luna, 2016).

En relación con su comportamiento espacial, comparte hábitat con otras colonias de pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) y otras especies como la gaviota dominicana (*Larus dominicanus*) (Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, 2022a), En Chile, se encuentran presentes al menos 45 colonias reproductivas, las cuales se distribuyen desde Arica hasta la isla Metalqui en Chiloé (Hiriart-Bertrand et al., 2010), y a partir del último

censo realizado entre el año 2016 y 2017, las islas Choros, Chañaral y Cachagua, son los lugares donde hay mayor cantidad de nidos activos presentes (Simeone et al., 2018). Particularmente frente a las costas de la Comuna de Navidad, en el Islote de Pupuya, se pudieron monitorear 35 nidos en la primavera del año 2017 (Arriagada et al., 2018).

La presencia de esta especie en los ambientes donde se localiza está influida por sus hábitos reproductivos, para lo cual se señala que esta especie monogámica (Williams et al., 1995), su temporada de reproducción comienza en marzo y, si las condiciones son favorables, pueden ocurrir dos anidadas por año: Abril – mayo y septiembre – octubre, lo que se refleja en la presencia anual casi permanente en los lugares de anidación, crianza y alrededores; además, cabe mencionar para efectos de identificación, que la crianza de polluelos o plumones desde la eclosión del huevo, los son alimentados diariamente por sus padres (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, n.d.).

Al momento de su identificación, es primordial reconocer que generalmente, la hembra pone dos huevos (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, n.d.) preferentemente en sectores altos, donde construye cuevas, utilizando su pico y patas para excavar (Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, 2022a), o en su defecto, ocupando madrigueras existentes generadas por grietas naturales del lugar en que habitan, protegidas de los depredadores terrestres. En el periodo de incubación, tanto el macho como la hembra cumplen este rol, que tiene una duración aproximada de 40 días (Williams et al., 1995). La identificación en terreno del sexo del ejemplar avistado es dificultosa, debido a que el dimorfismo sexual no es evidente, la cual se representa en una ligera diferencia en el tamaño dependiendo de varios factores tales como la alimentación o el ciclo reproductivo (Luna, 2016).

Sin embargo, como para otras especies mencionadas en este estudio, existen amenazas de carácter natural a las cuales se ve expuesto el pingüino de Humboldt, en este caso, relacionadas a su depredación. Tanto los huevos y pichones son muy vulnerables a ser consumidos por predadores como la gaviota dominicana (*Larus dominicanus*), jote de cabeza negra (*Coragys atratus*), jote de cabeza roja (*Cathartes aura*), el chungungo (*Lontra felina*); y en cuanto a los predadores de ejemplares adultos, en las aguas del mar, son las orcas (*Orcinus orca*), el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) y los pinnípedos como el lobo marino común (*Otaria flavescens*) y lobo marino fino (*Arctocephalus australis*) (Luna, 2016; Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, n.d.).

Asimismo, existen varias otras amenazas que afectan a esta especie, pero de carácter antrópico, siendo algunas de ellas la afectación por virus y la contaminación (Smith et al., 2008); la extracción de algas, mariscos y peces (Mella, 2020); la introducción de especies invasoras como ratas o perros a sus hábitat (Simeone et al., 2003); en la extracción de guano desde los espacios utilizados como hábitat (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, n.d.) la pesca incidental, y la caza y captura de pichones para consumo humano (Luna, 2016). En ello se evidencia que la pérdida de hábitat de esta especie se ve condicionada principalmente por los usos en la zona costera, lo que se traduce en la presencia antrópica sobre los lugares

de crianza, anidamiento y reproducción de esta especie. La presencia humana en general, se relaciona con un factor de mortandad o modificaciones de los hábitos del pingüino de Humboldt: las actividades turísticas y deportivas no reguladas, expansión urbana, entre otras, son problemas consistentes para la especie que tienen origen principal en la degradación o destrucción de hábitat (Áreas Costeras y Recursos Marinos, 2005; Luna, 2016). Debido a estas amenazas, esta especie clasifica en su estado de conservación como Vulnerable (Ministerio del Medio Ambiente, 2022b), tanto a escala internacional, según lo señalado por la UICN (BirdLife International., 2020) como a nivel nacional.

Dentro de los factores climáticos que afectan al en aspectos de distribución y reproducción al pingüino de Humboldt, destaca el fenómeno de El Niño, donde debido a las condiciones pluviales los nidos son perturbados por el exceso de agua (Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, n.d.), generando a su vez, mortandad de ejemplares juveniles o reducción del sistema de afloramiento de la corriente de Humboldt.

2.8 El lobo marino común como depredador tope y especie clave en ambientes marino-costeros

Los mamíferos marinos son en general, animales de gran tamaño que habitan en el medio acuático marino, estuarial o en agua dulce, distinguiéndose entre ellos existen tres órdenes funcionales; Cetácea, Sirenia y Carnívora. Dentro de esta última categoría, se encuentra el lobo marino común, una de las 51 especies de mamíferos marinos presentes en Chile, representante del grupo de los pinnípedos (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

El lobo marino común (*Otaria flavescens*), tiene una estimación poblacional dentro de su rango de distribución de 400.000 individuos a nivel mundial, según censos realizados entre 1995 y 2008, en Chile se estima que su población asciende a aproximadamente 14.000 ejemplares (Sepulveda et al., 2011).

Respecto con la amplia presencia y distribución espacial de esta especie, puede ser consecuencia de la existencia de la Corriente de Humboldt, gracias a que esta corriente propicia las condiciones favorables de habitabilidad de presas del lobo marino (Sepulveda et al., 2011). Además, cabe señalar que se encuentra ampliamente distribuido en la costa de Sudamérica, desde Perú hasta Cabo de Hornos en Chile (Ministerio del Medio Ambiente, 2018).

Esta especie clasifica en la categoría de conservación vigente en Chile como una especie de Preocupación Menor (LC), de acuerdo con el Reglamento de Clasificación de Especies (RCE), y las principales amenazas que lo afectan son la caza o captura, mortalidad accidental y persecución (Ministerio del Medio Ambiente, 2022a). Las amenazas de esta especie se encuentran asociadas principalmente a actividades humanas como la pesca, por el motivo que gran parte de sus presas coinciden con especies de vertebrados e invertebrados que se extraen para el consumo humano, entre las que destaca la anchoveta, el jurel, calamares y otros (Auger, 2020), por lo tanto, su estudio poblacional es fundamental para generar planes

de manejos y decisiones para su conservación como también para entender su dinámica ecosistémica (Sepúlveda et al., 2011).

En cuanto a su dinámica trófica, Oliva et al., (2016), demostraron que esta especie cumple un rol ecológico del ecosistema marino de depredador consumidor y de alto nivel trófico, que puede tener un rol en el ecosistema como especie clave dentro de los ecosistemas marinos. Por un lado, las especies clave (Keystone species por su traducción en inglés) se definen como aquellas que tienen un efecto desproporcionalmente grande en relación con su abundancia y biomasa sobre las comunidades y el ecosistema, es decir, ejerce una gran influencia con las especies que interactúa, por lo tanto, de las comunidades y el entorno, teniendo un papel funcional clave en el conjunto comunitario con su aporte de biomasa (Paine, 1995; Power et al., 1996).

Es una especie que tiene un rol de depredador tope, por lo tanto, como señala Goya et al. (2020) tiene un impacto alto en la red trófica, afectando y regulando directa o indirectamente la abundancia de otras especies de los niveles tróficos inferiores. En este sentido, la dieta del lobo marino común es amplia y se caracteriza por preñar a peces, cefalópodos, crustáceos, moluscos, desechos de pesca, y oportunamente, se alimenta de aves marinas, particularmente de pingüinos (Cursach et al., 2014; Oliva et al., 2016).

Paralelamente, es una especie que está presente como alimento para otros animales, tales como, los carroñeros presentes en algunos islotes que aprovechan la energía de cadáveres de los lobos marinos muertos como el jote, el gallinazo y la gaviota dominicana, representando una parte paralela a la cadena trófica de algunos ecosistemas (Consejo de Monumentos Nacionales de Chile, 2022b).

Las características asociadas con las redes tróficas pueden explicar la presencia, cambios y comportamientos de los lobos marinos en función de factores externos climáticos u oceanográficos, tales como, la existencia de fluctuaciones influenciadas por efectos del Fenómeno de El Niño (ENSO), con la cual se generan procesos de migración de la especie, lo que se refleja en la presencia de colonias de lobo marino en espacios donde antes no existían o bien desapareciendo de otros lo cual demuestra el comportamiento dinámico de esta especie (Crespo et al., 2009, Sepúlveda et al., 2011), gracias a su amplia variabilidad trófica, la cual depende de las condiciones locales de abundancia de alimento (Oliva et al., 2016).

2.9 Levantamiento de información satelital

El monitoreo de ecosistemas como bosques, océanos, ríos, entre otros, se ha visto acompañado por la aplicación de sensores remotos, particularmente, en análisis de cobertura vegetal y cuerpos de aguas, para ello, los datos son recogidos a partir de sensores y flujos energéticos desde diferentes fuentes de energía, lo que se denomina espectro electromagnético. Esta información que puede ir más allá de la capacidad visible por el ojo humano, por lo que para su correcta interpretación, por ejemplo, se considera que el

comportamiento espectral para la vegetación tiene características de reflectividad asociados a longitudes de ondas propias de organismos fotosintéticos (Veneros et al., 2020). Para el caso de este estudio, es pertinente mencionar que se considerará la cobertura vegetal marina (algas).

Las herramientas utilizadas para lograr este levantamiento de información registran la energía electromagnética reflejada por objetos de superficie de la tierra en distintas bandas del espectro electromagnético a partir de sensores que recopilan la información desde ondas cortas, como gamma y radiográficas, hasta ondas largas como las microondas y de radiodifusión (Veneros et al., 2020).

Para obtener información de la radiación electromagnéticas reflejada por objetos asociados al espectro visible, se requiere de sensores remotos pasivos, los cuales necesitan de una fuente energética externa como el sol. Este tipo de sensores pueden estar en diversas plataformas de teledetección como los satélites o bien aeronaves tripuladas o no tripuladas, sin embargo, aquellas provenientes de satélites, pueden recopilar información térmica, coberturas de la tierra, y con imágenes multiespectrales, se pueden determinar, información de cobertura vegetal, índices vegetacionales, monitoreo de bosques, información de cuerpos hídricos, humedad, entre otros (Veneros et al., 2020).

Con esto, para obtener resultados óptimos, el levantamiento de información puede ser procesado con la finalidad de generar mejores interpretaciones, procesamientos que parten de la corrección radiometría, de georreferenciación, corrección atmosférica, cuya finalidad es facilitar la categorización y clasificar en forma de píxeles, diversas clases espectrales dependiendo de los objetivos de análisis (Veneros et al., 2020).

Bajo la utilización de estas tecnologías, se ha logrado monitorear, por ejemplo, los bosques de macroalgas que, con un levantamiento geoespacial, permiten generar mapas para traducir su localización en análisis que acompañan las metodologías de trabajo en terreno (Mora-Soto et al., 2020), la cual se considera como la aproximación más acertada para identificar vegetación marina en espacios como el Islote de Pupuya.

La detección remota de macroalgas es posible debido a que sus doseles llegan a la superficie del océano, los cuales se logran ver desde el aire, para lo cual se han utilizado datos obtenidos de las reflectancias espectrales recopiladas por satélites como el Sentinel-2 (Mora-Soto et al., 2020). Actualmente, las investigaciones han permitido obtener información más detallada del comportamiento y distribución de estos ecosistemas, información que puede ser utilizada en bases para acciones de protección (Marquet et al., 2019).

2.10 Fotogrametría

La utilización de fotogrametría a través de Vehículo Aéreo no Tripulado (Unmanned Aerial Vehicle, o UAV por sus siglas en inglés) para el monitoreo de fauna marina se define como una herramienta confiable, que presenta ventajas en cuanto a la evaluación de especies como

también para la generación de datos relacionados con el hábitat de estas (Mandujano et al., 2019). Esta tecnología, cuando es utilizada de forma correcta, permite desarrollar investigaciones sin poner en riesgo a los animales, además, presenta una ventaja para los investigadores, ya que permite cubrir rápidamente grandes extensiones y asegura el acceso a terrenos difíciles, con resultados de gran precisión. Derivado de lo anterior, el desarrollo de estas herramientas permite generar información útil para determinar estados y tendencias poblacionales, evaluación de hábitats, comportamiento, disminuyendo tiempos en apoyo de la evaluación directa en terreno (Brondi et al., 2020).

La utilización de herramientas de evaluación espacial, como el uso de drones, junto a programas de fotogrametría digital, permiten la realización de levantamientos altimétricos para análisis topográficos, que han servido de insumo en investigaciones relacionadas con sitios litorales y costeros (Castellanos, 2019; Ojeda et al., 2007), donde se elaboran modelos que permiten evaluaciones cuantitativas a través de modelos volumétricos como los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) que con apoyo de técnicas topográficas, tecnología GPS y levantamiento geométrico (en los ejes x, y, z) aborda dimensiones espaciales que se pueden trabajar en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para establecer relaciones espaciotemporales como, por ejemplo, la evolución de playas y dunas.

Otros productos relacionados con la fotogrametría es la generación de ortofotos, que corrigen deformaciones de las fotografías aéreas y que, como consecuencia, junto con el MDE es un instrumento de interpretación morfológica. Cabe mencionar que en los espacios mareales la caracterización topográfica resulta más difícil respecto a otras zonas terrestres dado al acceso que se tiene a ellas, como también, a la variabilidad interna de las mismas (Ojeda et al., 2007).

En Chile, tanto para los lobos marinos como para otras especies, se han realizado investigaciones asociadas a la evaluación poblacional con aeronaves tripuladas como helicópteros y aviones, las cuales, además de ser un riesgo para quienes las abordan, están asociadas a un costo económico alto, pero más aún, los factores asociados a la contaminación que producen, como el ruido de los motores, generan impactos negativos a la fauna local, contrariamente, al uso de aeronaves no tripuladas que logran exitosamente su finalidad reduciendo estas externalidades (Brondi et al., 2020).

La información de especies, tanto de sus hábitats como de su estado poblacional, es necesaria para la detección de amenazas, así como también para dirigir planes de manejo de conservación; y la utilización de los datos levantados por el uso de dron permite un monitoreo de menor intensidad frente a otros métodos tal como, el uso de helicópteros para la obtención de datos o bien muestreos en terreno en zonas frágiles a la presencia humana (Barreto et al., 2021; Colefax et al., 2019). Esta aproximación menos invasiva es precisamente una de las más acertadas para el monitoreo de una de las especies que se reconoce como objeto de este estudio: el lobo marino común.

Estos equipos están dotados con sistemas de navegación y geoposicionamiento precisos y compatibles con diversos softwares, tales como los de Sistemas de Información Geográfica (SIG), modelamientos 3D, entre otros. Inclusive, estos instrumentos, pueden ser equipados con cámaras y sensores según las necesidades de investigación, que van desde receptores de información dentro del espectro visible, térmico o multiespectral y otros. Por lo tanto, ofrecen diversas ventajas como la alta resolución espacial y temporal que permiten lograr los objetivos con mayor agilidad (Mandujano et al., 2019) y los datos resultantes pueden ser procesados en diversos softwares que permiten generar levantamientos fotogramétricos (J. Fuentes, 2016).

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Modelamiento físico del Islote de Pupuya

3.1.1 Levantamiento aerofotogramétrico con dron

Para generar el modelamiento se realizó un levantamiento aerofotogramétrico del Islote de Pupuya con el uso de dron, visita a terreno y el posterior procesamiento en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Lo cual tiene como objetivo caracterizar topográficamente el Islote a partir de fotointerpretación y validación en terreno. Es importante señalar, que para el modelamiento se utilizó la información secundaria disponible en Arriagada et al. (2018) donde se aluden y describen subdivisiones acerca de la distribución y patrones topográficos del Islote.

El levantamiento aerofotogramétrico se realizó con el uso de un dron DJI Mavic 2 Pro, con una cámara de distancia focal de 10.26 mm, resolución de 5472 x 3648, tamaño de píxel de 2.41 x 2.41 micras y un sensor de 1" CMO, que además cuenta con un Sistema global de navegación por satélite (GNSS) GPS + GLONASS (DJI, 2022).

La planificación del vuelo fue realizada con la aplicación DroneDeploy, en la cual se configuró el traslape de fotografías, altura, área, ruta, tiempo, dirección y velocidad de vuelo sobre el Islote, expuesta en la Tabla 3.

Tabla 3: Planificación de vuelo Islote de Pupuya

Planificación de vuelo DroneDeploy Islote de Pupuya	
Superposición frontal	75%
Superposición lateral	70%
Dirección de vuelo	-35°
Velocidad de vuelo	7m/s
Ángulo de gimbal	-90°

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El 9 de diciembre del 2021 a las 09:20 a.m., se ejecutó el plan de vuelo desde la playa, al norte de la bahía de La Vega de Pupuya y a 900 metros del Islote de Pupuya. Al momento del vuelo, a partir la utilización en terreno de un anemómetro digital AZ 8910, se reconocieron condiciones de viento Noroeste constante de 3.6 km/h y se reconoció visualmente condiciones de baja nubosidad, oleaje predominantemente Suroeste y marea baja. La altitud media del plan de vuelo fue de 91.4 m con una resolución en terreno de 1.6 cm/pix durando aproximadamente 13 minutos en completar la misión.

3.1.2 Procesamiento fotogramétrico

Las imágenes capturadas durante el plan de vuelo (241 imágenes) fueron procesadas con el software Agisoft Metashape Professional, alineando 218 fotos en función de sus propiedades geométricas y geoespaciales, en el cual se utilizó el Sistema de Coordenadas WGS 84 / UTM zona 19S y se obtuvieron en el procesamiento, una Nube de Puntos con un error de proyección de 0.52 píxeles y parámetros de orientación de máxima precisión; una Nube de Puntos Densa con parámetros de obtención de mapas de profundidad de calidad alta; un Modelo Digital de Elevaciones (DEM), un ortomosaico y un modelo 3D generado a partir de la Nube de Puntos Densa.

3.1.3 Levantamiento de información topográfica en terreno

Para el levantamiento y validación de información topográfica en terreno se realizó en una expedición al Islote de Pupuya el día de 24 de noviembre de 2021, para lo cual fue necesario zarpar en una embarcación menor desde la Caleta de Matanzas con los permisos otorgados por la autoridad marítima correspondiente, y los avisos pertinentes al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) al navegar sin ejecutar extracción de muestras en el Área de Manejo de Recursos Bentónicos (AMERB) adyacente al Islote de Pupuya.

Durante esta expedición se utilizaron instrumentos tales como binoculares, cámara fotográfica marca Nikon 5200 y GoPro Hero 9 para fotografiar elementos topográficos identificados en el recorrido realizado en terreno, información correspondiente como insumo para el apoyo en la zonificación del Islote.

3.1.4 Zonificación del Islote de Pupuya mediante aerofotogrametría y visita a terreno

Con el fin de realizar una caracterización topográfica, como para identificar y describir la ocupación de las especies seleccionadas del Islote frente a factores bióticos y abióticos, se realizó una zonificación del Islote de Pupuya con las unidades ecosistémicas que lo constituyen. Para lo cual se utilizó la zonificación de ecosistemas definidos por el proyecto “*Investigación y valoración de la avifauna del Islote y Humedal La Vega de Pupuya*” realizado por la Fundación Kennedy (Arriagada et al., 2018). El cual, de manera descriptiva, con características topográficas y biológicas subdivide el Islote en 5 elementos de clasificación a partir de especies avistadas en terreno para dicha investigación, tal y como se menciona en el apartado 2.3.1 del presente documento.

En primera instancia, se reconocieron los elementos de clasificación descritos en la información secundaria anteriormente mencionados. Para lo cual se realizó una identificación a partir de la fotointerpretación de los modelos fotogramétricos procesados, provenientes de imágenes aéreas de drone capturadas en el levantamiento aerofotogramétrico. Además, la fotointerpretación se aplicó a las imágenes capturadas en terreno.

Con lo anterior, la definición de los límites de las zonas se realizó de forma manual mediante la fotointerpretación de espacios que reunieran las características bióticas y abióticas según los criterios descritos para las unidades ecosistémicas mencionadas en el estudio “Investigación y valoración de la avifauna del Islote y Humedal La Vega de Pupuya” (Arriagada et al., 2018). Por lo cual, se generaron polígonos para cada una de las unidades ecosistémicas en perfiles con diversas orientaciones en el Modelo 3D y en el Ortomosaico usando el software Agisoft Metashape, dando origen a productos gráficos que delimitan: (1) Zona intermareal; (2) Zona de Roqueríos y Acantilados; (3) Meseta Reproductiva; (4) Meseta con escasa presencia reproductiva; y (5) Cuevas. Los cuales representan insumos cartográficos para la elaboración de la zonificación del Islote de Pupuya utilizando software ArcMap 10.7.1.

3.2 Ocupación de especies.

La identificación de las áreas de ocupación de las tres especies representativas de la red trófica marina del Islote se definió posterior a realizar las visitas a terreno y a los procesamientos fotogramétricos con el fin de identificar y describir la ocupación del lobo marino común, el pingüino de Humboldt y bosques de macroalgas en el área de estudio mediante Sistemas de Información Geográfica a partir de los componentes de la zonificación del Islote de Pupuya.

3.2.1 Identificación de ocupación del pingüino de Humboldt a partir de visita a terreno.

En primer lugar, para la identificación de la ocupación de pingüino de Humboldt se realizó en base a la expedición al Islote de Pupuya el día de 24 de noviembre de 2021. En la cual las acciones de identificación de ejemplares de esta especie se realizaron en transectas de ancho fijo diurno, que es propuesto por el *Manual Para el Monitoreo de la Fauna Silvestre de Chile* (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013), con acciones que fueron restringidas por las condiciones topográficas, de accesibilidad, seguridad y cuidado a las especies que habitan el Islote.

Durante el recorrido se utilizaron distintos instrumentos para la recopilar información que permitieron el reconocimiento de la fauna marina tales como, binoculares, cámara fotográfica marca Nikon 5200 y GoPro Hero 9, además, los hallazgos fueron referenciados utilizando un GPS de mano Garmin eTrex 22x configurado en el Sistema de Coordenadas WGS 84 / UTM zona 19S para su posterior procesamiento en ArcGis.

Los aspectos pertinentes con la orientación, cantidad y longitudes de transecto se definieron previo a la visita al Islote de forma arbitraria y en correlación de los anchos de transectas y la longitud definida por el perímetro del Islote; y en cuanto a los anchos de transectos, se determinaron equidistantemente a 20 metros, como ya había sido reportado en la literatura para un estudio realizado para conteo directo de pingüino de Humboldt en islotes con

terrazas, acantilados y ambientes con vegetación (Wallace & Araya, 2015). Esta distancia, permitiría reconocer y avisar a los individuos hacia ambos lados de la línea de transecta.

La identificación en terreno se realizó el día 24 de noviembre de 2021, entre las 9:30 am, y las 13:40 pm recorriendo una transecta a pie con orientación NE a SO determinada por la baja accesibilidad, respetando los límites de la ocupación de las especies presente en el Islote y a baja velocidad con el motivo de disminuir la perturbación e intervención del ecosistema (Wallace & Araya, 2015). Por lo tanto, el registro incluye a las aves que se reconocieron en una línea de transecta condicionada por la accesibilidad con muestreos cada 20 metros.

En las transectas se aplicó la ficha de muestreo de especies, en la cual se registraron elementos de contextualización (hora y cantidad de especies), así como de contexto físico (señal y características topográficas del avistamiento), y también elementos de comportamiento y relación del ejemplar con el medio biótico y abiótico que le rodea (véase Anexo N° 1). El llenado de las fichas se llevó a cabo mediante observación directa, registros fotográficos, videos y se georreferenció a los individuos, para posteriormente analizar espacialmente la información y utilizarla como insumo de relaciones espaciales con las otras especies y su hábitat, utilizando software ArcMap 10.7.1.

3.2.1.1 Determinación del área de ocupación del pingüino de Humboldt

A continuación del trabajo realizado en terreno, para establecer relaciones espaciales con los elementos bióticos y abióticos del área de estudio, se utilizó una identificación del hábitat del pingüino de Humboldt, a partir de la fotointerpretación de los modelos fotogramétricos procesados, provenientes de imágenes aéreas de drone capturadas en el levantamiento aerofotogramétrico. Además, la fotointerpretación se aplicó a las imágenes capturadas en terreno y sustentadas en la información recopilada por las fichas de muestreo, considerando los puntos georreferenciados. Es decir, se reconocieron en las fotografías de pingüino de Humboldt capturadas en terreno, el ambiente en el que se encuentran los pingüinos. La definición de los límites de las zonas se realizó de forma manual y según los criterios definidos por las unidades ecosistémicas asociadas al hábitat del pingüino mencionada por lo observado en el muestreo y la literatura previa, en particular el estudio “Investigación y valoración de la avifauna del Islote y Humedal La Vega de Pupuya” (Arriagada et al., 2018). Por lo cual, para graficar la ocupación se generaron polígonos en perfiles con diversas orientaciones que demuestran horizontes de la ocupación de la especie determinada, utilizando para esto el Modelo 3D proveniente del levantamiento aerofotogramétrico usando el software Agisoft Metashape.

3.2.2 Identificación de ocupación de lobo marino común a partir de aerofotogrametría.

Para poder identificar ejemplares de la población de lobo marino común que habita en el Islote de Pupuya, se consideró la metodología propuesta por Oliva et al. (Oliva et al., 2019) en la cual se sobrevuelan ecosistemas donde hay presencia de esta especie para generar

censos aéreos utilizando drone en la localización de la especie. Con ello, para esta investigación se utilizó como insumo el Ortomosaico georreferenciado generado a partir del procesamiento aerofotogramétrico del sobrevuelo con drone al Islote del día 9 de diciembre de 2021 mencionado en el acápite 3.1.1, en el cual se reconocen ejemplares de esta especie a distintas escalas sobre el Islote.

3.2.2.1 Determinación del área de ocupación del lobo marino común

Posterior al trabajo aerofotogrametrico, se realizó una identificación de la ocupación de los ejemplares de lobo marino común en el Software Agisoft Metashape Professional. Se crearon polígonos de forma manual mediante la observación directa y fotointerpretación del ortomosaico construido, con una escala de reconocimiento de 1:3 m, reuniendo individuos identificados en áreas de ocupación espacial de ejemplares en el Islote, el polígono encerró desde las especies concentradas en centros de la ocupación, hasta los límites que fueron definidos por la ocupación de las especies dispersas en las periferias en cada una de las zonas topográficas identificadas del Islote de Pupuya. Aquellos polígonos proveyeron insumos cartográficos para la sobreposición con las otras especies y su hábitat, utilizando software ArcMap 10.7.1. para su posterior para descripción espacial de su relación con los elementos bióticos y abióticos del área de estudio.

3.2.3 Localización de bosques de macroalga a partir de imágenes satelitales.

Para la identificación y descripción de la ocupación de bosques de macroalgas se realizó un mapa local de *Macrocystis pyrifera* a partir de reflectancias espectrales recopiladas por el satélite Sentinel-2 Level 1C alrededor del Islote de Pupuya, siguiendo la metodología de detección remota de macroalgas establecida por Mora-Soto et al. (2020) en la cual se ha utilizado un algoritmo de filtrado para umbrales de reflectancias en base a un valor de bandas multispectrales determinado para las macroalgas en la plataforma geomática Google Earth Engine (GEE) que utiliza el lenguaje de programación *Java Script*. Este algoritmo identifica remotamente macroalgas traducidas en celdas de cuadrículas con una definición previa de geometría espacial y fechas para poder definir el área y el periodo de tiempo del mapeo (Mora-Soto et al., 2020).

Para esta investigación bajo el método mencionado, en GEE se seleccionaron las imágenes satelitales disponibles desde el 26 de junio del 2015 (fecha cercana al inicio de la misión espacial del Satélite Sentinel-2 Level 1C), hasta el 10 de mayo de 2022 (fecha cercana al procesamiento de datos), considerando un área marina colindante al Islote de 200 metros con la finalidad de obtener datos de la dinámica de las macroalgas cercanas al Islote sin considerar aquellas que se acercan a la línea de costa.

3.2.3.1 Determinación del área de ocupación de bosques de macroalgas

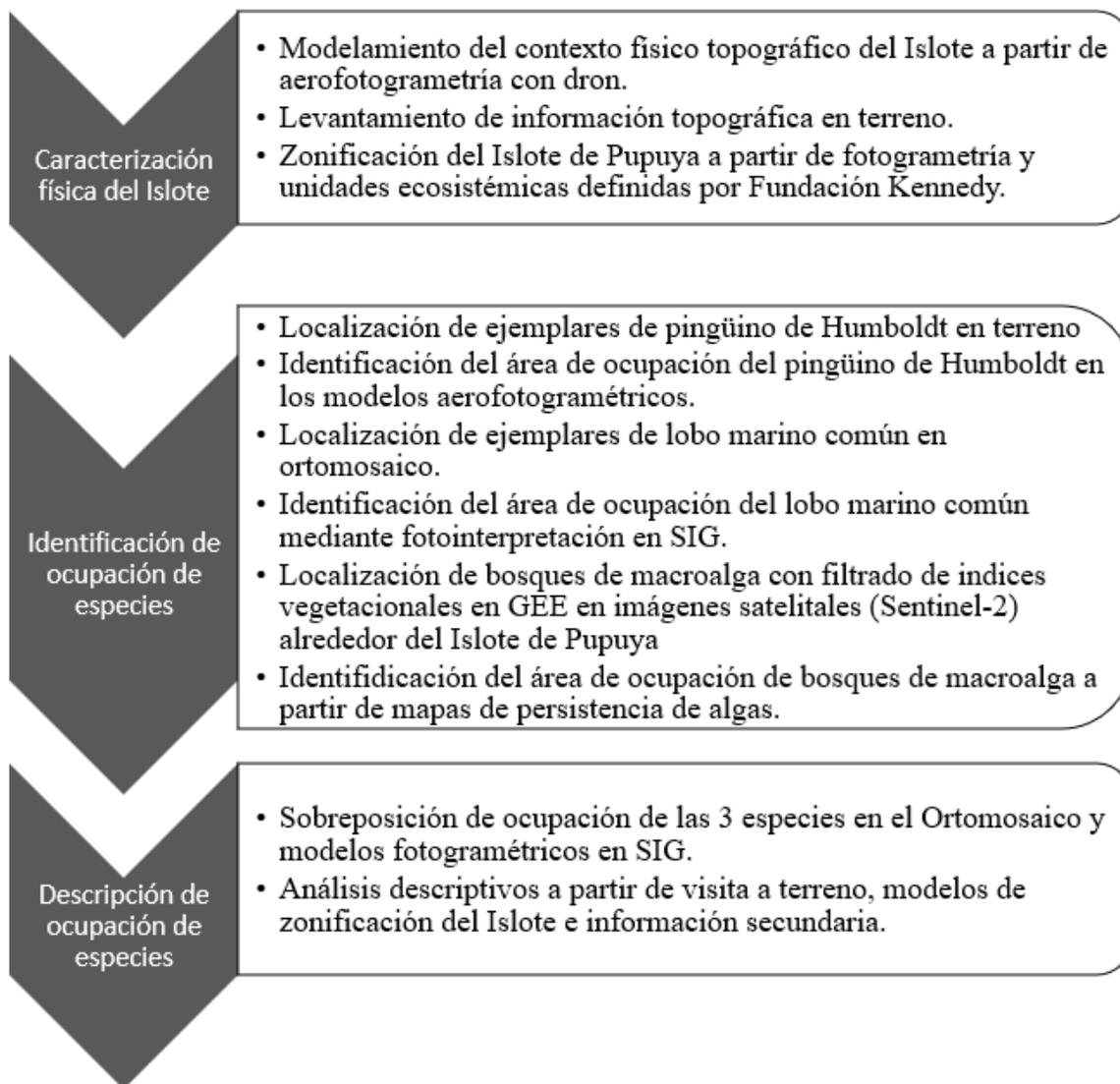
En base a la metodología de Mora-Soto et al. (2020), a las imágenes satelitales seleccionadas se aplicó el algoritmo de detección en GEE, corriendo los índices espectrales de vegetación

disponibles en el algoritmo de forma separada; es decir, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), detectando vegetación entre las longitudes de onda dentro de la radiación fotosintéticamente activa e infrarrojo cercano; el Índice de Algas Flotantes (FAI), detectando algas flotantes con similares bandas espectrales; y la Diferencia de Algas (KD) diferenciando algas marinas con valores de bandas espectrales pertenecientes a las macroalgas y algas verdes eliminando celdas que corresponden a otras algas (Mora-Soto et al., 2020).

Con esta serie de datos recopilados identificó la persistencia de presencia de macroalgas, definida como la suma de áreas detectadas con dosel superficial de *M. pyrifera* durante el periodo de estudio determinado (Mora-Soto et al., 2020). Posteriormente, los datos se exportaron en formato .tif para ser trabajados en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.7.1. y sobrepuestos en el Ortomosaico generado para el Islote de Pupuya con la finalidad de describir espacialmente de su relación con los elementos bióticos y abióticos del Islote de Pupuya.

Finalmente, en la Figura N°2 se presenta un esquema con la propuesta metodológica anteriormente expuesta, que sintetiza los pasos metodológicos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Figura N°2: Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia, 2022.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1 Caracterización topográfica y zonificación del Islote de Pupuya

El área del Islote de Pupuya, se compone de cuatro promontorios rocosos principales, de diversos tamaños y alturas, separados por pequeños canales de alrededor de 10 metros, los cuales suman una superficie total aproximada de 40.596 m². Entre ellos se encuentra el Islote principal y el más grande, que tiene un área aproximada de 32.829 m², una línea de costa de 3.573 metros, y una longitud cercana a los 300 metros (de acuerdo con perfil visible desde el balneario La Vega de Pupuya). Topográficamente, según lo reconocido en el levantamiento de datos a partir de la fotogrametría y aquellos recopilados en trabajo de terreno, este promontorio se compone de mesetas, varias cuevas, sectores de roquerío, grandes acantilados y la zona intermareal.

A continuación, en las Figura N°3 y N°4, se presentan 2 modelos del Islote de Pupuya, asociados a diferentes perspectivas visuales de este territorio, donde se señalan las zonificaciones resultantes a partir de las características topográficas y biológicas subdivide el Islote en 5 elementos de clasificación a partir de especies avistadas en terreno por la Fundación Kennedy en su investigación referente al Islote de Pupuya, siendo posible apreciarlas desde un modelo tridimensional que privilegia la visualización de sus características topográficas:

Figura N°3: Zonificación del Islote de Pupuya - Perfil sotavento



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura N°4: Zonificación del Islote de Pupuya - Perfil barlovento



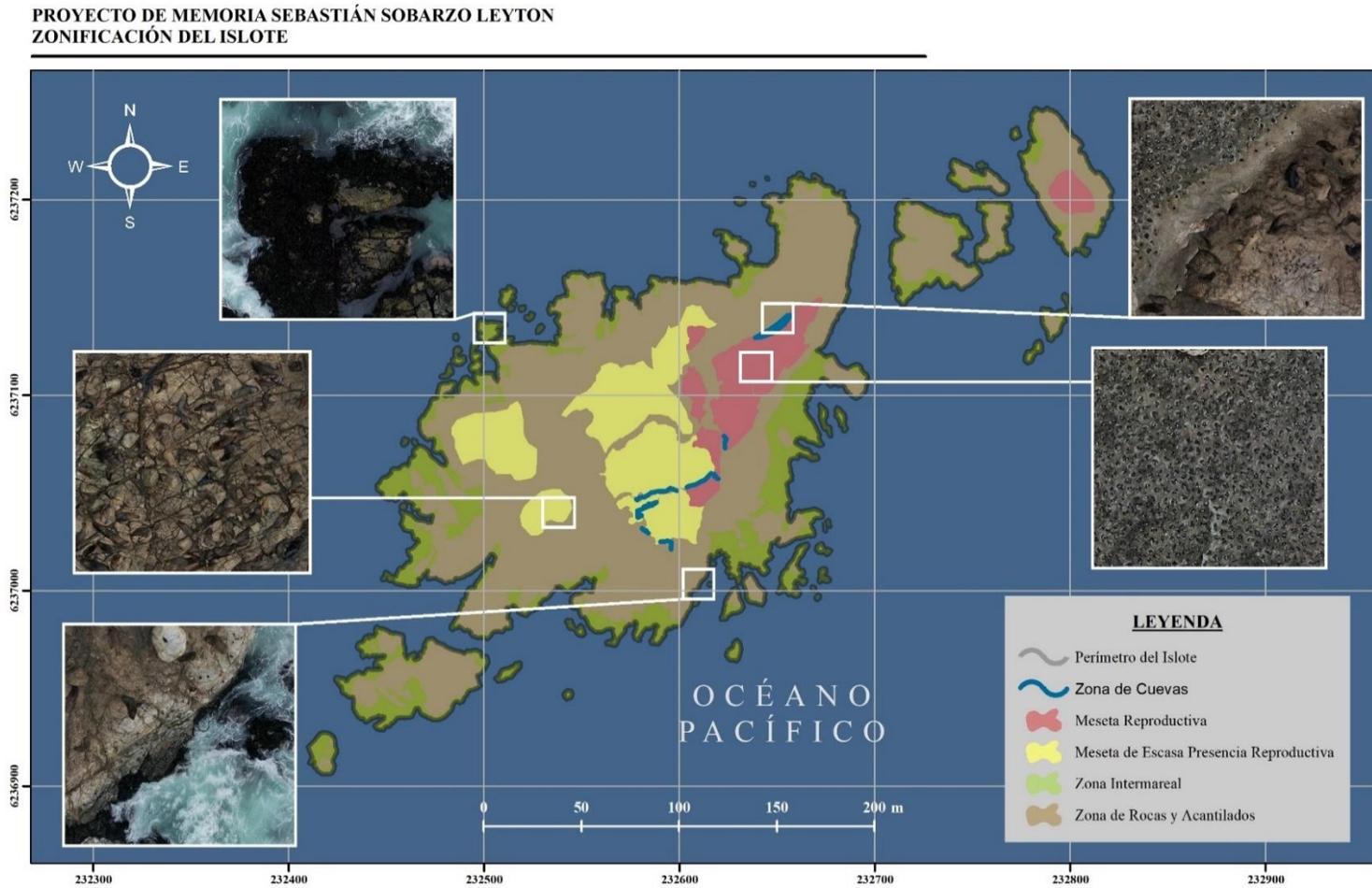
Fuente: Elaboración propia, 2022.

El Islote destaca por su gran superficie, sus marcadas diferencias de altura entre promontorios rocosos y un relieve heterogéneo. Se destaca por poseer una cima de gran altura, la cual se visibiliza a partir del levantamiento aerofotogramétrico y el modelo 3D. Al momento del vuelo, se obtuvieron datos que arrojan diferencias cercanas a los 42 metros de altura entre puntos que componen al Islote, específicamente, desde los puntos más bajos de la zona intermareal del lado de sotavento en bajamar, hasta los puntos más altos de la cima de la meseta que se encuentra al Noroeste del Islote.

A partir del MDE, el modelo 3D y la visita a terreno, se reconoce un paisaje caracterizado por la presencia de depresiones y planicies asociadas a pendientes, cuevas, roqueríos y mesetas erosionadas y meteorizadas principalmente por factores climáticos y marinos como la lluvia, vientos, las mareas, el oleaje, entre otros. En general, el Islote presenta distintas formaciones que pueden responder a la exposición y orientación en la que enfrentan los factores mencionados. Ahora bien, un elemento de hallazgo significativo, y de gran importancia para este estudio, corresponde a la identificación de la existencia de cuevas, cuyo origen es atribuible a las aves marinas locales, y que corresponderían a zonas de hábitat y anidación de especies como el gaviotín monja, pero mayormente, de las colonias de pingüinos de Humboldt, situación que fue corroborada y evidenciada en la visita a terreno.

A continuación, la Figura N°5 se presenta una representación cartográfica de la distribución de las diferentes zonas que componen el Islote, representadas por polígonos diferenciados por colores y fotografías que representan a cada una de las unidades.

Figura N°5: Cartografía de Zonificación del Islote de Pupuya



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Las corrientes marinas y el viento predominantemente Suroeste, atacan directamente al promontorio rocoso en el sector Suroeste y Oeste del Islote, es decir, el lado de barlovento, el cual está caracterizado por tener menor altura respecto con el lado de sotavento, que se encuentra mayormente protegido y en el que destacan los pronunciados acantilados. El ataque del oleaje se puede observar en el ortomosaico generado a partir de la fotointerpretación de las zonas aledañas al mar, en el cual se reconoce la energía del mar enfrentando al roquerío en un sector por sobre otro casi perpendicularmente, lo cual también fue evidenciado al momento del trabajo en terreno, observando el choque del oleaje de manera violenta en estos sectores.

La totalidad del Islote tiene una morfología acuñada, con una pendiente ascendente hacia la zona de sotavento, siendo la sección donde se reconoce el acantilado con mayor elevación y pendiente (véase Figura N° 3). El Islote es reconociblemente heterogéneo desde el punto de vista topográfico, lo cual permite la subdivisión horizontal y vertical en diversos componentes, que dan origen a la siguiente zonificación Arriagada et al. (2018):

4.1.1 Meseta reproductiva

Como se grafica en la Figura N°5, hay 5 mesetas reproductivas en el promontorio principal, que se distribuyen desde la zona centro del Islote hacia el sector Noreste, y otra meseta que se encuentra excluida de promontorio principal, constituyendo un total de 6 mesetas, entre las cuales constituyen una superficie de 2.815 m².

Figura N°6: Vista general de la Meseta reproductiva

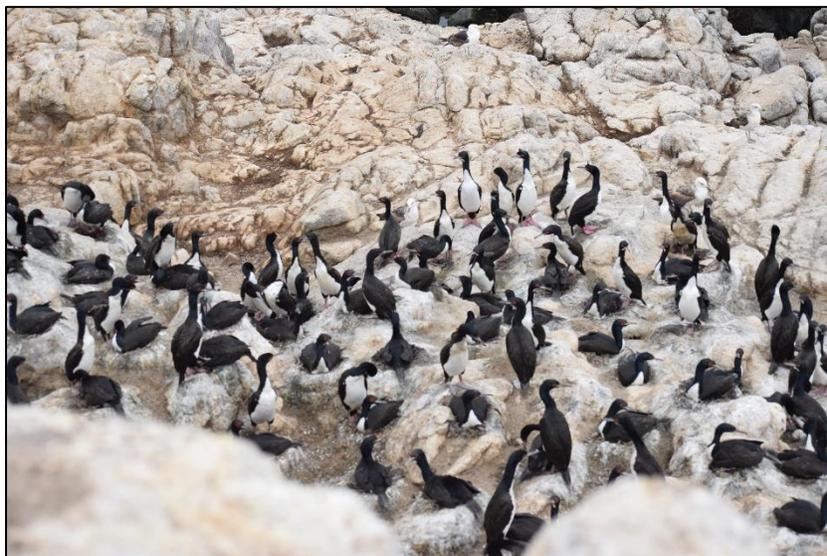


Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

La meseta reproductiva más grande representa al 4,4% del Islote, con una superficie de 1.782 m²; al lado Este, está delimitada por acantilados pronunciados que caen directamente al mar;

y hacia el Norte y Noroeste, colinda con roqueríos con pendiente pronunciada que suaviza hacia el sur, donde lo delimita y separa un escarpe de menor altura con otras mesetas reproductivas (Véase Figura N°3). Se encuentra en el sector más alto de la formación y tiene una baja pendiente que va ascendiendo de sur a norte con diferencias entre sus puntos más bajos con los más altos de alrededor 13 metros, en una longitud de 87 metros. Junto con el resto de las mesetas reproductivas, están caracterizadas por tener baja pendiente en comparación a otras zonas del Islote, y con un relieve irregular presentando cavidades posiblemente originadas por el viento, así como también, pudiendo ser formadas por la avifauna, las cuales se encuentran distribuidas con un patrón regular y bien definido por toda la meseta, generando a su vez, promontorios de roca que sobresalen y sobre los cuales se posan ejemplares de guanay (véase Figura N°7).

Figura N°7: Ocupación del Guanay en la Meseta Reproductiva



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

Como se observó en terreno, en las mesetas reproductivas, existe alta presencia de ejemplares de guanay anidando en comparación con las otras unidades presentes en el Islote, coincidiendo con lo descrito en Arriagada et al.(2018) donde se evidencia una densidad de 3-4 nidos de guanay y pelicano por metro cuadrado, destacando la alta presencia de guano de las aves sobre el roquerío, además, en esta meseta existen límites claros entre los nidos de pelicano y guanay, en relación al resto de los sectores de ocupación de otras especies. Al momento del recorrido no se presenciaron lobos marinos transgrediendo el espacio, lo cual se corrobora con la imagen en alta resolución, donde los límites de la meseta reproductiva están definidos por la ocupación del espacio de los lobos marinos, sin identificar entre la multitud de aves marinas, la presencia de esta especie predatora, con particulares y puntuales superposiciones, pudiendo existir casos de ocupación debido a los hábitos alimenticios.

4.1.2 Meseta con escasa presencia reproductiva (MEPR)

Como se demuestra en la Figura N°5, hay delimitadas 5 zonas de Mesetas con escasa presencia reproductiva (de ahora en adelante, MEPR), con un área total aproximada de 5.767 m², las cuales se encuentran separadas a poca distancia entre sí, a distinta altitud y localizadas en el promontorio rocoso principal, distantes al mar. Estas zonas se caracterizan por presentar depresiones, lo que conlleva a un relieve irregular; sin embargo, no posee pendientes abruptas. Se encuentran definidas por roqueríos y sectores de mayor pendiente que generan desniveles asociados a zonas de escarpe y cuevas, que definen diferencias de altitud cercanas a los 9 metros entre ellas. También quedan definidas por una discontinuidad marcada al sur, frente a un límite de un sector de la meseta de reproducción. En general, las mesetas de escasa presencia reproductiva se encuentran lejanas a la zona intermareal pero restringidas por los roqueríos que colindan con esta zona.

Figura N°8: Meseta con Escasa Presencia Reproductiva (MERP)



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

En una de las mesetas, se pueden reconocer bloques de roqueríos de aproximadamente 2,5 metros de altura bajo los cuales en terreno se identificó la presencia de pingüino de Humboldt anidando, lo que es señal de la conformación de refugios naturales o puntos de protección para esta especie.

Además, en otras mesetas, identificadas al momento del vuelo, se visualiza la localización de depresiones de alrededor de 9 metros de longitud, rellenas de fluidos (provenientes del agua de mar y/o de las deposiciones) localizadas en la meseta septentrional de menor altitud. En una de las mesetas de escasa presencia reproductiva más grandes que se encuentra al centro del Islote, se pueden reconocer a partir de la fotointerpretación del ortomosaico, rocas de diferente granulometría de bordes que se aprecian mayormente angulosos con medidas que van desde pocos centímetros hasta rocas de alrededor de 2 metros de diámetro.

En esta zona predomina un ambiente dominado principalmente por el lobo marino que cubre principalmente las áreas de manera homogénea, además, en las zonas de bloques de roquerío mencionadas, la ocupación de los lobos marinos no se ve mayormente restringida por aquellos bloques de mayor tamaño, no bien, algunos son utilizados como puntos de descanso. Como fue observado en el recorrido en terreno, ocasionalmente se encuentran algunos ejemplares de aves marinas posadas en la meseta como también se evidencia la presencia de jotes, motivos que demuestran junto a la presencia de pingüinos de Humboldt anidando en medio de la meseta reproductiva, que esta zona no se encuentra restringida únicamente a la ocupación del lobo marino sino más bien se reconoce una superposición entre las zonas de ocupación de especies, existiendo una interacción entre otras especies con la meseta (Véase Figura N°16). A partir de lo anterior, se pueden establecer relaciones de equilibrio entre especies que están dentro de la misma red trófica como lo son el pingüino de Humboldt y el lobo marino para lo cual se requeriría mayor investigación.

4.1.3 Zona Intermareal

Como se reconoce en la Figura N°9 y en la cartografía de zonificación del Islote, en el sector con menor altitud del Islote se encuentra la zona intermareal, que durante la bajamar queda mayormente expuesta en la totalidad del perímetro y los promontorios menores del Islote, situación dependiente de las condiciones oceánicas como la dirección de las corrientes y el oleaje; que según la orientación de cada sector del roquerío frente a estos factores se pueden encontrar parcial y momentáneamente cubiertos por el agua. Verticalmente, se presenta como un estrato continuo por todas las zonas de menor altitud del Islote que están en contacto con la mar, marcado por un límite claro de las algas (Véase Figura N°5).

Estas son zonas con una alta interacción con la marea y el oleaje, es decir, conectan directamente con el mar del Océano Pacífico y está caracterizada por la acción del agua y su cobertura de algas. Como se reconoció en terreno, abunda la ocupación de algas, pero principalmente cochayuyo (*Durvillaea antártica*) en el intermareal.

Morfológicamente, la zona intermareal se presenta como zonas de roquerío de pendiente pronunciada que descienden hacia el mar, desde sectores que provienen de las mesetas o bien directamente desde acantilados. A partir del MDE y el Ortomosaico, en algunos sectores se reconocen roqueríos aislados que afloran desde la mar de forma discontinua a los cuales se les reconoce completamente como zona intermareal o bien son parcialmente parte de ella. Es una zona que puede ser moldeada a partir de factores bióticos y abióticos, en su interacción con la acción de la marea, el oleaje, como también del viento y de las algas.

Figura N°9: Zona intermareal



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

En general, la zona perimetral del Islote, donde se encuentra la zona intermareal, presenta diversas formas que están demostradas gráficamente en la Figura N°3 y responden a modelamientos principalmente formados por acción abiótica, sin descartar por completo la acción de factores bióticos.

Particularmente, al momento del vuelo de drone, en un sector de la zona de sotavento que limita con las aguas, se localiza un sector de baja pendiente, de aproximadamente 26 metros de largo y 65 metros de ancho, con una diferencia de altura de 4 metros desde el límite de la zona intermareal hasta el acantilado (aproximadamente 15% de pendiente), conformado por rocas de granulometría redondeada y de tamaño variable, que generan una planicie que es utilizada por los lobos marinos como área de descanso, y es posible reconocer en el ortomosaico tonalidades verdes que corresponden a algas.

Figura N°10: Vista cenital de planicie rocosa de descanso



Fuente: Captura seccional de Ortomosaico, 2022.

La zona intermareal del Islote de Pupuya se encuentra constantemente ocupada por distintas especies de avifauna y mamíferos marinos según el lugar en el cual se sitúe. Al Norte del Islote, en sectores aislados que se encuentran protegidos del ataque de las olas (a diferencia del sector Oeste), se registró entre la zona rocosa del intermareal sobre las algas, a ejemplares de pingüino de Humboldt caminando en dirección al mar. También, fue posible identificar en varios puntos la ocupación de grupos de cachorros de lobo marino común sobre roqueríos del intermareal bajando y subiendo del mar hacia el Islote.

Las algas que se encuentran en la zona intermareal como el cochayuyo, quedan a disposición del movimiento del oleaje y la marea, generando movimiento de su estructura en distintos ejes, situación que se evidencia a partir del levantamiento fotogramétrico en alta resolución que permite ver esta alga extendida completamente a favor de la dirección de la energía del mar o bien, como se observa en terreno, aquellas que se encuentran cercanas a los límites de la alta marea, descubiertas, con su dosel que baja por el roquerío por efecto de su masa y la gravedad.

Por otro lado, en la zona Noreste del Islote hay acantilados con conexión directa al mar en los cuales la zona intermareal tiene pronunciada pendiente pero baja exposición al ataque de mayor energía, por el motivo de localizarse en el lado de sotavento del Islote (Véase Figura N°5). Asimismo, al momento del recorrido sobre el Islote y desde la embarcación, se pudo observar en esta zona la presencia de aves y lobos marinos en el intermareal.

Como ya se ha mencionado, en lado de barlovento, se reconoce una alta exposición a los factores abióticos, este sector conecta con las zonas de roqueríos de menor altitud que se relacionan directamente con la meseta de escasa presencia reproductiva, lugar donde habitúan abundantes lobos marinos. Lo que puede tener como consecuencia, junto a otros factores externos (como la surgencia de masas de aguas) la alta ocupación que hay de la zona intermareal por lobos marinos reflejada en la Figura N°4.

4.1.4 Cuevas

Como se reconoció en terreno, las cuevas están distribuidas en diversos sectores del Islote, son constituidas principalmente por concavidades en el roquerío con contenido de guano (el cual está cavado) y conforma parte de la estructura de la formación. Son de diversos tamaños, pero aquellas donde fue posible reconocer madrigueras de pingüino de Humboldt, fluctúan en su mayoría entre 50 centímetros a 1,5 metros de altura, habiendo algunos casos puntuales que alcanzan incluso tamaños superiores (Véase Figura N°11). Espacialmente, en la Figura N°4, es posible reconocer sectores donde se encontraron cuevas.

Al momento del muestreo, se localizaron cuevas desde la desde la zona norte en plena zona de roquerío cercana a los acantilados, motivo que demuestra la existencia de cuevas en lugares con una pronunciada pendiente. Verticalmente, el sector en el que se emplazan las cuevas se encuentra lejano a la zona intermareal, por lo tanto, distantes al mar. En el sector mencionado, no se reconoce la presencia cercana de lobos marinos sino como ya se mencionó, los ejemplares se encuentran en el intermareal cercano o cercanos a este.

Figura N°11: Cuevas



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

En la Figura N°5, se demuestra que cercano al sector céntrico del Islote se orientan cuevas hacia el este, las cuales se condicen con desniveles que separan zonas de escarpe, mesetas reproductivas y escasamente reproductiva. Estas cuevas se encuentran de forma ordenada

horizontalmente en el límite que caracteriza el desnivel, dentro de las cuales se observan pingüinos y pichones de pingüino de Humboldt. La diferencia de altitud entre estas mesetas, siendo la meseta que se encuentra al sur alrededor de hasta 3 metros más alta que la que se encuentra al norte, genera que las cuevas de este sector tengan orientación norte, por lo tanto, se encuentran protegidas frente a los vientos dominantes del área de estudio. Se reconoce una profundidad suficiente para la protección de las madrigueras de la lluvia y el sol, lo que influye en el éxito de la reproducción de las especies que la utilicen. En esta línea de aproximadamente 45 metros, con cuevas que se localizan discontinuas, hacia el este colindante a los acantilados, al ser una zona que limita mesetas reproductivas se reconoce presencia cercana de otras aves marinas como el guanay y hacia el oeste, entre las mesetas escasamente reproductivas, se registra la presencia poco distante y abundante de lobos marinos, y algunos jotes. En la Figura N°12 se aprecia que las cuevas se encuentran en el área de ocupación del lobo marino.

Figura N°12: Traslape de zonas de ocupación de lobo marino común y pingüino de Humboldt



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

Adyacente a la meseta reproductiva y en dirección Noroeste de ella, se encuentra una diferencia de altura cercana a los 16 metros, siendo parte de la zona de acantilado, reconocida en el Modelo 3D y corroborada durante la experiencia en terreno. Consiste en una gran concavidad donde, al momento del recorrido, fue posible identificar concavidades superiores a 1 metro de profundidad (Véase Figura N°13), en las que se constató la existencia de fluidos rojizos que emanaban desde su interior, los cuales presumiblemente podrían corresponder a restos de sangre o excretas con su contenido, situación que sugiere la presencia de ejemplares del murciélago vampiro Piuchén (*Desmodus rotundus*), lugar en el que también fue posible reconocer su vocalización durante la experiencia de terreno, lo que coincide con lo

mencionado por Iturra-Herrera et al., (2019) en que se registran ejemplares de esta especie en huecos graníticos sedimentarios con poca luminosidad del Islote.

Figura N°13: Cueva con presencia de Piuchén



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

A menor altitud de las cuevas hay roqueríos con alta pendiente que conectan con la zona intermareal en los cuales se pueden reconocer la ocupación del lobo marino. Además, en esta zona, localizada con una altura aproximada de 16 metros respecto a puntos de zona intermareal, es posible encontrar bloques de roqueríos bajo los cuales se observan pequeñas cuevas en las que hay presencia de pingüinos de Humboldt anidando, es en esta concavidad y en las cuevas donde se registró la abundante ocupación de gaviotín monja, especie que, al momento del muestreo, estuvo involucrada en disputas aisladas con pingüinos de Humboldt.

4.1.5 Roqueríos y Acantilados

Esta zona está caracterizada por 2 componentes importantes, caracterizados con pendientes pronunciadas que se encuentran de forma contigua y entremezcladas según la localización en el Islote (Véase Figura N°14). Por un lado, los roqueríos, son estructuras rocosas redondeadas que fueron eventual y principalmente moldeadas por factores abióticos, y presentan un relieve irregular ceñido por depresiones y grietas profundas entre las cuales se depositan fluidos, guano y sedimento del bloque rocoso.

Espacialmente, desde el centro del Islote, hacia la zona Oeste, se encuentra la mayor cantidad de superficie que tiene roquerío, los cuales varían en altitud de hasta 14 metros desde el intermareal. Esta zona corresponde a una mayor escala, de menor pendiente, pero con morfologías locales de alta pendiente. El sector está constituido por mesetas, que son delimitadas por las zonas de roquerío y acantilados, por lo tanto, el paisaje está determinado por esta zona, lo que tiene como consecuencia la ocupación de especies en el territorio.

Figura N°14: Vista aérea de roqueríos y acantilados



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

Los roqueríos pueden encontrarse como estructuras que surgen desde el océano, incluso separados del principal afloramiento rocoso y de menor tamaño, con características similares a las descritas para los roqueríos que se encuentran en el promontorio más grande. También, es posible reconocer en el ortomosaico, que en algunos sectores de roquerío hay depresiones topográficas que forman grietas, en las cuales se identifican bloques de rocas de menor tamaño que interrumpen la continuidad de aquellas líneas de menor altura. Dicha condición se puede recocer en casi la totalidad del Islote.

Por otro lado, en el sector este del Islote, es aquel donde se localizan la mayor cantidad de acantilados que se representan en una línea continua de aproximadamente 200 metros de longitud, con alturas máximas superiores a los 40 metros en el lado de sotavento respecto a puntos desde el intermareal. En el Noroeste, se observó en estos acantilados, algunas cuevas que irrumpen este tipo de formación, hecho que puede ocurrir en más sectores de acantilados no recorridos.

Tanto los acantilados como roqueríos, según su orientación, están constantemente expuestos a la dinámica del oleaje, la marea y los vientos, como se refleja en las Figuras N°11 y N°12, gran parte de esta zona es área de ocupación de lobos marinos, como también en algunos sectores hay presencia de pingüino de Humboldt y otras especies de aves marinas, vale decir que, a pesar de sus condiciones adversas, es una zona que permite el desarrollo de especies presentes en el Islote

Los acantilados son zonas de alta pendiente donde fue posible reconocer aves marinas posadas en estas formaciones, entre algunas grietas y relieves que se observaron en terreno. Los sectores de acantilados, dada las condiciones de alta pendiente son una zona donde no se observa presencia de mamíferos marinos como el lobo marino, sino más bien su ocupación está restringida en las zonas de roquerío que colindan con acantilados.

4.2 Caracterización y descripción de la ocupación de especies que habitan el Islote de Pupuya.

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas y los resultados del análisis de imágenes satelitales y recopilación de información primaria en terreno, la ocupación de las diferentes especies analizadas junto a la representación gráfica de la red trófica del Islote se muestra a continuación en la Figura N°15. En la cual, los bosques de macroalgas se presentan como productor primario de nivel inferior correspondiendo a una especie ingeniera de ecosistema, por lo tanto, estructuradora de comunidades, (Ministerio del Medio ambiente, 2018). Consumidores como la anchoveta se encuentra en bajos niveles de la red trófica, las cuales transfieren energía hacia otros depredadores superiores (Silva et al., 2017). El pingüino de Humboldt como depredador intermedio, especie consumidora de hábitos carnívoros, la cual se localiza en un nivel superior (Ministerio del Medio Ambiente, 2018) y el lobo marino común como depredador tope en el más alto nivel trófico, como especie clave depredadora y controladora de ecosistemas (Oliva et al., 2016).

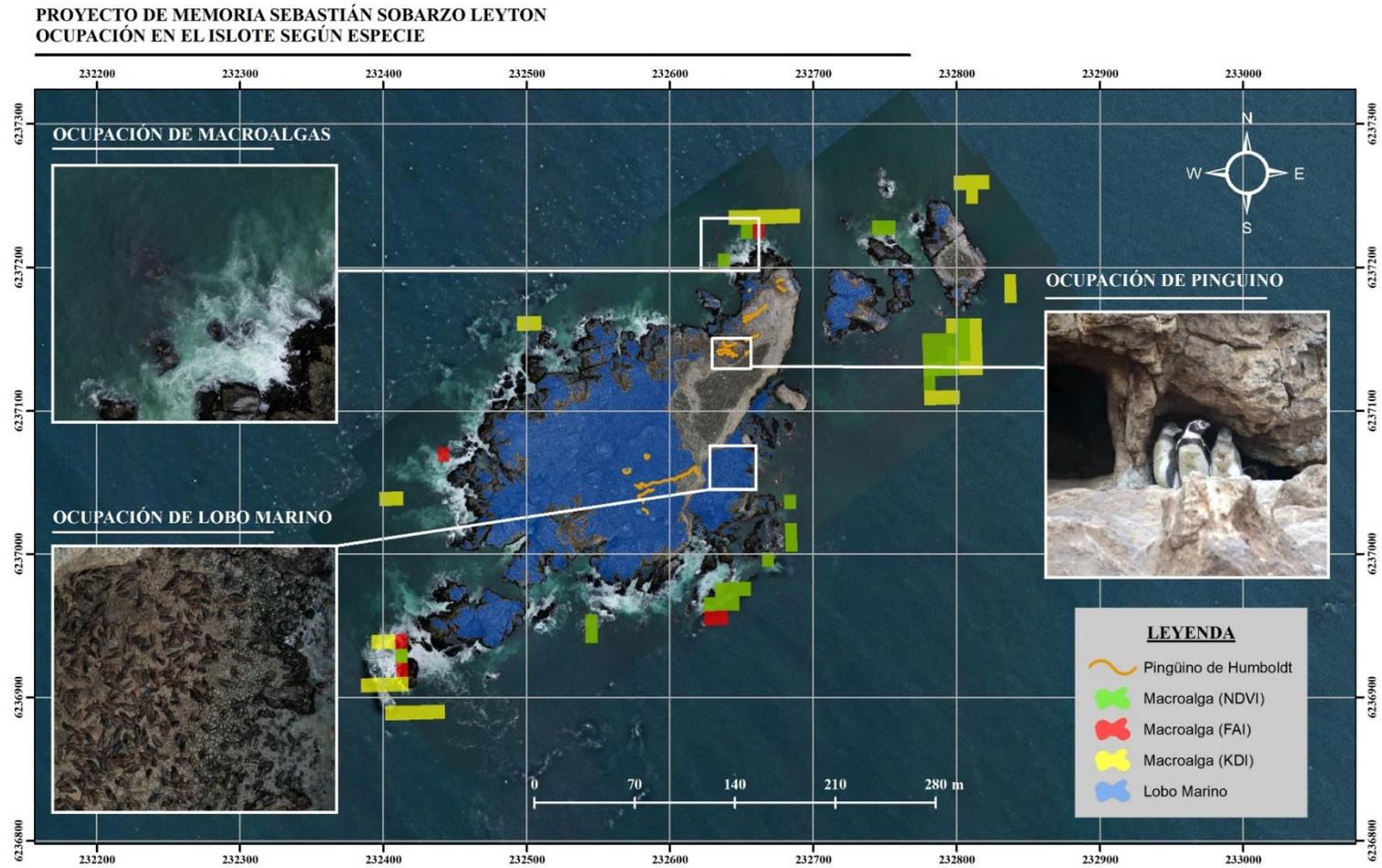
Figura N°15: Ocupación y red trófica del Islote de Pupuya



Fuente: Elaboración propia, 2022

Además, con el propósito de contextualizar la información que se presenta en este apartado, se incluye la Figura N°16 que consiste en una cartografía que representa la delimitación de los sectores de ocupación de las especies objetivo de este estudio: lobo marino común, pingüino de Humboldt y bosques de macroalgas.

Figura N°16: Cartografía de Ocupación según especie del Islote de Pupuya



Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2.1 Lobo marino común en el Islote de Pupuya

En la región de O'Higgins, en 1997 la cercana Roca de Los Lobos, el Islote de Pupuya y Topocalma fueron considerados loberas parideras, sin embargo, la Roca de Los Lobos y el Islote de Pupuya, en censos posteriores, únicamente fueron considerados como islotes paradero, esto quiere decir que tienen ocupación principal como zona de descanso. Sin embargo, para el verano del año 2015, el Islote de Pupuya fue catalogado como el paradero más abundante de lobo marino común del país, aun a pesar de que presenta variaciones significativas de población de esta especie durante los inviernos, momento en que disminuye la abundancia tanto de ejemplares juveniles, como también de hembras y machos debido a su salida y dispersión a otros islotes generalmente cercanos pudiendo existir un flujo importante de animales entre Matanzas y el Islote (Sepúlveda et al., 2011; Subsecretaría de Pesca, n.d.).

El mapa generado a partir de la fotointerpretación del levantamiento aerofotogramétrico, identifica gráficamente la presencia de lobo marino común, representadas gráficamente en la cartografía de Ocupación según especie como áreas de color azul superpuestas sobre el Ortomosaico, y entendiendo el dinamismo de ocupación de esta especie, este levantamiento y posterior caracterización cartográfica se encuentra asociado particularmente a la captura realizada durante el día 7 de diciembre del año 2021. Las comunidades de lobos Marinos registradas en la observación fotogramétrica se localizan en la mayor parte del islote, abarcando una superficie de 21.125 m², y espacialmente se diferencian principalmente por una abundante ocupación que, a diferencia de las otras especies estudiadas, se presenta en casi la totalidad del Islote.

Como se demuestra en la Figura N°10, la ocupación de lobos marinos se da en diversos puntos del Islote, no bien, se pueden distinguir algunas particularidades de ocupación. También se evidencia gran presencia de lobos marino en el sector este del Islote, en una zona de barlovento, protegida del viento y oleaje, ubicados en una plataforma de menor pendiente contigua al mar y rodeada por un alto acantilado, la cual está cubierta por rodados entre los cuales se ubica una gran cantidad de lobos marinos descansando y cercanos a los límites con el mar (Véase Figura N°10).

Figura N°17: Ocupación de lobos marinos en zona de barlovento



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

Las amplias y diversas áreas ocupadas por los lobos marinos demuestran la alta disponibilidad de espacios y condiciones presentes en el Islote, tales como, pozas de agua, acantilados, zonas intermareales, mesetas, zonas de sotavento y barlovento ideales para esta especie. El lobo marino común es una especie que se relaciona de hábitats litorales de reproducción y descanso terrestre, principalmente ambientes rocosos con formaciones de grietas y cuevas, los cuales propician condiciones óptimas para su desarrollo, no bien, es posible identificar a estos mamíferos en zonas litorales sin las condiciones mencionadas, tales como playas de poca pendiente y arenosas (Sielfeld, 1983). Por lo tanto, el Islote de Pupuya es un ecosistema que reúne características particularmente atractivas para esta especie.

Debido a la gran extensión de su ocupación, se puede constatar la ocupación de lobos marinos principalmente en la superficie terrestre rocosa y en la MEPR, pero también es posible localizar ejemplares nadando en el mar. La abundancia en magnitud se presenta principalmente en la MEPR: *“Este punto es un lugar de descanso para lobos marinos, por lo que no se observó mayor nidificación, excepto por algunos casos aislados”* (Arriagada et al., 2018, p. 57).

Respecto con la ocupación de la zona intermareal, existe preferencia del intermareal en zonas de barlovento comparado con las zonas con mayor exposición, con algunas excepciones de lobos ocupando estas áreas, e incluso se reconocen a partir de las fotografías aéreas, lobos nadando en zonas al oeste del Islote, enfrentando la alta energía del oleaje. Como se reconoció en terreno, al norte del Islote, en zonas mayormente protegidas del oleaje abundaban crías de lobo marino, lo cual se puede explicar a partir de la proporción de zonas de refugio y seguridad. En la misma disposición, se reportaron grupos de lobos marinos

cachorros y jóvenes en la zona intermareal con fácil acceso al agua en interacción con el mar practicando nados cerca del Islote.

Mientras que en la meseta de mayor altura (22 metros de altura, desde el límite de la zona intermareal) en el sector nororiente del Islote, no es posible identificar ocupación de lobo marino común, sin embargo, estos se localizan preferentemente en grietas y depresiones, también se observan lobos sobre zonas convexas, pero en menor cantidad. En la MEPR, hay algunos bloques de roca que interrumpen la normal topográfica del lugar, en los cuales no se identifica ocupación de lobos marino, y sobre la meseta se reconocen depresiones topográficas rellenas de agua y posiblemente por fluidos de los animales presentes en el Islote, que forman lagunas de diversos tamaños y colores que van desde el marrón, rojizo y las más cercanas a las zonas de rompiente de oleaje, azulinas, lo cual puede ser consecuente del intercambio de fluidos con el mar.

Para el caso de su presencia en las zonas de acantilados, se constata la circulación de lobos marinos en diversos ejes de traslado, por lo que estos espacios son en mayor medida, lugares de tránsito, es decir, utilizan estas áreas principalmente como parte de sus rutas hacia la meseta, grietas y el mar.

4.2.2 Bosques de macroalgas en el Islote de Pupuya

Los hábitats marinos y submarinos conjunto a sus dinámicas, son difíciles de monitorear sistemáticamente, particularmente en aquellos lugares de baja accesibilidad. Para analizar la distribución de algas en el Islote de Pupuya se realizó a través de la utilización de algoritmos de detección de satélites. En la Figura N°16 se observa el área de ocupación de los Bosques de macroalgas, para la zona submareal del colindante al Islote de Pupuya.

El mapa obtenido utilizando el algoritmo, que permite filtrar con los índices KD, FAI y NDVI accede a identificar las celdas asociadas a colores que representan la presencia de bosques de macroalgas, entre los años 2015 al 2021. En este sentido, el color rojo representa la identificación de bosques de macroalgas para el índice FAI, el amarillo indica KD; y las verdes son aquellas celdas que representan la detección a partir de NDVI. Con la superposición de los tres índices en torno al Islote de Pupuya, se detectan 16 áreas de bosques de algas ligeramente distanciadas entre sí, reuniendo espacialmente un área de 5.962 m².

El modelo utilizado en esta investigación para la identificación de bosques de macroalgas puede estimar su presencia en zonas submareales e intermareales, lo que puede incluir la presencia de otras especies que son igualmente detectadas por el sensor satelital, tales como ejemplares de cochayuyo (*Durvillaea antártica*). Además, el método utilizado en zonas intermareales puede considerar algas verdes (*Ulvophyceae*), las cuales tienen una reflectancia similar a las macroalgas de color pardo, por lo que la detección generada en el mapa resultante para el área de estudio las puede categorizar en conjunto con las macroalgas

(Mora-Soto et al., 2020). Es a partir de esta premisa, que se analiza de forma detallada la distribución de esta ocupación en el área de estudio.

A partir de los datos recopilados y los antecedentes que se tienen para el área de estudio, se puede determinar que la influencia del oleaje y los vientos que predominan del oeste, provocan que la ocupación de bosques de macroalgas sea levemente mayor en el noreste y en el norte del Islote de Pupuya, tal como se desprende de la Figura N°16, los lugares con mayor protección al oleaje presentan mayor persistencia de bosques de algas. El mapa elaborado contiene información de bosques de macroalgas y sectores con salientes rocosas intermareales cubiertas con cochayuyo, el detalle, se encuentra superpuesto en el ortomosaico donde se reconocen la extensión terrestre del Islote. Las características de este tipo de ecosistemas también son reconocidas en otras latitudes donde la presencia de grandes bosques de algas asociados a islotes rocosos intermareales se pueden evidenciar en las ecorregiones de Canales y Fiordos y en Georgia del Sur, como también en la ecorregión de las Islas Malvinas (Mora-Soto et al., 2021).

Bajo el procesamiento del filtro satelital y aerofotogramétrico se identifica que en la zona este del Islote es donde se presenta mayor persistencia de la especie, es este sector el más protegida por la formación rocosa la cual se determina como la zona de sotavento del Islote. Por otro lado, en las zonas más batidas por el oleaje, es decir, el suroeste se observa una leve disminución de presencia de bosques de macroalgas, al igual que la zona noroeste, son aquellos espacios que presentan una menor ocupación de bosques de alga del espacio submarino, esto podría producirse por la influencia de los vientos y oleajes de barlovento.

El Islote de Pupuya, es un ecosistema que presenta las condiciones óptimas para el desarrollo de los bosques de algas, los cuales se establecen como estructuras de gran productividad dentro de las comunidades rocosas de aguas frías. Por un lado, tras los recorridos realizados en el Islote, el cochayuyo es abundante en las zonas intermareales (Véase Figura N°18) y por otro, en la zona inferior al intermareal, es donde se presentan los bosques de macroalga. En el área submareal, es donde se encuentra el alga gigante, precisamente en la proyección rocosa con distintas pendientes del Islote, sobre la cual se establece el sustrato al cual se adhieren y fijan las algas de este tipo.

Por otra parte, la identificación de la ocupación de bosques de macroalgas se puede relacionar con la exposición del Islote, respecto a las condiciones geográficas y climáticas locales a las que se encuentra el Islote de Pupuya, principalmente al oleaje, factor determinante de fenómenos que alteran la disposición topográfica y las características geográficas del Islote, como la erosión de la formación rocosa, la depositación de sustratos y sedimentos orgánicos e inorgánicos, los aportes de Nitrato y la zonación de la presencia de comunidades ecosistémicas.

Figura N°18: Ocupación de algas en la Zona Intermareal del Islote de Pupuya



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

4.2.3 Pingüino de Humboldt en el Islote de Pupuya

A partir de la expedición en terreno junto a la fotointerpretación del modelo aerofotogramétrico 3D, se logró reconocer y georreferenciar la ocupación de los pingüinos de Humboldt en el Islote de Pupuya. El resultado del análisis utilizado por ambas metodologías reveló que los pingüinos se encuentran dispersos por el Islote, representados cartográficamente en la Figura N°16.

Figura N°19: Cueva ocupada por ejemplares de pingüino de Humboldt



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

Al momento del recorrido y como se evidencia en el mapa, se identifica la ocupación del pingüino de Humboldt en diversos espacios y de manera dispersa, utilizando ciertas zonas de la formación rocosa con características únicas que guardan relación con las necesidades de esta especie como un espacio de ocupación. Se registra la ocupación del pingüino de Humboldt en depresiones topográficas, cuevas y cavidades que pudieron ser formadas con sus patas (Arriagada et al., 2018) principalmente en la zona de sotavento del Islote, sin embargo, a nivel local, dichas concavidades se caracterizan por ser espacios que les sirven como protección del viento, respondiendo a la necesidad de espacios para generar madrigueras protegidas, evitando la exposición a depredadores y condiciones ambientales desfavorables (Véase Figura N°19 y N°20).

Figura N°20: Ejemplo de cueva de pingüino de Humboldt



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

En la mayoría de las zonas identificadas que se grafican en la Figura N°16, para la ocupación del pingüino de Humboldt, no se reconoce influencia directa del oleaje ni de marea, ya que los ejemplares se localizan en niveles superiores a la zona intermareal, ubicados entre los límites de la alta marea y la meseta reproductiva. Particularmente, durante la instancia de recopilación de datos primarios, fue posible reconocer y georreferenciar pingüinos de Humboldt en actividad reproductiva. Los pingüinos observados dentro de las concavidades, en su mayoría, se observaron anidando, concretamente, en madrigueras de pingüinos con huevos bajo su cuerpo y algunas con pingüinos acompañados por polluelos. También se observó en algunas zonas, familias de pingüino con crías (Véase Figura N°12 y N°19). En síntesis, se caracteriza por encontrarse bajo los límites entre la meseta reproductiva, y la meseta con escasa presencia reproductiva, entre las cuales se observa un escarpe intervenido con concavidades que definen de manera abrupta distintas altitudes de alrededor de 2 metros de diferencia.

En las zonas representadas por polilíneas localizadas al sector norte, se reconoció principalmente la ocupación del pingüino de Humboldt en grietas y oquedades profundas ubicadas en las zonas de acantilado con gran pendiente. También, fue posible identificar pingüinos de Humboldt en roqueríos caminando desde la zona intermareal hacia los nidos, y viceversa, como también se evidenció la utilización de la zona intermareal como parte de la trayectoria hacia el mar, con la finalidad de realizar nados.

Finalmente, se registraron ejemplares anidando en espacios protegidos bajo bloques de roquerío (véase Figura N°21) presentes en la meseta con escasa presencia reproductiva, demarcadas por las polilíneas que se encuentran en el oeste.

Figura N°21: Anidación de pingüino de Humboldt



Fuente: Registro fotográfico de terreno, 2022.

CAPITULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El Islote de Pupuya corresponde a un área con alta diversidad de especies donde no se reconoce presencia humana sobre el promontorio rocoso, esto debido a la dificultad de acceso desde el continente, lo que constituye un factor limitante en el conocimiento del ecosistema y las especies que se encuentran allí. No bien, esta dificultad de accesibilidad constituye un factor que sostiene una baja intervención antrópica, lo que permite el desarrollo estable de las dinámicas naturales que ocurren en la biota, tales como la ocupación de especies.

Tanto la información obtenida de los muestreos en terreno como la obtenida por la aerofotogrametría y a través de información satelital vinculadas con información geoespacial representada en los Sistemas de Información Geográfica, acceden a organizar y analizar de manera precisa las dinámicas y relaciones que existen en él, otorgando una primera aproximación al funcionamiento ecosistémico del Islote de Pupuya.

Las metodologías desarrolladas en esta investigación son de gran utilidad para evaluaciones biogeográficas. Por un lado; al igual como plantea Brondi et. al. (2020) la metodología de aerofotogrametría permitió gran precisión y baja intervención en el Islote de Pupuya, un espacio de dificultad de acceso, como también apoyó de forma rápida el levantamiento de información de áreas extensas, disminuyendo costos; y por otro, la validación de datos en terreno permite una observación directa de fidelidad en el ambiente, logrando reconocer escalas y dinámicas de manera cercana. Sin embargo, esta investigación a partir de metodologías de muestreo aplicadas en terreno, teledetección y análisis de procesamientos aerofotogramétricos tiene limitantes en su aplicación, dado que está determinada por las condiciones oceánicas, climáticas y por la dificultad de acceso a gran parte del promontorio rocoso, lo que se refleja en la planificación de visitas; la dificultosa observación directa en las zonas de acantilados (zona en la que no se reconoce en mayor medida las especies que allí se encuentran); como también la baja capacidad de desplazamiento al evitar a las especies en nidificación, hechos que coinciden con lo establecido en cuanto al desafío del conocimiento de la naturaleza dada las dificultades de investigación por Mancera-Pineda et al. (2013). Junto a lo anterior, y debido a los costos y dificultades de zarpar en embarcaciones al Islote de Pupuya, la investigación se centró en el levantamiento de información de una visita a terreno, motivo que restringe evaluaciones comparativas espaciotemporales.

Ahora bien, explicar las condiciones del Islote a partir de los métodos utilizados en esta investigación permiten comprender su funcionamiento actual. En general, el Islote de Pupuya tiene dinámicas complejas y diversas que están reflejadas en las relaciones de ocupación y presencia de fauna, avifauna y vegetación presente, la cual según lo que se desprende de Morlans (2004) se ha determinado por adaptaciones y funciones propias de cada especie en el hábitat. En este sentido, se reconocen especies de la red trófica con roles determinantes del Islote de Pupuya con una alta ocupación en este ambiente.

Dentro de los resultados de la investigación se presenta la delimitación de áreas de ocupación del pingüino de Humboldt, especie que clasifica en su estado de conservación como Vulnerable, que en este espacio marino, su ocupación está determinada por las condiciones asociadas las dinámicas y roles dentro de la red trófica en la que se ve involucrado y a las

condiciones de protección que entrega hábitat, motivo que apunta hacia medidas de protección para este sitio.

Según lo investigado, la surgencia en la zona centro se ve caracterizada por ser soporte de biomasa y hábitat de especies que son parte de la red trófica del lobo marino, tales como las anchovetas y sardina común, especies presa del lobo marino que aportan energía desde especies productoras primarias, hasta los eslabones superiores de la cadena trófica como el lobo Marino (Pizarro, 2016), motivo por el cual pueden encontrar en el Islote y en sus aguas aledañas grandes comunidades de lobo marino común en conjunto con otras especies que componen su red trófica como el pingüino de Humboldt. Como se pudo inferir de Kuznar et al. (2009) y de Graco et al. (2007), la influencia de la corriente de Humboldt en el Islote, junto con la surgencia costera, permiten una alta productividad biológica, por lo tanto, una alta disponibilidad de alimento, y este sentido, la característica formación rocosa es una significativa zona de ocupación para las especies depredadoras.

El Islote tiene una gran superficie con diferencias marcadas entre un mosaico constituido por mesetas, cuevas, roqueríos, acantilados y zonas intermareales que son parte de un sistema que se caracteriza por tener relaciones bióticas y abióticas, las cuales se detectaron y representaron a partir de los SIG, con mapas y representaciones complementadas con el modelo 3D y Ortomosaico, lo que complementa como información gráfica a lo señalado inicialmente por la Fundación Kennedy en Arriagada et al. (2018) como subdivisiones del Islote. Para estas zonas se determina que principalmente se presentan a distintas escalas diversas estructuras que permiten condicionar la exposición de un área y su interacción con el entorno. Por ejemplo, en la zona de sotavento y barlovento, entre las cuales se determinan zonas más protegidas que otras; como también, esta exposición puede ser a consecuencia de la irregular modelación del bloque rocoso que tiene límites frente al mar y que representan entrantes de roquerío que sobresalen hacia el mar respecto a otros que no.

Consecuentemente, los puntos que enfrentan perpendicularmente la energía del mar o del viento se ven mayormente afectados que aquellos que se encuentran más protegidos. Además, debido a la irregularidad de la línea de costa, se generan circulaciones turbulentas que se pueden reconocer en el Ortomosaico, lo que infiere en el comportamiento de las especies como las algas en la zona intermareal y en la erosión del bloque rocoso. El Islote de Pupuya es heterogéneo desde el punto de vista topográfico y las corrientes marinas y el viento predominantemente Suroeste afectan de distintas maneras al islote, dependiendo de su exposición.

Estas condiciones concuerdan con los hábitos de las especies estudiadas en esta investigación, donde el pingüino de Humboldt presenta preferencias de hábitat relacionados con áreas rocosas protegidas de amenazas, por lo tanto, menos expuestas como cuevas, las que presentan condiciones de protección frente a amenazas (Goya et al. 2020), exigiendo una morfología y altitud que disminuya su exposición al oleaje y viento.

Por otro lado, se evidencia que el lobo marino, especie clave del Islote, tiene una abundante ocupación en el Islote (presenta una superficie de ocupación superior sobre otras especies

presentes), lo que coincide con la inferencia de ser una lobera abundante de ejemplares (Sepúlveda et al., 2011). La especie tiene presencia en gran parte de los sectores terrestres, principalmente en la Meseta de escasa presencia reproductiva, como también se identifica una alta ocupación de las aguas colindantes al Islote. Se puede reconocer con los modelos aerofotogramétricos que la protección al viento, al oleaje, las pendientes y condiciones adversas del Islote son factores que no impiden totalmente la localización de estos mamíferos. También se establece que, aun existiendo una alta exposición a las olas, los lobos marinos adultos utilizan las plataformas rocosas de mayor y menor inclinación, utilizando todos los tipos de ambientes que conforman el Islote.

Al igual que las mesetas escasamente reproductivas, en otros sectores del Islote se localizan las Mesetas reproductivas; las cuales tienen alta exposición al viento y a eventos meteorológicos como la lluvia, pero no al ataque directo del oleaje, sin embargo, según su localización algunos sectores de estas, pueden estar menos expuestas al viento, dependiendo de su dirección, cuan cercano y respecto a que orientación estén de roqueríos que tengan una mayor altitud que la meseta, esto debido a la disposición que tienen respecto a los factores abióticos. Cabe mencionar que las mesetas no se encuentran en contacto directo con las mareas ni con el oleaje, pero puede existir influencia oceánica constante por el área en el que se emplazan a través del contacto de fluidos como las corrientes de vientos.

En cuanto al patrón de zonificación submareal e intermareal, la ocupación de algas varía según se determine un emplazamiento en los lugares expuestos o protegidos al oleaje, como también, por las condiciones ambientales que ofrece el Islote de Pupuya en cuanto a sus relaciones con las especies y el roquerío, tal como los aportes de sedimentos; las relaciones tróficas asociadas; y la morfología. En este sentido, la zona costera de Chile, y por lo tanto, el espacio marino en estudio, es una zona con características que permiten el desarrollo de las macroalgas; en Chile *M. pyrifera*, se encuentra en cordones que no superan los 100 m de ancho y se sitúan en las zonas protegidas o semiprotegidas del oleaje (Plana et al., 2007). Lo que concuerda con resultados de lo establecido en el mapa de bosques de algas para el Islote de Pupuya y es consecuente de múltiples variables que conciernen en la presencia de bosques de algas, los cuales responden a variedades de factores bióticos y abióticos, por lo tanto, las características del espacio marino y terrestre del Islote definen la presencia de bosques de algas en la zona submareal. En general, el Islote reúne las condiciones ideales para la presencia de esta especie de algas en formas de bosque submarino.

En general a partir de las dinámicas tróficas y de ocupación reconocidas en el levantamiento bibliográfico junto a los trabajos de validación en terreno para especies como el lobo marino y el pingüino de Humboldt en el Islote de Pupuya, se puede evidenciar que la zona intermareal es un área de paso para estas especies, principalmente para ir en busca de su alimento al mar. Ahora bien, según lo observado se puede reconocer que no se utiliza como zona de anidamiento debido a la alta exposición al mar.

En otra zona, tanto aquellos roqueríos como acantilados que tienen contacto con el mar forman parte de la zona intermareal, los cuales están cubiertos por algas, siendo estas últimas las que determinan su morfología y, por lo tanto, su relación con el entorno biótico y abiótico, sin embargo, los acantilados de mayor altura no tienen abundante ocupación de ejemplares de las especies.

Finalmente, el Islote se constituye de procesos, fenómenos, ambientes y espacios que sostienen el funcionamiento de las comunidades biológicas que se relacionan con este y entre especies. Bajo lo mencionado, el Islote de Pupuya tiene la capacidad de otorgar requerimientos y condiciones para el éxito de ocupación y supervivencia de las especies, lo cual se demuestra bajo las modelaciones gráficas expuestas en cartografías de la ocupación de las tres especies en estudio y validado en lo observado en terreno. Dicho funcionamiento puede responder de manera bidireccional a condicionantes y dinámicos bióticos y abióticos, por lo cual, las descripciones de la ocupación y la superposición de elementos climáticos, topográficos, presencia de otras especies, entre otros, son información relevante para la modelación de nichos ecológicos (Soberón & Miller, 2009).

En el Islote de Pupuya se hallan factores multidimensionales necesarios para las especies en estudio, principalmente funcionando como espacio de reproducción, alimentación y descanso. Consecuentemente, existen particulares superposiciones espaciales que pueden ser reflejo de los hábitos tróficos o conductuales propias de la fauna y avifauna del lugar. En este hábitat se desarrollan conexiones que permiten desarrollar redes tróficas, lo cual se evidencia entre los bosques de macroalga, pingüino de Humboldt y los lobos marinos, por lo cual, las zonificaciones identificadas en la investigación responden a la interacción entre especies y con su hábitat.

Como ya ha sido mencionado en esta investigación, las tres especies estudiadas junto a los ecosistemas marino-costeros están enmarcados bajo un contexto de amenazas, las cuales, dada las conexiones de relación entre las especies con su hábitat, pueden afectar el funcionamiento ecosistémico de sitios como el Islote de Pupuya. Tal como en otros espacios naturales, la degradación de hábitat puede ser un factor condicionante de cambios en la ocupación de las especies en este hábitat, a pesar de sus condiciones de adaptabilidad debido a las interrelaciones sistemáticas bióticas y abióticas que tienen entre ellas.

En los ecosistemas costeros, la ocupación de especies de aves y mamíferos marinos afectan las propiedades bioquímicas de los ecosistemas y espacios aledaños, modificando las condiciones, por ejemplo, de disponibilidad de nutrientes en el agua salada que rodea el cuerpo rocoso, sirviendo así de insumo para la generación de energía y proliferación de los bosques de macroalgas que rodean el Islote, entre otras interacciones con especies de la red trófica. Las aves guaneras como el pingüino de Humboldt, son afectadas por diversos fenómenos naturales (El Niño, pérdida de hábitat y variabilidad climática) e intervenciones asociadas a la actividad humana (explotación pesquera, intervención humana, introducción de especies exóticas y otros) (B. Fuentes et al., 2018), lo cual puede afectar la presencia del resto de las especies presentes en el Islote de Pupuya y el territorio local, sin embargo, tal y

como se ha expuesto en la investigación, existen pocos antecedentes sobre las condiciones geográficas de estos ambientes marinos, por lo que constituye una necesidad imperante continuar la investigación del Islote de Pupuya como zona de ocupación de las comunidades de pingüino de Humboldt, lobo marino común y bosques de macroalgas

La información contenida en esta investigación permite comprender el funcionamiento y estado, tanto del Islote, como de las especies que están dentro de la red trófica marina. generar conocimiento sobre sus dinámicas y la intención de reconocer la heterogeneidad de su ocupación en el Islote, con el fin de incrementar la información territorial y espacial de esta unidad marino-costera.

Sus métodos pueden ser aplicados en levantamientos de información estacionales que permitirían mayor temporalidad de muestreos, lo que llevaría a tener un conocimiento acabado de un espacio marino con condiciones que constituyen alta biodiversidad y ocupación de especies marinas con roles claves en la estabilidad del Islote. Información que, junto a su contexto de mínimas perturbaciones humanas y aislamiento de zonas urbanas, sirven para generar y fortalecer las medidas de conservación y protección ambiental para este ecosistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Áreas Costeras y Recursos Marinos. (2005). El pinguino de Humboldt en el área pisco Paracas: guía para docentes. In *ACOREMA*. https://www.acorema.org.pe/documentos/Pinguino_de_Humboldt_Guia_para_Docentes.pdf
- Arriagada, M., Brito, B., & Iturra, L. (2018). Aves del humedal La Vega de Pupuya e Islote Pupuya. In *Fundación Kennedy*. <https://fundacionkennedy.cl/wp-content/uploads/2020/06/Aves-del-Humedal-La-Vega-e-islote-de-Pupuya.-1.pdf>
- Auger, A. (2020). Recopilación bibliográfica de la trama trófica de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile: presas y depredadores. In *Centro de Investigación Aplicada del Mar S.A. (CIAM)*. http://www.ciamchile.cl/wp-content/uploads/2015/03/Informe-Final-Tráfico-Anchoveta-ZN-Chile_CIAM_2020.pdf
- Barreto, J., Cajaíba, L., Teixeira, J. B., Nascimento, L., Giacomo, A., Barcelos, N., Fettermann, T., & Martins, A. (2021). Drone-Monitoring: Improving the Detectability of Threatened Marine Megafauna. In *Drones* (Vol. 5, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/drones5010014>
- BirdLife International. (2020). *Spheniscus humboldti*. In *The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T22697817A182714418*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22697817A182714418.en>
- Brondi, N., Aguilar, R., & Candelario, J. (2020). Uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) en la estimación de poblaciones de lobos marinos en la Isla Chíncha sur - Ica. *Industrial Data*, 23(2), 7–19. <https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.16921>
- Cardenas, S., Werner, A., Cardeña-Mormontoy, M., Cavero, A., Bustamante, P., García, F., & Tremblay, Y. (2011). La ruta del pingüino: Uso de hábitat marino y patrón de atención al nido por el Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) en Punta San Juan, Perú. *Boletín Informativo Unión de Ornitólogos Del Perú*, 6, 21. https://www.researchgate.net/publication/319077193_La_ruta_del_pinguino_Uso_de_habitat_marino_y_patron_de_atencion_al_nido_por_el_Pinguino_de_Humboldt_Spheniscus_humboldti_en_Punta_San_Juan_Peru
- Castellanos, D. (2019). Aplicación de la fotogrametría a estudios de erosión costera. *Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales*.
- Colefax, A. P., Butcher, P. A., Pagendam, D. E., & Kelaher, B. P. (2019). Reliability of marine faunal detections in drone-based monitoring. *Ocean & Coastal Management*, 174, 108–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.03.008>
- Comité Oceanográfico Nacional. (2022). *Surgencia*. Chile y Su Mar. CONA. <http://www.cona.cl/chileysumar/surgencia.htm>
- Concha, A. (2020). *Sistema de Corriente de Humboldt: Un recurso vital para la biodiversidad marina*.
- Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. (2022a). *Islote Pájaros Niños*. Santuarios de

- La Naturaleza. <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/santuarios-de-la-naturaleza/islote-pajaros-ninos>
- Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. (2022b). *Los islotes Lobería y lobería Iglesia de Piedra. Santuarios de La Naturaleza*. <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/santuarios-de-la-naturaleza/islotes-loberia-loberia-iglesia-piedra>
- Cortés, J., Vallamizar, A., Nagy, G., Girot, P., Miglioranza, K., & Villasante, S. (2020). *Ecosistemas marino-costeros*. Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT.
- Crespo, E., Oliva, D., Dans, S., & Sepúlveda, M. (2009). Estado de situación del lobo marino común en su área de distribución. *Sello Editorial Universidad de Valparaíso*, 59. 67
- Cursach, J. A., Suazo, C. G., & Rau, J. R. (2014). Depredación del lobo marino común *Otaria flavescens* sobre el pingüino de penacho amarillo *Eudyptes c. chrysochome* en isla Gonzalo, Diego Ramírez, sur de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 373–377. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200016>
- Cushing, D. H. (1971). *Upwelling and the Production of Fish* (F. S. Russell & M. B. T.-A. in M. B. Yonge (eds.); Vol. 9, pp. 255–334). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60344-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60344-2)
- DICYT. (2015). *Las aves marinas, unos excelentes bioindicadores de la salud de los ecosistemas marinos*. Agencia Iberoamericana Para La Difusión de La Ciencia y La Tecnología. <https://www.dicyt.com/noticias/las-aves-marinas-unos-excelentes-bioindicadores-de-la-salud-de-los-ecosistemas-marinos>
- DJI. (2022). *Mavic 2 - Product Information - DJI*. <https://www.dji.com/mavic-2/info>
- Fernández, P. A., Gaitán-Espitia, J. D., Leal, P. P., Schmid, M., Revill, A. T., & Hurd, C. L. (2020). Nitrogen sufficiency enhances thermal tolerance in habitat-forming kelp: implications for acclimation under thermal stress. *Scientific Reports*, 10(1), 3186. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60104-4>
- Fernández, P. A., Navarro, J. M., Camus, C., Torres, R., & Buschmann, A. H. (2021). Effect of environmental history on the habitat-forming kelp *Macrocystis pyrifera* responses to ocean acidification and warming: a physiological and molecular approach. *Scientific Reports*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82094-7>
- Fuentes, B., Arenas, F., Bol, R., Gomez, F., Barahona, S., & Remonsellez, F. (2018). *Importancia de los ecosistemas marinos y las aves guaneras para la generación y conservación de sumideros de fósforo*. II Congreso Chileno de Ingeniería Ambiental en Sistemas Acuáticos, CChIASA.
- Fuentes, J. (2016). *Biogeografía y patrones actuales de composición y distribución del patrón Leopardo (Leopard Bush) al norte de Sur América* [Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)]. <https://ddd.uab.cat/record/176005>
- Gobierno Regional de O'Higgins. (2018). *Informe Ambiental Complementario Zonificación*

- Borde Costero Región de O'Higgins*. División de Planificación y Ordenamiento Territorial, Gobierno Regional de O'Higgins. https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/02_IAC_ZBC_OHiggins.pdf.pdf
- Goya, E., Bachmann, V., Llapapasca, M., Márquez, J., Meza, M., Dávila, Q., & Vega, D. (2020). Depredadores Superiores En Punta San Juan, GEF UNDP. 2014. *Instituto Del Mar de Perú*, 47(1), 96–121. [https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3414/1/Informe 47%281%29 art 7.pdf](https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3414/1/Informe%2047%20art%207.pdf)
- Graco, M. I., Ledesma, J., Flores, G., & Girón, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 117–128. <https://doi.org/10.15381/rpb.v14i1.2165>
- Guallichico, J. (2021). *Modelos de ocupación de sitio de dos especies de ranas de cristal (Nymphargus grandisonae y Centrolene lynchi) en el noroccidente de Pichincha, Ecuador* (p. 48). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador. [http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25083/1/UCE-FCB-CB-GUALLICHICO JOSE.pdf](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25083/1/UCE-FCB-CB-GUALLICHICO%20JOSE.pdf)
- Harries, J. (2004). Dimetil sulfuro como señal olfativa: Un experimento con el pingüino de Humboldt en la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, III Región, Chile. In *Escuela de Biología Marina Universidad Austral*. Universidad Austral de Chile.
- Hiriart-Bertrand, L., Simeone, A., Reyes-Arriagada, R., Riquelme, V., Pütz, K., & Lüthi, B. (2010). Descripción de una colonia mixta de Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) y de magallanes (*S. magellanicus*) en Isla Metalqui, Chiloé, sur de Chile. *Boletín Chileno de Ornitología*, 16, 42–47.
- Ilustre Municipalidad de Navidad. (2021). *Plan de Desarrollo -Comunal (PLADECO), comuna de Navidad 2021-2025* (p. 79). <http://muninavidad.cl/segunda-publicacion-navidad-2015>
- Isasi-Catalá, E., Acosta, J., Anchante, A., Bianchi, G., Caro, J., Falconi, N., Maffei, L., Martínez, J. L., & Goldstein, I. (2016). Modelos De Ocupación Para El Monitoreo De La Efectividad De Estrategias De Conservación Del Área De Conservación Regional Comunal Tamshiyacu Tahuayo - Acret, Loreto – Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 61. <https://doi.org/10.21704/rea.v15i2.744>
- Jorquera-Jaramillo, C., Alonso, J. M., Aburto, J., Martínez-Tillería, K., León, M., Gaymer, C., & Squeo, F. (2012). Conservación de la biodiversidad en Chile: Nuevos desafíos y oportunidades en ecosistemas terrestres y marinos costeros. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85(3), 267–280. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2012000300002>
- Kuznar, J., Espinoza, J. C., Avaria, S., Valenzuela, M., Pavez, C., & Egaña, M. (2009). Efectos microbiológicos producidos por un evento de surgencia costera en Chile central. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 189–196. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572009000100019>
- Luna, A. (2016). Caracterización de la dieta de *Spheniscus humboldti* "Pingüino de Humboldt" durante los años 1992 , 1993 y 1996 procedentes de los alrededores de Punta

- San Juan- Ica , Perú. In *Facultad de Ciencias biológicas, Universidad Ricardo Palma*.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/909>
- Mancera-Pineda, J. E., Gavio, B., & Lasso-zapata, J. (2013). Principales amenazas a la biodiversidad marina. *Actual Biol.*, 35(99), 111–133.
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842013000200001&lng=es&nrm=is#:~:text=La sobrepesca%2C contaminación%2C introducción de,amenazas a la biodiversidad marina.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842013000200001&lng=es&nrm=is#:~:text=La%20sobrepesca%2C%20contaminaci%C3%B3n%20introducci%C3%B3n%20de%20amenazas%20a%20la%20biodiversidad%20marina.)
- Mandujano, S., Mulero-Pázmány, M., & Rísquez-Valdepeña, A. (2019). Drones: Una Nueva Tecnología Para El Estudio Y Monitoreo De Fauna Y Hábitats Drones: a New Technology To Study and Monitor Wildlife and Habitats. *Agroproductividad*, 10, 79–84.
<https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/83/77>
- Manzur, M. (2005). *Situación de la Biodiversidad en Chile: Desafíos para la Sustentabilidad*. Programa Chile Sustentable.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/31694>
- Marin, V., Rodríguez, L., Vallejo, L., Fuenteseca, J., & Oyarce, E. (1993). Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*, 66, 479–491.
- Marquet, P., Altamirano, A., Arroyo, M., Fernández, M., Gelcich, S., Górski, K., Habit, E., Lara, A., Maass, A., Cecilia, S.-R., Anibal, P., Pliscoff, P., & Samaniego, H. (2019). *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*. Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. https://cdn.digital.gob.cl/filer_public/d2/ce/d2ce6fb0-272d-4f6c-aa95-7dd275c32b6b/libro-biodiversidad.pdf
- Mella, J. (2020). *Tamaño Poblacional Y Fenología Reproductiva Del Pingüino De Humboldt (Spheniscus Humboldti) En El Islote Rocas Catedral , Punta Patache , Norte De Chile*. iii, 62–70.
- Ministerio del Medio Ambiente. (n.d.). *El pingüino de Humboldt en las costas ariqueñas*. <https://repositorioambiental.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/Cuadernillo-Pinguino-1.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos* (Tercera Ed).
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022a). *Otarya flavescens*. Inventario Nacional de Especies de Chile.
http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_indepen.aspx?EspecieId=751&Version=1
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022b). *Spheniscus humboldti*. Inventario Nacional de Especies de Chile.
http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_indepen.aspx?EspecieId=56&Version=1

- Mittermeier, R. A., Robles, P., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Goettsch Mittermeier, C., Lamoreux, J., & A.B. Da Fonseca, G. (2004). Hotspots Revisited. *Conservation Int, Ciudad de México*, 408–427. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198832232.013.25>
- Mora-Soto, A., Capsey, A., Friedlander, A. M., Palacios, M., Brewin, P. E., Golding, N., Dayton, P., Van Tussenbroek, B., Montiel, A., Goodell, W., Velasco-Charpentier, C., Hart, T., Macaya, E. C., Pérez-Matus, A., & Macias-Fauria, M. (2021). One of the least disturbed marine coastal ecosystems on Earth: Spatial and temporal persistence of Darwin's sub-Antarctic giant kelp forests. *Journal of Biogeography*, 48(10), 2562–2577. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jbi.14221>
- Mora-Soto, A., Palacios, M., Macaya, E. C., Gómez, I., Huovinen, P., Pérez-Matus, A., Young, M., Golding, N., Toro, M., Yaqub, M., & Macias-Fauria, M. (2020). A high-resolution global map of giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) forests and intertidal green algae (Ulvophyceae) with sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/rs12040694>
- Morlans, M. C. (2004). Introducción a la ecología de poblaciones. *Editorial Científica Universitaria*, 1, 1–170. [http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione on line/Ecologia/imagenes/pdf/012-poblacion.pdf](http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/012-poblacion.pdf)
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858. www.nature.com
- NOAA. (2023). *What is upwelling?* National Oceanic and Atmospheric Administration. [https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html#:~:text=Upwelling is a process in,winds blow along the shore](https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html#:~:text=Upwelling%20is%20a%20process%20in,winds%20blow%20along%20the%20shore)
- Obeso-Nieblas, M., Gaviño-Rodríguez, J. H., & Obeso-Huerta, H. (2012). Variabilidad espacial y estacional de temperatura, salinidad y densidad en Bahía Concepción, Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(3), 489–502. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572012000300011>
- OCEANA. (2017). *Propuesta para la creación del Área Marina Costera Protegida de Múltiples Usos: La Higuera - Isla Chañaral*. OCEANA. <https://chile.oceana.org/informes/propuesta-para-la-creacion-del-area-marina-costera-protegida-de-multiples/>
- Ojeda, J., Vallejo, I., Hernández, L., & Álvarez-Francoso, J. (2007). Fotogrametría digital y lidar como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Espanoles*, 44, 215–233. https://www.researchgate.net/publication/28202132_Fotogrametria_digital_y_lidar_como_fuentes_de_informacion_en_geomorfologia_litoral_marismas_mareales_y_sistemas_as_dunares_el_potencial_de_su_analisis_espacial_a_traves_de_SIG
- Oliva, D., Durán, L. R., Cárcamo, D., Pizarro, M., Sepúlveda, M., Canto, A., Herrera, P., Muñoz, L., Orellana, M., Santos, M., & Vásquez, P. (2019). *Informe complementario Estimación poblacional de lobos marinos e impacto de la captura incidental. Proyecto FIPA 2018-54*.

- Oliva, D., Sepúlveda, M., Pavés, H., Pavez, G., Santos, M., Sarmiento, R., Valencia, L., Arriagada, A. M., Colilef, A., Martínez, T., & Nuñez, P. (2016). Rol ecológico del lobo marino común en el territorio y aguas jurisdiccionales chilenas. In *Informe Final Fondo de investigación pesquera subsecretaría de pesca y acuicultura*. <https://www.subpesca.cl/fipa/613/w3-article-89386.html>
- Paine, R. T. (1995). A Conversation on Refining the Concept of Keystone Species. *Conservation Biology*, 9(4), 962–964. <http://www.jstor.org/stable/2387008>
- Pérez-Matus, A., & Ezquer, C. (2018). Interacciones tróficas y el impacto humano. *Chile Es Mar*. <https://chileesmar.cl/categoria/rema/>
- Pizarro, M. (2016). *Tendencia de la abundancia del lobo marino común, Otaria byronia en la costa de Chile* (p. 129). Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. <https://mascn.forestaluchile.cl/wp-content/uploads/2016/11/Marlen-Pizarro-version-final.pdf>
- Plana, J., Mansilla, A., Palacios, M., & Navarro, N. P. (2007). Estudio poblacional de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh (laminariales: phaeophyta) en ambientes protegido y expuesto al oleaje en Tierra del Fuego. *Gayana (Concepción)*, 71(1), 66–75. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382007000100007>
- Pontificia Universidad Católica de Chile. (2013). Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile. *Serie Fauna Australis, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile, January, 202*.
- Ríos, C., & Mutschke, E. (2009). Aporte al conocimiento de *Macrocystis pyrifera*: revisión bibliográfica sobre los “huirales” distribuidos en la Región de Magallanes. *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 37(1), 97–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2009000100009>
- Rodríguez, S. (2000). Transferencia de recursos alimentarios entre diferentes ambientes del ecosistema marino. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73(1), 199–207. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2000000100017>
- Rovira, J., & Herreros, J. (2016). *Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la zona económica exclusiva*. Departamento de Panificación y Políticas en Biodiversidad División de Recursos Naturales y Biodiversidad Ministerio del Medio Ambiente.
- Sánchez, Y. (2016). *Caracterización química del guano de aves marinas de la Isla San Jerónimo, Baja California, México y su viabilidad como fertilizante agrícola* [Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/513/1/Tesis_González_Hermoso_Juan_Pablo_07_dic_2016.pdf
- Sepúlveda, M., Oliva, D., Urra, A., Pérez-Álvarez, M. J., Moraga, R., Schrader, D., Inostroza, P., Melo, Á., Díaz, H., & Sielfeld, W. (2011). Abundance of *Otaria flavescens* off central Chile revista chilena de historia natural. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 97–106.
- Sepulveda, M., Oliva, D., Urra, A., Perez-Alvarez, M., Moraga, R., Schrader, D., Inostroza,

- P., Melo, A., Díaz, H., & Sielfeld, W. (2011). Distribución y abundancia del lobo marino común *Otaria flavescens* (Carnivora: Otariidae) en la costa de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84, 97–106. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100007>
- Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (n.d.). Pingüino de Humboldt. In *Sernapesca*. http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/importacion/rescateyconservacion/fichasespecies_conservacion/pinguinos/pinguinodehumboldt.pdf
- Sielfeld, W. (1983). *Mamíferos marinos de Chile*. Ediciones de la Universidad de Chile. <https://books.google.cl/books?id=auRgAAAAMAAJ>
- Silva, J. A., Perez-Matus, A., Hiriart-Bertrand, L., Mora, A., & Fernández, I. (2017). *Evaluación ecológica de la Anchoveta y los hábitas costeros dominados por Macroalgas pardas en el norte grande de Chile: Mejorando el conocimiento ecosistémico para el manejo pesquero*. https://www.researchgate.net/publication/336106645_Evaluacion_ecologica_de_la_Anchoveta_y_los_habitas_costeros_dominados_por_Macroalgas_pardas_en_el_norte_grande_de_Chile_Mejorando_el_conocimiento_ecosistemico_para_el_manejo_pesquero
- Simeone, A., Aguilar, R., & Luna, G. (2018). Informe Final Proyecto FIPA N°2016-33: “Censo de Pingüinos de Humboldt.” *CULTAM*. http://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-96188_informe_final.pdf
- Simeone, A., Luna-Jorquera, G., Bernal, M., Garthe, S., Sepúlveda, F., Villablanca, R., Ellenberg, U., Contreras, M., Muñoz, J., & Ponce, T. (2003). Breeding distribution and abundance of seabirds on islands off northcentral Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76(2), 323–333. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000200016>
- Smith, K., Karesh, W., Majluf, P., Paredes, R., Zavalaga, C., Reul, A. H., Stetter, M., Braselton, W. E., Puche, H., & Cook, R. (2008). Health Evaluation of Free-Ranging Humboldt Penguins (*Spheniscus humboldti*) in Peru. *Avian Diseases*, 52(1), 130–135. <https://doi.org/10.1637/8265-071007-Reg>
- Spalding, M. D., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M. A. X., Halpern, B. S., Jorge, M. A., Lombana, A. L., & Lourie, S. A. (2007). Marine ecoregions of the world: a bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57(7), 573–583. https://www.researchgate.net/publication/263705480_Marine_Ecoregions_of_the_World_A_Bioregionalization_of_Coastal_and_Shelf_Areas
- Subsecretaría de Pesca. (n.d.). *Censo Poblacional del lobo marino común en el Litoral de la V a la IX regiones* (p. 218). Informes Técnicos FIP.
- Tegner, M., & Dayton, P. (1987). El Niño Effects on Southern California Kelp Forest Communities. In *Advances in Ecological Research* (17th ed., Vol. 17, pp. 243–279). [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60247-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60247-0)
- Thiel, M., Macaya, E. C., Acuña, E., Arntz, W. E., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P. A., Carlos Castilla, J., Castro, L. R., Cortés, M., Dumont, C. P., Escribano, R., Fernandez,

- M., Gajardo, J. A., Gaymer, C. F., Gomez, I., González, A. E., González, H. E., Haye, P. A., ... Alonso Vega, J. (2007). The Humboldt Current System of northern and central Chile oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology*, 45, 195–344. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/20998>
- Unión de Ornólogos de Chile. (2008). *Boletín Chileno de Ornitología*. <https://aveschile.cl/wp-content/uploads/2019/03/LibroResumene.pdf>
- Universidad Austral de Chile. (2006). *Actualización y validación de la clasificación de las zonas biogeográficas litorales. Proyecto FIP N° 2004-24*. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Clasificacion-ecosistemas-marinos-de-Chile.pdf>
- Vasquez, J., Camus, P., & Ojeda, F. P. (1998). Diversidad, Estructura y Funcionamiento de Ecosistemas Costeros Rocosos del Norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 71, 479–499.
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., López-Morales, F., Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38(4), 99–107. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
- Wallace, R. S., & Araya, B. (2015). Humboldt penguin *Spheniscus humboldti* population in Chile: Counts of moulting birds, February 1999–2008. *Marine Ornithology*, 43(1), 107–112.
- Weichler, T., Garthe, S., Luna-Jorquera, G., & Moraga, J. (2004). Seabird distribution on the Humboldt Current in northern Chile in relation to hydrography, productivity, and fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 61(1), 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2003.07.001>
- Williams, T. D., Williams, T. D., Wilson, R. P., Boersma, P. D., Davies, J. N., Stokes, D. L., & Busby, J. (1995). *The Penguins: Spheniscidae*. Oxford University Press. <https://books.google.cl/books?id=cHMXAQAAIAAJ>

ANEXOS

Anexo N° 1: Ficha tipo de muestreo de especies

Ficha Muestreo Especies									
Especie	Hora	Señal (nido, especie u otro)	Waypoint	Cantidad	Hábitat (zona orográfica)	Comportamiento	Rel. Entorno biótico	Rel. Entorno abiótico	Observaciones

Fuente: Elaboración propia a partir del *Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile* (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013).