



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA

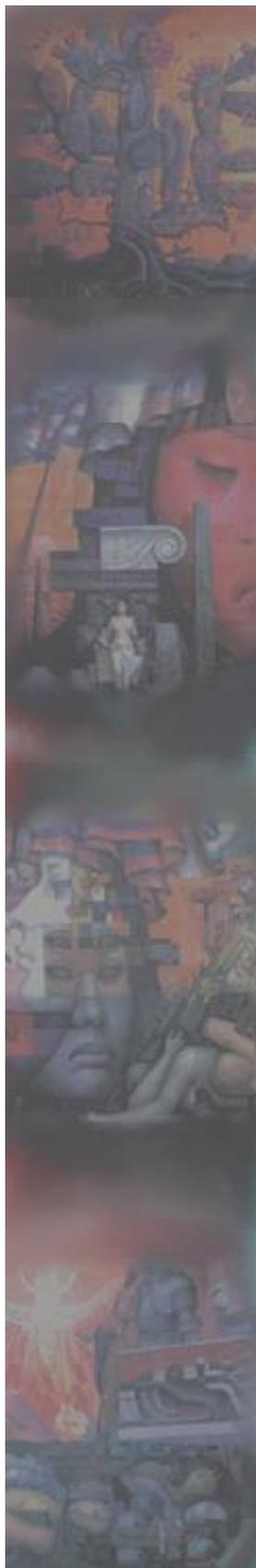
INFORME FINAL

PROYECTO DEL FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA

“Elaboración de un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marina, Zonas Centro y Norte de Chile, para la evaluación ambiental de proyectos en el marco SEIA”

FIPA N°2019-10

CONCEPCIÓN, AGOSTO 2021



FIPA N°2019-10 “Elaboración de un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marina, Zonas Centro y Norte de Chile, para la evaluación ambiental de proyectos en el marco SEIA”



REQUIRENTE:

Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura

EJECUTOR:

Departamento de Zoología, Universidad de Concepción

Agosto, 2021



JEFE DE PROYECTO

Cristián E. Hernández Ulloa

INVESTIGADORES

Garen Guzmán

Claudia Hurtado

Reinaldo Rivera

Laura Tavera

Carlos Zamora

Ana Carolina Peralta

Pamela Hidalgo

Marcelo Rivadeneira

Agosto, 2021

PRESENTACIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO POR FUNCIÓN DESARROLLADA EN EL PROYECTO (ver detalle en Anexo II: Personal participante por actividad):

INVESTIGADOR	FUNCIÓN O ACTIVIDAD DESARROLLADA DENTRO DEL PROYECTO PARA EL INFORME
Cristián E. Hernández	Director del proyecto y encargado de la coordinación del plan de trabajo mediante reuniones remotas con todo el equipo de trabajo. Dentro de sus labores está supervisar y dirigir la correcta ejecución de bases de datos y análisis. Realizó en conjunto con los demás investigadores la redacción del informe.
Claudia Hurtado	Búsqueda y sistematización del material bibliográfico de flora y fauna bentónica y especies ícticas, realización de los diferentes análisis de datos y redacción del informe.
Laura Tavera	Búsqueda y sistematización del material bibliográfico de flora y fauna bentónica y especies ícticas, realización de los diferentes análisis de datos y redacción del informe.
Reinaldo Rivera	Generación de archivos para representar los datos geográficos en tres dimensiones de cada especie registrada, distribuciones geográficas potenciales de las especies ícticas, flora y fauna bentónica mediante modelos de distribución de especies (nicho ecológico).
Carlos Zamora	Generación de datos georreferenciados actualizable en el tiempo, guía detallada para el uso de las bases de datos georreferenciadas e instructivo de la metodología desarrollada para base de datos. Aplicación digital de mapas actualizable y dinámico de la distribución espacial de los registros bibliográficos.

Garen Guzmán	Búsqueda y sistematización del material bibliográfico de flora y fauna bentónica y especies ícticas, realización de los diferentes análisis de datos y redacción del informe de avance
Pamela Hidalgo	Asesoría en la recopilación y de información derivada de bases de datos y redacción del informe de avance
Carolina Peralta	Asesoría en la recopilación de información derivada de bases de datos y redacción del informe de avance
Marcelo Rivadeneira	Apoyo en la búsqueda de información bibliográfica, análisis de datos y redacción del informe de avance

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	15
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	19
1.1 ABSTRACT.....	24
2. ANTECEDENTES	29
3. JUSTIFICACIÓN	31
4. OBJETIVO GENERAL	32
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
6. METODOLOGÍA.....	34
6.1 Metodología objetivo específico 5.1	34
6.1.1 Búsqueda de información bibliográfica.....	34
6.1.2 Criterios de selección y metodología de filtrado	36
6.1.3 Sistematización de la información recopilada	37
6.1.4 Validación del diagnóstico previo	37
6.1.5 Análisis de los datos	41
6.2 Metodología objetivo específico 5.2	42
6.2.1 Base de datos de ocurrencias	42
6.2.2 Base de datos geográfica: contenido	43
6.3 Metodología objetivo específico 5.3.....	43
6.3.1 Distribución geográfica de flora y fauna bentónica y especies ícticas	43
6.4 Metodología objetivo específico 5.4.....	45
7. RESULTADOS	55

7.1	Objetivo 5.1	55
7.1.1	Revisión de fuentes bibliográficas	55
7.1.2	Revisión de bases de datos.....	56
7.1.3	Análisis temporal de los registros bibliográficos	57
7.1.4	Fauna bentónica: Invertebrados	59
7.1.5	Flora bentónica: ALGAS	73
7.1.6	Especies ícticas	88
7.2	Categorización del estado de conservación: IUCN	103
7.3	Objetivo 5.2.....	105
7.3.1	Base de datos de ocurrencias	105
7.3.2	Base de datos geográfica	110
7.3.3	Predictores ambientales para modelos de distribución de especies	111
7.3.4	Distribución geográfica de especies: invertebrados.....	113
7.3.5	Distribución geográfica de especies: algas	114
7.3.6	Distribución geográfica de especies: peces	116
7.4	Objetivo 5.3.....	118
7.4.1	Estructura del desarrollo informático	119
7.5	objetivo 5.4.....	122
7.5.2	Análisis descriptivo de las metodologías utilizadas en los informes ingresados al SEIA.....	127
8.	DISCUSIÓN	134
8.1	Distribución de los registros de fauna y flora bentónica y especies ícticas	134
8.2	Comparación de las diferentes metodologías recopiladas de los informes SEIA...	140
8.3	Estado de conservación según la IUCN	141
9.	CONCLUSIONES.....	142
10.	REFERENCIAS	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de las palabras claves utilizadas por grupo taxonómico en la búsqueda de material bibliográfico digital. *La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando las mismas palabras claves en inglés y español.	35
Tabla 2. Criterios utilizados para la estandarización de registros bibliográficos (datos) propuestos por el oferente en formato base Darwin Core.	38
Tabla 2. Continuación. Criterios utilizados para la estandarización de registros bibliográficos (datos) propuestos por el oferente en formato base Darwin Core.	39
Tabla 3. Proyectos ingresados y aprobados en el SEIA luego de aplicar diferentes criterios de selección según Región, Tipo de presentación, Fecha presentación, Estado de Proyecto y separados en los distintos sectores Productivos representados en cada proyecto.	48
Tabla 4. Número de artículos científicos e informes técnicos (informes técnicos, tesis de grado, seminarios de investigación, libros y anuarios estadísticos) revisados por grupo taxonómico y el número de ocurrencias georreferenciadas obtenidas de estos.	55
Tabla 5. Número total de registros de ocurrencias asociados a bases de datos OBIS, GBIF e IFOP para peces, invertebrados y algas.	56
Tabla 6. Número de especies de invertebrados bentónicos por cada phylum.	66
Tabla 7. Número de estudios por cada enfoque registrados en la literatura de invertebrados bentónicos.	71
Tabla 8. Protocolos de muestreo utilizados para invertebrados bentónicos y número de estudios que registran para cada uno de estos.	72
Tabla 9. Número de especies de algas bentónicas por cada orden. Se indican los ordenes para cada división de algas bentónicas y el número de ocurrencias asociadas a cada orden.	82
Tabla 10. Proporción de los enfoques reportados en estudios de algas bentónicas.	87
Tabla 11. Tipos de protocolos de muestreo abordados en los estudios revisados para especies de algas bentónicas.	88
Tabla 12. Número de especies ícticas por cada orden reportado.	95
Tabla 13. Enfoques reportados en la literatura revisada para especies ícticas y número de	

estudios asociados a estos.	101
Tabla 14. Protocolos de muestreo registrados para especies ícticas y número de estudios asociados a estos.	102
Tabla 15: Diccionario de datos para la tabla taxones.	106
Tabla 16: Diccionario de datos para la tabla referencias.....	107
Tabla 17: Diccionario de datos para la tabla ocurrencias.	107
Tabla 18 Factor de inflación de varianza (VIF) para variables utilizadas para modelación de distribución geográfica.	112
Tabla 19. Criterios metodológicos más utilizados en el diseño de muestreo por los estudios de impacto ambiental (EIA) en el norte y centro de Chile para muestrear invertebrados, flora marina e ictiofauna. Se indica, las matrices ambientales (zonas intermareal-submareal de fondos duros y blandos), los criterios metodológicos y el grupo biológico. NI-NA = No se indica o no aplica.	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución en el tiempo y espacio de la información georreferenciada para organismos de Chile. Fuente: https://www.obis.org	31
Figura 2. Criterios de búsqueda de proyectos en la página web del SEA e ingresados al sistema desde la publicación del DS N° 40 del 12-08-2013.	46
Figura 3. Criterios de selección de proyectos para ser ingresados al análisis comparativo sobre las metodologías y protocolos de muestreo de los registros de especies ícticas, flora y fauna acuática bentónica evaluados en el SEIA para las zonas centro y norte de Chile.	47
Figura 4. Proyectos ingresados y aprobados en el SEIA luego de aplicar diferentes criterios de selección según Región, Tipo de presentación, Fecha presentación, Estado de Proyecto y separados en los distintos sectores Productivos representados en cada proyecto.	49
Figura 5. Porcentaje de proyectos que incluyeron estudios de impacto ambiental evaluados y que cumplen con los requisitos mínimos para ser ingresados al análisis comparativo... ..	50
Figura 6. Esquema con el detalle de los criterios metodológicos aplicados para evaluar comparativamente los proyectos EIA ingresados al SEIA.	51
Figura 7. Requisitos mínimos para el estudio de Línea Base Ambiental para comunidades de fondos duros y blandos incluidas en la Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático de Jurisdicción Nacional para Proyectos que Contemplan "Descargas de Residuos Líquidos, de Puertos y Terminales Marítimos u Otros".....	53
Figura 8. Matriz de presencia/ausencia de criterios metodológicos comparados entre proyectos ingresados al SEIA.	54
Figura 9. Indica el número de estudios por año de publicación desde el año 1956 hasta el 2020, para cada grupo taxonómico principal, <i>i.e.</i> peces, invertebrados y algas. La línea discontinua negra representa el número total acumulado de estudios, mientras que la roja indica el año (2000) a partir del cual se registró un aumento en el número de estudios. ..	57
Figura 10. Número de especies reportadas de invertebrados, algas bentónicas y peces por cada año de publicación.....	59
Figura 11. Número de phyla de invertebrados bentónicos reportados según el año de	

publicación.....	60
Figura 12. Densidad de Kernel para las ocurrencias de invertebrados bentónicos, indicando los límites del mar territorial y la zona económica exclusiva.....	61
Figura 13. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de familia para invertebrados.....	62
Figura 14. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de género para invertebrados bentónicos.....	63
Figura 15. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de especie para invertebrados bentónicos.....	64
Figura 16. Porcentaje de ocurrencias georreferenciadas de los phyla de invertebrados bentónicos registrados en la literatura.....	65
Figura 17. Distribución geográfica de la riqueza de especies de invertebrados bentónicos por región administrativa.....	68
Figura 18. a). Riqueza de especies de invertebrados bentónicos por grado latitudinal de la zona norte y centro de Chile. b). Distribución latitudinal de las especies de invertebrados con mayor número de registros. *Boxplot incluye la mediana (línea central), los cuartiles superior e inferior (box limits), el rango intercuartil (bigotes) y valores anómalos (outliers) representados por puntos color violeta.....	69
Figura 19. Curva de rarefacción-extrapolación de invertebrados marinos bentónicos basada en la literatura revisada como muestras por región. La línea continua indica interpolación, la línea punteada extrapolación y el sombreado muestra el intervalo de confianza del 95 % para cada región.....	70
Figura 20. Número de ordenes de algas bentónicas reportados según el año de publicación.....	75
Figura 21. Distribución espacial de la densidad de puntos de ocurrencias de algas bentónicas a través de las regiones administrativas.....	77
Figura 22. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de género para algas bentónicas.....	78
Figura 23. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de especie.....	79
Figura 24. Porcentaje de ocurrencias georreferenciadas asociadas a ordenes de las tres	

divisiones principales de algas bentónicas: a) Chorophyta, b) Rhodophyta y c) Ochrophyta registrados en la literatura.....	81
Figura 25. Distribución geográfica de la riqueza de algas bentónicas por región administrativa.....	84
Figura 26. Distribución de la riqueza de especies de algas bentónicas. a) Muestra el número de especies por banda latitudinal. b) indica la distribución espacial 30 de las especies con mayor número de ocurrencias registradas en la zona norte y centro de Chile. *Boxplot incluye la mediana (línea central), los cuartiles superior e inferior (box limits), el rango intercuartil (bigotes) y valores anómalos (outliers) representados por puntos color amarillo.	85
Figura 27. Curva de rarefacción-extrapolación de algas basada en la literatura revisada como muestras por región. La línea continua indica interpolación, la línea punteada extrapolación y el sombreado muestra el intervalo de confianza del 95 % para cada región.	86
Figura 28. Número de ordenes de especie ícticas registrados según el año de publicación.	89
Figura 29. Mapa de densidad de Kernel que muestra la distribución geográfica de ocurrencias acumuladas para especies ícticas.	90
Figura 30. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de familia para especies ícticas.....	91
Figura 31. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de género para especies ícticas.....	92
Figura 32. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de especie para especies ícticas.	93
Figura 33. Porcentaje de ocurrencias georreferenciadas de los ordenes de peces registrados en la literatura para las 4 clases de peces a) Actinopterygii, b) Elasmobranchii, Myxini y Holocephali.....	94
Figura 34. Distribución geográfica de la riqueza de peces por región administrativa.	97
Figura 35. a) Riqueza de especies ícticas por latitud de la zona norte y centro de Chile. b) Distribución latitudinal de las 30 especies de peces con mayor número de ocurrencias de la zona norte y centro de Chile. *Boxplot incluye la mediana (línea central), los cuartiles	

superior e inferior (box limits), el rango intercuartil (bigotes) y valores anómalos (outliers) representados por puntos color azul..... 99

Figura 36. Curva de rarefacción-extrapolación de especies ícticas basada en la literatura revisada como muestras por región. La línea continua indica interpolación, la línea punteada extrapolación y el sombreado muestra el intervalo de confianza del 95 % para cada región. 100

Figura 37. Porcentaje de especies de invertebrados y peces asociados a los diferentes criterios de conservación biológica de acuerdo con la IUCN. 104

Figura 38: Esquema estructural de las tablas y relaciones mediante sus identificadores clave..... 105

Figura 39. Estructura de los archivos de las distribuciones geográficas observadas y predichas de invertebrados, algas e invertebrados. 111

Figura 40. Matriz de correlación de Pearson de las variables ambientales seleccionadas para los modelos de distribución de especies. 112

Figura 41: Interfaz de usuario del aplicativo de mapas dinámico. 119

Figura 42: Diagrama de la interfaz de usuario del aplicativo de mapas dinámicos..... 122

Figura 43. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet), para el criterio “**Numero de Transectos/Estación**”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor. 123

Figura 44. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet) para el criterio “**Técnica de Muestreo**”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor. 124

Figura 45. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet) para el criterio “**Unidad de Muestreo**”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor. 125

Figura 46. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile

(GuiaMet) para el criterio “**Volumen/Cantidad Muestra**”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor. 126

Figura 47. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet) para el criterio “**Número de Réplicas**”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor. 127

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Copia del acta de la reunión de coordinación entre el consultor y la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, realizada en Valparaíso, Chile.	5
ANEXO I. (Continuación) Copia del acta de la reunión de coordinación entre el consultor y la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, realizada en Valparaíso, Chile.	6
ANEXO I. (Continuación) Copia del acta de la reunión de coordinación entre el consultor y la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, realizada en Valparaíso, Chile.	7
ANEXO II. Personal participante por actividad.....	8
ANEXO III. Carta solicitud y respuesta de bases de datos generadas en torno al proyecto “Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas”, desarrollado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).	11
ANEXO III. (Continuación) Carta solicitud y respuesta de bases de datos generadas en torno al proyecto “Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas”, desarrollado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).	12
ANEXO III. (Continuación) Carta solicitud y respuesta de bases de datos generadas en torno al proyecto “Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas”, desarrollado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).	13
ANEXO IV. Análisis de correlación de Pearson para las variables utilizadas en los modelos de distribución de especies.	14
ANEXO V. Variables oceanográficas recopiladas para los modelos de distribución de especies.....	15
ANEXO V. (Continuación) Variables oceanográficas recopiladas para los modelos de distribución de especies.	16
ANEXO VI. Lista de referencias de las cuales se han obtenido los puntos de ocurrencia georreferenciados, para cada grupo taxonómico.	17
ANEXO VII. Lista de especies incluidas en alguna categoría de riesgo de conservación de la IUCN.	65
ANEXO VIII: Código de R que permite la vinculación de las tres tablas, así como los cálculos de pertenencia a regiones y zonas geográficas.	66
ANEXO IX. Diccionario de términos geográfico	69

ANEXO X. Estructura y desarrollo de la geodatabase (Polígonos de distribución geográfica).	71
ANEXO XI. Manual De Usuario. Base de datos geográfica (geodatabase)	72
ANEXO XI. (Continuación) Lista de especies incluidas en alguna categoría de riesgo de conservación de la IUCN.	74
ANEXO XI. (Continuación) Lista de especies incluidas en alguna categoría de riesgo de conservación de la IUCN.	75
ANEXO XI. (Continuación) Lista de especies incluidas en alguna categoría de riesgo de conservación de la IUCN.	76
ANEXO XI. (Continuación) Lista de especies incluidas en alguna categoría de riesgo de conservación de la IUCN.	77
ANEXO XII. Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	78
ANEXO XII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	79
ANEXO XII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	79
ANEXO XII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	80
ANEXO XII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	81
ANEXO XII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	82
ANEXO XII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	83
ANEXO XIII. Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo al 95%.	84
ANEXO XIII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo al 95%.	86
ANEXO XIII. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo al 95%.	87

ANEXO XIV. Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.....	87
ANEXO XIV. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.....	88
ANEXO XIV. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.....	89
ANEXO XIV. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.....	91
ANEXO XV. Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó modelos de distribución de especies.	92
ANEXO XV. (Continuación) Listado de especies de invertebrados para las cuales se generó modelos de distribución de especies.	93
ANEXO XVI. Listado de especies de algas para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	94
ANEXO XVII. Listado de especies de algas para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo al 95%.	94
ANEXO XVIII. Listado de especies de algas para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.....	95
ANEXO XIX. Listado de especies de algas para las cuales se generó modelos de distribución de especies.	95
ANEXO XX. Listado de especies de peces para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.	96
ANEXO XX. (Continuación) Listado de especies de peces para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo.....	96
ANEXO XXI. Listado de especies de peces para las cuales se generó su distribución geográfica mediante el mínimo polígono convexo al 95%.	98
ANEXO XXII. Listado de especies de peces para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.....	98
ANEXO XXII. (Continuación) Listado de especies de peces para las cuales se generó su distribución geográfica mediante buffer de 10 kilómetros.	99
ANEXO XXIII. Listado de especies de peces para las cuales se generó modelos de distribución de especies.	100

ANEXO XXIV. Modelos de distribución de especie para invertebrados	102
ANEXO XXV. Modelos de distribución de especie para algas	134
ANEXO XXVI. Modelos de distribución de especie para peces de interés comercial.	142
ANEXO XXVII. Ficha Metadatos. Invertebrados marinos	155
ANEXO XXVIII. Ficha Metadatos. Algas Marinas	157
ANEXO XXIX. Ficha Metadatos. Peces marinos	160
ANEXO XXX: Descripción individual de módulos por sección del aplicativo de mapas dinámicos.....	163
ANEXO XXXI: Taller de expertos	170
ANEXO XXXII: Evidencia fotográfica del taller de expertos, mediante algunas capturas de pantalla.	193
ANEXO XXXIII: Taller de divulgación.....	198
ANEXO XXXIV: Taller de difusión interno de los resultados	208

*Los anexos se encuentran un archivo adicional con el prefijo **Anexos**.

1. RESUMEN EJECUTIVO

Las tasas actuales de pérdida de biodiversidad amenazan a más de un millón de especies. Por lo cual, urge la generación de información base de la biodiversidad para comprender los patrones de la biodiversidad y su respuesta a la dinámica, siendo crítico para una planificación de conservación efectiva de los recursos. En Chile existe un profundo desconocimiento de la biodiversidad, en donde la generación de conocimiento base en ambientes marinos es crítica. Al respecto, una revisión exploratoria en la base de datos OBIS para Chile indica que la generación de conocimiento ha sido heterogénea y sesgada geográficamente. Esto se debe principalmente a que esta base de datos carece de información de fuentes locales, publicaciones científicas e informes técnicos.

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo general, según bases del concurso, elaborar un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marinas de las Zonas Centro y Norte de Chile (Región de Arica y Parinacota a la Región de Valparaíso), como instrumento para la evaluación ambiental de proyectos en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Sus objetivos específicos son: a) Recopilar información bibliográfica de carácter técnico y científico, de origen nacional e internacional, asociada al registro de especies ícticas, flora y fauna bentónica existente en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile, y b) Elaborar una base de datos actualizable en el tiempo, que contenga la información obtenida desde los registros bibliográficos de especies ícticas, la flora y fauna acuática evidenciada en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.

Para el objetivo (1), se recopilaron e incluyeron 625 fuentes bibliográficas, las cuales abarcaron: artículos científicos (AC), informes técnicos (IT), bases de datos (*e.g.* OBIS y GBIF, IFOP), seminarios y tesis de grado. La búsqueda de artículos científicos se realizó en bases de datos bibliográficas como Scopus, ScienceDirect, Web Of Science, entre otras. Los resultados obtenidos suman 408.535 ocurrencias de especies fauna y flora bentónica y especies ícticas, con un total de 1.178 especies registradas para la zona norte y centro de Chile. Los datos disponibles de distribución por grupo taxonómico incluyeron 796 especies de invertebrados bentónicos, distribuidas en 826 géneros, 475 familias, 41 clases y 19 phyla. Para flora bentónica incluyó 102 especies, distribuidas en 80 géneros, 120 familias, 28 órdenes y 6 clases; y para ictiofauna, incluyó 280 especies, distribuidas en 216 géneros, 106 familias, 35 órdenes y 5 clases. A partir de bases de datos, se revisaron más de 300 mil registros para fauna y flora bentónica y especies ícticas, cuya depuración resultó

en 2.988 ocurrencias válidas, desglosadas de la siguiente manera: invertebrados=2.184, flora bentónica=288 y especies ícticas=516.

Para fauna bentónica, se registró un total de 367.822 ocurrencias. La validación de la información taxonómica, mediante World Register of Marine Species (WoRMS), reveló que 53 especies, 37 géneros y 4 familias presentaron cambios en su nombre científico respecto a los datos reportados en la bibliografía. Con respecto a los años que más han contribuido con registros corresponden a 1997 y 2000, con 10 % (n=37.736) y 9 % (n=32.302), respectivamente, representados principalmente por moluscos, artrópodos y anélidos. Estos grupos en conjunto incluyeron 281.343 registros a nivel de especie, con 756 ocurrencias a nivel de familia y 86.485 registros a nivel de género, siendo Tarapacá la región con mayor cantidad de ocurrencias (n=82.263), a diferencia de Atacama (n=15.562) y Valparaíso (n=13.903) que poseen el menor número de reportes de ocurrencias a nivel de especie. Los resultados indican que los grupos más representativos son moluscos, crustáceos (artrópodos) y poliquetos (anélidos), siendo los moluscos Gastrópodos el grupo con mayor cantidad de ocurrencias. Por su parte, los artrópodos con mayor número de registros son los ordenes Decapoda y Amphipoda. Geográficamente, Coquimbo es la región que registró el mayor número de especies (concentrada a los 29° S, n=379), mientras que Arica y Parinacota correspondió a la región con menor riqueza (n=111). El análisis de rarefacción indicó que el mayor número de especies por unidad muestral estuvo asociado a la región de Antofagasta. En contraste, la región con el menor número de especies por unidad muestral fue Arica y Parinacota, por lo cual es necesario aumentar el número de trabajos de investigación en la región para mejorar la representación de la biodiversidad existente. Las temáticas estudiadas en los trabajos revisados principalmente correspondieron a pesquería (57) y biodiversidad (50). Se reporta un total de 20 métodos de muestreo, donde buceo fue el más frecuente, reportado en 110 estudios, seguido de cuadrante y transectos, los cuales fueron utilizados para el muestreo de comunidades bentónicas y sedimento.

Para flora bentónica, algas, el número total de registros georreferenciados fue de 32.467, procedentes de referencias bibliográficas (e.g. artículos científicos e informes técnicos) y bases de datos (GBIF e IFOP). Los años que más han contribuido con el número de registros fueron el 2010 (n=4.155) y 2018 (n=5.357), representados principalmente por las especies *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia trabeculata*, *L. berteroana* y *L. spicata*. Un total de 102 especies dan cuenta de 30.963 registros de ocurrencias, distribuidas en 6 clases, 28 ordenes y 48 familias. Las ocurrencias a nivel de especie fueron 30.963, a nivel de género

1.488 ocurrencias y 16 registros a nivel de orden; siendo Valparaíso la región con mayor cantidad de ocurrencias (n=21.505), a diferencia de Antofagasta (n=483) y Arica y Parinacota (n=21), que poseen el menor número de ocurrencias. La riqueza de especies varió entre 12 y 59 a través de las regiones, siendo Valparaíso y Coquimbo las regiones con mayor número de especies (n=59), mientras Arica y Parinacota registró el menor valor (n=12). Las curvas de rarefacción muestran que el mayor número de especies por unidad muestral estuvo asociado a la región de Valparaíso, mientras que la región con menor número de especies por unidad muestral fue Arica y Parinacota, lo cual sugiere que es esencial aumentar el número de estudios e investigación en la región para tener una mejor representatividad de la biodiversidad en esa zona. Con respecto a los enfoques abordados por la bibliografía revisada, el más representativo fue el de pesquería (n=44, 28.8 %), seguido por estudios de conservación de la biodiversidad (n=29, 16.4 %). Se reporta un total de 6 métodos de muestreo, siendo el muestreo de individuos al azar el más utilizado en artículos científicos, seguido de cuadrantes, incluido en 42 estudios. Estos dos métodos de muestreo, *i.e.* transecto y cuadrante, variaron en extensión del transecto o tamaño del cuadrante, dependiendo del grupo de especies de algas estudiado.

Para especies ícticas, se registraron 6.921 ocurrencias georreferenciadas procedentes de diversas fuentes bibliográficas digitales. Los años que más han contribuido con el número de registros fueron el 2004 (n=1.502) y 2009 (n=1.318), representados principalmente por las especies *Paralabrax humeralis*, *Prolatilus jugularis*, *Merluccius gayi* e *Hippoglossina macrops*. Un total de 6.405 registros de ocurrencias dan cuenta de 280 especies, distribuidas en 5 clases, 35 ordenes y 120 familias. Las ocurrencias a nivel de especie fueron 6.401, a nivel de género 459 ocurrencias y 61 registros a nivel de familia, siendo Valparaíso la región con mayor cantidad de ocurrencias (n=2.069), a diferencia de Tarapacá (n=448) y Arica y Parinacota (n=59) que poseen el menor número de ocurrencias. La riqueza de especies varió entre 17 y 163 a través de las regiones, siendo Antofagasta y Valparaíso las regiones con la mayor riqueza de especies, 163 y 140, respectivamente, mientras que el menor valor lo registró Arica y Parinacota (n=17). Las curvas de rarefacción en las regiones de Antofagasta, Valparaíso y Coquimbo muestran una tendencia a alcanzar la asíntota en comparación con otras regiones, esto debido a que dichas regiones presentan una mayor diversidad de especies y un mayor número de estudios realizados. Con respecto a los enfoques abordados por la bibliografía revisada, el más representativo fue parasitología, incluido en 42 estudios, seguido por estudios de ecología trófica (n=18). Se

reportaron un total de 16 métodos de muestreo, siendo el uso de redes el método principal registrado en 71 trabajos, seguido por muestreos con transectos en 23 estudios. Finalmente, es importante considerar que en un mismo estudio se pueden haber reportado más de 1 método de muestreo.

En cuanto a la categorización del estado de conservación, del total de especies registradas, 190 especies figuran en alguna categoría de la IUCN. Las especies que cuentan con una clasificación de conservación corresponden a fauna bentónica (Cnidaria y Mollusca) y fauna íctica (Chordata). Ninguna especie alga bentónica se registró bajo los criterios de la IUCN. El mayor porcentaje de las especies está categorizado como Preocupación Menor (LC) (n=141), mientras que 27 especies como Deficiente en Datos (DD) y solo el 6.6 % de las especies en las categorías Casi Amenazado (NT) (n=4), Vulnerable (VU) (n=1), En Peligro (EN) (n=5) y en Peligro Crítico (CR) (n=2). La mayoría de las especies registradas en este trabajo no están incluidas en la lista de clasificación de conservación de la IUCN; por lo tanto, no existe pronunciamiento sobre su estado de conservación biológica, aun cuando gran parte de estas se encuentran sobreexplotadas debido a la pesquería o cosecha intensiva.

Con respecto a la propuesta asociada al objetivo 5.2, se realizaron polígonos de distribución y modelos de distribución de especies (nicho ecológico) para especies de interés económico. Para ello, se compilaron datos ambientales relacionados con la temperatura, conductividad, oxígeno, entre otras, que permitieron predecir la distribución geográfica en base a descriptores del ambiente y los datos de registros georreferenciados. Para invertebrados se obtuvo 783 polígonos de distribución geográfica por mínimo convexo (MC), 288 polígonos de distribución al 95 % (MC95), y un total de 63 modelos de distribución para aquellas especies que existía el número mínimo de datos para correr los modelos. Los modelos predicen que la distribución de invertebrados es más extensa que los registros de ocurrencia observada. Para algas se obtuvieron 59 polígonos por MC, 37 polígonos por MC95, y un total de 15 modelos de distribución. Por último, para peces se obtuvieron 145 polígonos por MC, 106 polígonos por MC95, y 26 modelos de distribución.

Las distribuciones geográficas revelaron resultados contrastantes dependiendo del método de estimación del área geográfica, donde para el caso de invertebrados se registran superficies menores a 1 y mayores a 41 millones de Hectáreas cuadradas (410.000 Km²), en algas se reportan superficies mínimas de 1 a 18 millones de Ha y para peces desde 1 a más de 5 millones de Ha. En el caso de especies con restringida distribución geográfica

podrían revelar endemismos de alta importancia para conservación y/o manejo de la biodiversidad. En el caso de distribuciones modeladas, en la mayoría de las especies (invertebrados, peces y algas), los modelos de nicho ecológico revelaron un alto rendimiento ($AUC > 0,9$), revelando que la distribución geográfica se circunscribe a las 12 primeras millas náuticas.

Finalmente, se confeccionó un aplicativo de mapas dinámicos donde se representa la información contenida en las bases de datos. Este aplicativo permite filtrar la información y desplegar las ocurrencias de acuerdo con el año de registro, así como la región de pertenencia, lo que permite tener una herramienta de consulta interactiva para esta información georreferenciada. Y utilizarla, por ejemplo, como instrumento de evaluación de la biodiversidad en proyectos de línea de base ambiental.

Por otra parte, se realizó un análisis diagnóstico de las metodologías y protocolos de muestreo aplicado en los proyectos del SEIA (Objetivo 5.4.), donde se evidenció una gran heterogeneidad en técnicas de muestreo, número de réplicas y otros elementos del muestreo. Particularmente, los proyectos asociados a muestreos de especies ícticas no hacen referencia a una guía metodológica estándar en la cual estén basados sus protocolos de muestreo. Los resultados del análisis comparativo de metodologías de muestreo fueron expuestos en el taller de expertos vía videoconferencia, donde se hizo evidente la necesidad de generar un protocolo estándar con requisitos mínimos de muestreo de acuerdo con la matriz ambiental, especies a muestrear, así como consideraciones espacio-temporales. Este taller tuvo como resultado la generación de estos requisitos mínimos, con el objetivo de ser considerados a futuro en el diseño de muestreo de los distintos estudios de impacto ambiental que ingresen al SEIA.

1.1 ABSTRACT

Current rates of biodiversity loss threaten more than one million species; therefore, the generation of basic information on biodiversity is urgent to understand the patterns of biodiversity and its response to dynamics, being critical for effective conservation planning of the resources. In Chile, there is a deep ignorance about biodiversity, where the generation of base knowledge in marine environments is critical. An exploratory review in the OBIS database from Chile indicates that the generation of knowledge has been heterogeneous and geographically biased. This is mainly because this database lacks information from local sources, scientific publications, and technical reports.

In this context, the general aim of this project, according to the rules of the contest, is to build a compilation and record of fish species and marine benthic flora and fauna of the Central and Northern Areas of Chile (Arica and Parinacota Region to the Region of Valparaíso), as an instrument for the environmental evaluation of projects within the framework of the Environmental Impact Assessment System (SEIA). The specific objectives are: a) Compile bibliographic information of a technical and scientific nature, of national and international origin, associated with the registry of fish species, flora, and benthic fauna existing in marine waters in the Central and Northern Zone of Chile, and b) Prepare a database that can be updated over time, containing the information obtained from the bibliographic records of fish species, the aquatic flora, and fauna found in marine waters in the Central and Northern Zone of Chile.

For objective (1), 625 bibliographic sources were collected and included, these were: scientific articles (AC), technical reports (IT), databases (e.g. OBIS and GBIF, IFOP), seminars and degree thesis. The search for scientific articles was carried out in bibliographic databases such as Scopus, ScienceDirect, Web of Science, among others. The results obtained add up to 408,535 occurrences of benthic fauna and flora species and fish species, with a total of 1,178 species registered for the north and center of Chile. The available distribution data by taxonomic group included 796 species of benthic invertebrates, distributed in 826 genera, 475 families, 41 classes, and 19 phyla. For benthic flora, it included 102 species, distributed in 80 genera, 120 families, 28 orders, and 6 classes; and for ichthyofauna, it included 280 species, distributed in 216 genera, 106 families, 35 orders, and 5 classes. More than 300 thousand records for benthic fauna and flora and fish species were reviewed from databases, whose purification resulted in 2,988 valid occurrences, broken down as follows: invertebrates = 2,184, benthic flora = 288 and fish species = 516.

For benthic fauna, a total of 367,822 occurrences were recorded. The validation of the taxonomic information, through the World Register of Marine Species (WoRMS), revealed that 53 species, 37 genera and 4 families presented changes in their scientific name with respect to the data reported in the bibliography. Regarding the years that have contributed, most records were 1997 and 2000, with 10% (n=37,736) and 9% (n=32,302), respectively, represented mainly by mollusks, arthropods, and annelids. These groups together included 281,343 records at the species level, 756 occurrences at the family level, and 86,485 records at the genus level, with Tarapacá being the region with the highest number of occurrences (n=82,263), unlike Atacama (n=15,562) and Valparaíso (n=13,903) that have the lowest number of reports of occurrences at the species level. These results indicate the most representative groups were mollusks, crustaceans (arthropods), and polychaete worms (annelids), being the gastropod-mollusks the group with the highest number of occurrences. For their part, the arthropods with the highest number of records are the Decapoda and Amphipoda orders. Geographically, Coquimbo is the region that registered the highest number of species (concentrated at 29°S, n=379), while Arica and Parinacota corresponded to the region with the lowest richness (n=111). The rarefaction analysis indicated that the highest number of species per sample unit was associated with the Antofagasta region. In contrast, the region with the lowest number of species per sample unit was Arica and Parinacota; this suggests the need to increase the number of research studies in the region to improve the representation of existing biodiversity. The themes studied in the reviewed works mainly corresponded to fisheries (57) and biodiversity (50). A total of 20 sampling methods were reported, where diving was the most frequent, recorded in 110 studies, followed by quadrant, and transects, which were used for sampling benthic communities and sediment.

For benthic flora, algae, the total number of georeferenced records was 32,467, coming from bibliographic references (e.g., scientific articles and technical reports) and databases (GBIF and IFOP). The years that contributed the most to the number of records were 2010 (n=4,155) and 2018 (n=5,357), represented mainly by the species *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia trabeculata*, *L. berteroa* and *L. spicata*. A total of 102 species account for 30,963 records of occurrences, distributed in 6 classes, 28 orders and 48 families. The occurrences at the species level were 30,963, at the genus level 1,488 occurrences, and 16 records at the order level. At spatial scale, Valparaíso was the region with the highest number of occurrences (n=21,505), unlike Antofagasta (n=483) and Arica and Parinacota

(n=21), which have the lowest number of occurrences. Species richness varied between 12 and 59 across regions, with Valparaíso and Coquimbo being the regions with the highest number of species (n=59), while Arica and Parinacota registered the lowest value (n=12). The rarefaction curves show that the highest number of species per sample unit was associated with the Valparaíso region, while the region with the lowest number of species per sample unit was Arica and Parinacota, which suggests that it is essential to increase the number of studies and research in the region to have a better representation of the biodiversity in that area. Concerning the approaches addressed by the reviewed bibliography, the most representative was that of fisheries (n=44, 28.8%), followed by studies of biodiversity conservation (n=29, 16.4%). A total of 6 sampling methods are reported, being the sampling of random individuals the most used in scientific articles, followed by quadrants, included in 42 studies. These two sampling methods, *i.e.*, transect and quadrant, varied in transect extension or quadrant size, depending on the group of species of algae studied.

For fish species, 6,921 georeferenced occurrences were recorded from various digital bibliographic sources. The years that contributed the most to the number of records were 2004 (n = 1,502) and 2009 (n = 1,318), represented mainly by the species *Paralabrax humeralis*, *Prolatilus jugularis*, *Merluccius gayi* and *Hippoglossina macrops*. A total of 6,405 records of occurrences account for 280 species, distributed in 5 classes, 35 orders, and 120 families. The occurrences at the species level were 6,401, at the genus level 459 occurrences and 61 records at the family level, Valparaíso being the region with the highest number of occurrences (n = 2,069), unlike Tarapacá (n = 448) and Arica and Parinacota (n = 59) that have the least number of occurrences. Species richness varied between 17 and 163 across regions, with Antofagasta and Valparaíso being the regions with the highest species richness, 163 and 140, respectively, while the lowest value was recorded by Arica and Parinacota (n = 17). The rarefaction curves in the Antofagasta, Valparaíso and Coquimbo regions tend to reach asymptotes compared to the other regions, because these regions present a greater diversity of species and a greater number of studies carried out. Regarding the approaches addressed by the reviewed bibliography, the most representative was parasitology, included in 42 studies, followed by trophic ecology studies (n = 18). A total of 16 sampling methods were reported, using nets being the main method recorded in 71 studies, followed by transect sampling in 23 studies. Finally, it is important to consider that more than 1 sampling method may have been reported in the same study.

Regarding the categorization of the total of registered species' conservation status, just 190 species appear in some category of the IUCN. The species that have a conservation classification correspond to benthic fauna (Cnidaria and Mollusca) and ichthyofauna (Chordata). No benthic algae species were registered under the IUCN criteria. The highest percentage of species is categorized as Least Concern (LC) (n=141), while 27 species as Data Deficient (DD) and only 6.6% of species in the Near Threatened (NT) categories (n=4), Vulnerable (VU) (n=1), Endangered (EN) (n=5) and Critically Endangered (CR) (n=2). Most of the species recorded in this work are not included in the IUCN conservation classification list; therefore, there is no pronouncement on their biological conservation status, even though a large part of these are overexploited due to intensive fishing or harvesting.

Regarding the proposal associated with objective 5.2, distribution polygons and species distribution models (ecological niche) were made for species of economic interest. For this, environmental data were compiled related to temperature, conductivity, oxygen, among others, which made it possible to predict the geographic distribution based on descriptors of the environment and data from georeferenced records. For invertebrates, 783 polygons of geographic distribution were obtained by the convex minimum (MC), 288 polygons of distribution at 95% (MC95), and a total of 63 distribution models for those species that had the minimum number of data to run the models. The models predict that the invertebrate distribution is more extensive than the records of observed occurrence. For algae, 59 polygons were obtained by MC, 37 polygons by MC95, and a total of 15 distribution models. Finally, for fish, 145 polygons were obtained by MC, 106 polygons by MC95, and 26 distribution models.

The geographic distributions revealed contrasting results depending on the method of estimating the geographic area, wherein the case of invertebrates, surfaces less than 1 and greater than 41 million square hectares (410,000 km²) are recorded, in algae minimum surfaces of 1 to 18 are reported million Ha and for fish from 1 to more than 5 million Ha. In the case of species with restricted geographical distribution, they could reveal highly important endemism for the conservation and/or management of biodiversity. In the case of modeled distributions, in most species (invertebrates, fish, and algae), the ecological niche models revealed a high yield (AUC > 0.9), showing that the geographical distribution is limited to the first 12 miles nautical.

Finally, an application of dynamic maps was created where the information contained in the databases is represented. This application allows filter the information and display the

occurrences according to the year of registration, as well as the region of origin, which allows having an interactive query tool for georeferenced information. And use it, for example, as a tool for assessing biodiversity in environmental baseline projects.

Besides, a diagnostic analysis of the sampling methodologies and protocols applied in the SEIA projects (Objective 5.4.) was carried out, where great heterogeneity in sampling techniques, number of replicas, and other elements of the sampling was evidenced. In particular, the projects associated with the sampling of fish species do not refer to a standard methodological guide on which their sampling protocols were based. The results of the comparative analysis of sampling methodologies were presented in the expert workshop via videoconference, where it became evident the need to generate a standard protocol with minimum sampling requirements according to the environmental matrix, species sampled, as well as space and temporal scales considerations. This workshop resulted in the generation of these minimum requirements, with the objective of being considered in the future in the sampling design of the different environmental impact studies that are included in SEIA.

2. ANTECEDENTES

¿Qué genera la diversidad de especies? y ¿por qué no se distribuye uniformemente en el espacio y entre los grupos taxonómicos? son preguntas fundamentales en ecología y biología evolutiva (Pfenning *et al.* 2010; Safi *et al.* 2011), y que tienen profundos impactos en la conservación de la biodiversidad en general (Becerra & Venable 2008), así como en el manejo sustentable de los recursos biológicos. De hecho, se considera uno de los 25 desafíos de investigación más importante en toda la ciencia (ver el número especial de aniversario número 125 de Science; Pennisi 2005, Kennedy & Norman 2005, Chase 2012). Además, la Tierra ha alcanzado tasas de pérdida de biodiversidad sin precedentes que amenazan a más de un millón de especies en todo el mundo (Tollefson 2019), por lo cual urge la generación de información base de la biodiversidad tanto en espacio y tiempo. Lo cual debe ir asociado a las entidades responsables de la protección y conservación (e.g. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en el caso del ambiente marino en Chile), de manera de tener medidas objetivas de las amenazas que impactan negativamente a las especies, ya que es posible que no todas puedan adaptarse a las nuevas condiciones ambientales adversas (Jezkova & Wiens 2016) y al alto impacto antrópico (Pievani 2014). Por lo tanto, comprender los patrones de la biodiversidad y su respuesta a la dinámica ambiental a escalas espaciales múltiples es crítico para una planificación de conservación efectiva (Olivieri *et al.* 2016) y manejo de recursos. Actualmente existe una amplia gama de hipótesis científicas sobre el origen y la complejidad de la biodiversidad actual, pero la mayoría no han sido evaluadas en Chile, debido a la falta de conocimiento espacialmente explícito de la biodiversidad.

Muchos esfuerzos científicos se han centrado en estudios ecológicos, investigando la distribución e interacciones de especies representativas seleccionadas de los ecosistemas, y generando estrategias de conservación específicas (e.g. Fjeldsá, 1994), con amplias zonas poco estudiadas, como los fondos marinos, lo cual probablemente ha tenido un impacto negativo en las decisiones de conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Esto, considerando que no solo hay muchos patrones desconocidos, sino que también ha habido poco desarrollo en la medición de los factores subyacentes que explican estos patrones en el espacio. Aún más, considerando que la Plataforma Intergubernamental de Ciencia-Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) tiene por objetivo general en su programa de trabajo hasta 2030 “Fortalecer la interfaz científico–normativa entre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas para conservación

y utilización sostenible de la diversidad biológica, el bienestar humano a largo plazo y el desarrollo sostenible”, es fundamental que Chile genere las bases de conocimiento adecuadas para enfrentar los cambios que están ocurriendo a nivel global. De hecho, el objetivo específico N°1 del IPBES plantea “Evaluar el estado de los conocimientos sobre la diversidad biológica y las contribuciones de la naturaleza para el ser humano en apoyo del desarrollo sostenible”. Lo cual está en directa relación con el objetivo general de la presente propuesta de “Elaborar un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marinas de las Zonas Centro y Norte de Chile (Región de Arica y Parinacota a la Región de Valparaíso), como instrumento para la evaluación ambiental de proyectos en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)”. Del mismo modo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ha planteado en sus “Perspectivas Ambientales al 2050”, la necesidad de fortalecer las políticas públicas y los instrumentos para abordar de mejor manera las presiones directas sobre ella, a través de la promoción del uso sustentable, la inserción de los objetivos de biodiversidad en las políticas y planes intersectoriales, la protección y restauración de ecosistemas y hábitats, entre otros aspectos.

En Chile, la generación de conocimiento base de la biodiversidad en ambientes marinos es aún más crítica, esto considerando que la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030 plantea que “En el ámbito marino y costero, no se cuenta con información suficiente de su biodiversidad, que permita dar cuenta de la pérdida y/o alteración de estos ecosistemas, así como de las especies que los componen”. De hecho, la densidad empírica de registros de biodiversidad marina existente actualmente en la base de datos OBIS de la zona económica exclusiva de Chile (Fig. 1) se observa claramente que la generación de conocimiento ha sido heterogénea y ha disminuido en los últimos años, como se observa a continuación:

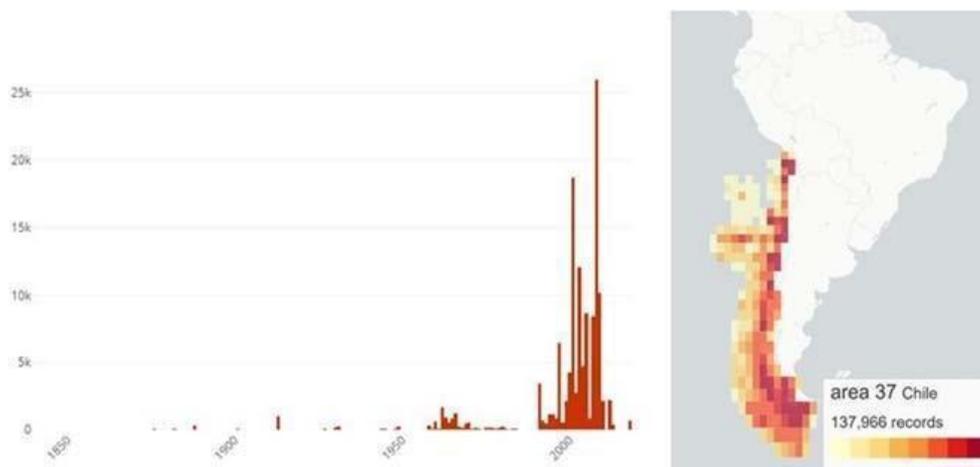


Figura 1. Distribución en el tiempo y espacio de la información georreferenciada para organismos de Chile. Fuente: <https://www.obis.org>

Además, esta base de datos carece de la rica información disponible en Chile desde fuentes locales como informes técnicos, tesis de pre y postgrado, bases de datos locales e información de museos, entre otras, las cuales son parte del objetivo de recopilación de datos de la presente propuesta. A través del presente informe esperamos contribuir a los desafíos que Chile se ha propuesto en materia de biodiversidad marina, lo cual no solo ayudará a enfrentar de mejor forma las evaluaciones ambientales del ámbito marino, si no también avanzar en el cumplimiento de los objetivos de la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030.

3. JUSTIFICACIÓN

La Ley General de Pesca y Acuicultura, mandata a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la obligación de preservación de los recursos hidrobiológicos (Art. 1°), lo que se ve reforzado en su propia ley orgánica (DFL N° 5/1983, Art. 12° y 13°) que la hace competente para la protección y conservación de estos. Por otra parte, la Subpesca es un Órgano de Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECCA), debiendo pronunciarse respecto de los permisos ambientales señalados en el D.S. (MMA) N°40/2012 (Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental).

En este sentido, se requiere contar con una base de datos sistematizada y un sistema de información territorial, sobre los registros de las especies ícticas y de flora y fauna bentónica existente en aguas marinas de las Zonas Centro y Norte de Chile, información que en la actualidad se encuentra disgregada en publicaciones científicas, reportes, evaluaciones de impacto ambiental (EIA), declaraciones de impacto ambiental (DIA) y en programas de

vigilancia ambiental, entre otros.

Lo anterior, con la finalidad de generar un instrumento que facilite la evaluación ambiental de los proyectos de inversión que ingresa al SEIA, los cuales presentan información que requiere ser contrastada y, de esta manera realizar un análisis más acabado de los potenciales impactos en la biota acuática marina, junto con definir de manera más oportuna y eficiente medidas para la conservación y protección de estos organismos. En síntesis, conforme lo señalado, el catastro y registro de la biota acuática marina desarrollado por el proyecto, será un referente para la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, considerando herramientas actualizadas para el catastro y organización de información de interés sectorial sobre Biodiversidad, que permita facilitar y dar celeridad a los procesos de toma de decisión en materia de protección y conservación de las especies.

En el contexto de las Bases de licitación pública de la Oferta Técnica FIPA N°2019-10 “Elaboración de un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marina, Zonas Centro y Norte de Chile, para la evaluación ambiental de proyectos en el marco SEIA” se desarrollaron los siguientes objetivos:

4. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marinas de las Zonas Centro y Norte de Chile (Región de Arica y Parinacota a la Región de Valparaíso), como instrumento para la evaluación ambiental de proyectos en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.1. Recopilar información bibliográfica de carácter técnico y científico, de origen nacional e internacional, asociada al registro de especies ícticas, flora y fauna bentónica existente en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.
- 5.2. Elaborar una base de datos actualizable en el tiempo, que contenga la información obtenida desde los registros bibliográficos de especies ícticas, la flora y fauna acuática evidenciada en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.
- 5.3. Generar un aplicativo de mapas representativo, actualizable y dinámico de los registros bibliográficos de las especies ícticas, la flora y fauna acuática que haya sido evidenciada en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.
- 5.4. Realizar un análisis comparativo de las metodologías y protocolos de muestreo

FIPA N°2019-10 “Elaboración de un catastro y registro de especies ícticas y de flora y fauna bentónica marina, Zonas Centro y Norte de Chile, para la evaluación ambiental de proyectos en el marco SEIA”

aplicados a las especies ícticas, flora y fauna acuática, de los proyectos que ingresan al SEIA en las Zonas Centro y Norte de Chile.

6. METODOLOGÍA

6.1 Metodología objetivo específico 5.1

Recopilar información bibliográfica de carácter técnico y científico, de origen nacional e internacional, asociada al registro de especies ícticas, flora y fauna bentónica existente en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.

6.1.1 Búsqueda de información bibliográfica

Para cumplir con el objetivo de recopilación de información de especies ícticas, flora y fauna bentónicas, se realizó una revisión de literatura y base de datos digitales, que incluyó las siguientes fuentes de información: a) artículos científicos (AC), b) informes técnicos (IT), c) tesis de grado (TG) y d) bases de datos nacionales (IFOP) e internacionales (GBIF y OBIS). Cabe mencionar que en la revisión bibliográfica se dio prioridad a los artículos científicos producto de tesis de grado por sobre las mismas, con el objetivo de evitar la duplicación de la información.

La búsqueda de artículos científicos se realizó en las siguientes bases de datos bibliográficas: Scopus, ScienceDirect, Web Of Science, Web of Knowledge, ProQuest, Pubmed y Google académico. Se utilizaron las siguientes palabras claves y combinaciones posibles (en inglés y español), en general y específico por phylum: benthic/benthonic community Chile, benthic/benthonic community Chilean, benthic/benthonic community southeast pacific, benthic/benthonic fauna Chile, benthic/benthonic Chilean fauna, benthic/benthonic invertebrates Chile, benthic/benthonic Chilean invertebrates, fish Chile/coast Chile, fishery Chile/coast Chile, fish southeast Pacific, fishery/ Humboldt current, Algae benthic/benthonic Chile y Algae southeast pacific. Además, se utilizaron palabras claves específicas por grupo taxonómico (ver Tabla 1), para garantizar la recopilación efectiva del material bibliográfico.

Tabla 1. Detalle de las palabras claves utilizadas por grupo taxonómico en la búsqueda de material bibliográfico digital. *La búsqueda bibliográfica se realizó utilizando las mismas palabras claves en inglés y español.

Grupo taxonómico	Palabras clave
Invertebrados (fauna) bentónicos	Annelida central Chile, Annelida northern Chile, Annelida Chile, moluscos Chile, molluscs central Chile, Equinodermata central/northern Chile, Equinodermos Chile, Artropoda central/northern Chile, Artropodos Chile, Cnidaria central/northern Chile, Cnidaria Chile, Molluscs northern Chile, Moluscos Chile.
Flora bentónica: Algas	Macroalgae, Seaweeds, Chlorophyta, Rhodophyta, Ochrophyta, Laminariales, Gigartinales <i>Lessonia</i> , <i>Macrocystis</i> , <i>Durvillaea</i> , <i>Ulva</i> , coraline, kelp, giant kelp holfast, blade, subtidal rocky hábitats, sporophyte, gametophyte, harvest, standing stock, predator- herbivore-kelp interactions, rafting, Chile.
Ictiofauna	Actinopterygii Chile, Elasmobranchii Chile, Myxini Chile, Holocephali Chile, Marine fish coast Chile, fishery Chile, Marine fish north-central Chile, fish Southeast Pacific. Commercial fishing, intertidal fish, subtidal fish-benthonic.

La recopilación de información desde informes técnicos estuvo asociada a entidades públicas, privadas y universidades, como: Fondo de Investigación, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), consultoras ambientales. (e.g. PROMAR), Universidad Católica del Norte (UCN) y Universidad Austral de Chile. (UACH).

Finalmente, se consultaron bases de datos internacionales de acceso público (Open Access) como: Algbase, *Ocean Biodiversity Information System (OBIS)* y *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*. Adicionalmente, se solicitó información asociada al proyecto de Seguimiento de Pesquería Bentónica a cargo del Instituto de Fomento

Pesquero (IFOP) para algas e invertebrados (ANEXO III).

6.1.2 Criterios de selección y metodología de filtrado

6.1.2.1 Criterios de selección para material bibliográfico

En primera instancia se revisó cada estudio recopilado, corroborando el enfoque de interés e inmediatamente se confirmó que los trabajos cumplieran con los siguientes criterios: 1) registro de ocurrencias georreferenciada de peces, fauna y flora bentónica de ambientes marinos y 2) trabajos con información de las zonas norte y centro de Chile.

Con el objetivo de no sobreestimar la información recopilada y evitar duplicar los registros, se efectuó el cruce de los datos, contabilizando una sola vez los registros de ocurrencia encontrados en más de una base de datos o que hayan sido reportados en literatura. Para esto se verificaron los números de identificadores (IDs) de cada registro, la metadata de las bases de datos y la información original de las ocurrencias referidas en las publicaciones.

6.1.2.2. Criterios de selección para bases de datos (OBIS y GBIF)

Se ingresó a los portales de OBIS (<https://www.obis.org>) y GBIF (<https://www.gbif.org>) y en la sección “mapper” se colocaron los requerimientos de búsqueda para obtener los datos de biodiversidad marina del Norte y Centro de Chile:

1. Se definió el polígono del área donde están los datos que se requieren: Norte y Centro de Chile, desde Arica a Valparaíso.
2. A partir de las coordenadas indicadas, considerando las primeras 12 millas náuticas mar adentro se marcó el polígono con la herramienta <https://obis.org/maptool/>.
3. Luego en el programa R (R Core Team 2020) se extrajeron los datos con la función “occurrence(geometry=WKT)” utilizando el WKT del polígono definido en el paso anterior.
4. Finalmente, se exportaron los datos en formato .csv con las funciones de R “write.csv()”, “occurrence(geometry=WKT)”, “write.csv(occur, file=“fipa.csv”)”.

Definición del polígono del Norte y Centro de Chile:

```
POLYGON ((-71.60614 -33.04321, -71.93848 -33.04781, -71.75995 -32.76880, -71.72150 -32.70411, -71.75446 -32.39852, -71.82037 -32.26391, -71.78192 -32.02205, -71.89178 -31.17286, -71.82312 -30.53624, -71.65283 -29.89781, -71.66382 -29.02976, -71.50726 -28.63034, -71.22711 -27.90220, -71.12000 -27.30101, -70.85083 -25.59695, -70.81512 -
```

25.12539, -70.62561 -23.72753, -70.71625 -23.50607, -70.65582 -23.15046, -70.70251 -
22.93057, -70.37842 -21.82071, -70.53223 -21.64466, -70.62561 -20.27250, -70.31250 -
20.03529, -70.38940 -19.83648, -70.70526 -19.73310, -70.90576 -19.29559, -70.52399 -
19.14517, -70.58167 -18.48482, -70.29053 -18.37538, -69.96643 -20.96144, -70.42236 -
24.94124, -70.34546 -25.41847, -70.64758 -25.83945, -70.53772 -26.48041, -70.75195 -
27.04445, -70.87280 -27.25951, -70.82886 -27.63487, -70.97168 -27.76619, -71.37268 -
28.98892, -71.21887 -29.83111, -71.25183 -29.98349, -71.31226 -30.02154, -71.33972 -
30.14988, -71.41663 -30.27804, -71.57043 -30.36814, -71.34521 -32.45416, -71.48254 -
33.05011, -71.60614 -33.04321))

Se incluyeron datos de peces, invertebrados y algas, además, se eliminaron varios registros que contenían NA en la columna de “ScientificNameOccur”, se incorporó información referente a autores de los taxa e IDs, y se eliminaron ocurrencias sin información taxonómica ni localidad precisa.

6.1.3 Sistematización de la información recopilada

Para facilitar las futuras actualizaciones, conexiones de bases de datos y tener información idónea para los compromisos de conocimiento de Biodiversidad que ha asumido Chile, se tuvo en cuenta el criterio de estándares de información sobre biodiversidad propuesto por la Biodiversity Information Standards para registrar la información en una matriz de datos en formato Darwin Core (DwC) (Tabla 2). Se estandarizó la información proveniente de los protocolos de muestreo, unidades/esfuerzo de muestreo, enfoques de cada estudio, tipo de fuentes, con el fin de categorizar la información y facilitar el análisis e interpretación de los datos. Además, los datos originales con distinto formato de referencia fueron estandarizados de acuerdo con el Sistema Geodésico Mundial Datum WGS84.

6.1.4 Validación del diagnóstico previo

l) Especies y grupos taxonómicos recopilados: con el fin de validar la nomenclatura del nombre científico, sus sinonimias y posibles cambios en la clasificación taxonómica de las especies a lo largo del tiempo y entregar información actualizada de estas, cada una de las especies y grupos taxonómicos (clase, orden, familia y género) ingresados en la matriz de información fueron corroborados en bases de datos internacionales como World Register of Marine Species- WoRMS (<https://www.marinespecies.org>), con la herramienta de “Taxon Match”. Fishbase (<http://www.fishbase.org>), AlgaBase (<https://www.algaebase.org>) y Catalogue of Life

(<https://www.catalogueoflife.org>). Cabe señalar que la actualización taxonómica fue realizada hasta diciembre del 2020, para todas las especies incluidas en la matriz de datos.

II) Información de ocurrencia: se realizó el chequeo y validación de la ubicación geográfica en donde fue reportada la especie, a partir de la georreferenciación de los datos en los programas GoogleEarth y ArcGis Pro. Además, se utilizó el paquete Obistools (Provoost & Bosch 2019) de R (R Core Team 2020), el cual es una herramienta para la mejora y control de calidad de las observaciones de especies marinas (Provoost & Bosch 2019). Esto último, con el fin de corroborar que la información recolectada corresponde a una ubicación geográfica marina y adecuada para ser incluida en la elaboración de mapas, modelos de distribución de especies y bases de datos marinas del Objetivo 5.2.

Tabla 2. Criterios utilizados para la estandarización de registros bibliográficos (datos) propuestos por el oferente en formato base Darwin Core.

Criterio	Ítem	Descripción
Biodiversity Information Standards	Autor	-
	Año publicación	-
	Localidad	Nombre específico del lugar
	Latitud	Latitud geográfica
	Longitud	Longitud geográfica
	Protocolo de muestreo	Nombre, referencia o descripción del método usado
	Unidad del tamaño muestral	Información acerca del muestreo y dimensiones del tamaño de muestreo
	Esfuerzo de muestreo	
	Fecha del muestreo	-
	Recolector	Institución o persona natural que recolectó la información
	Phylum	
	Clase	

(TDWG)		Categoría taxonómica
	Orden	
	Familia	
	Género	
	Especie	
	Hábitat	Descripción del hábitat en donde ocurrió el evento
	Profundidad mínima (m)	-
	Profundidad máxima (m)	-
	Ocurrencia	Comentario o notas de la ocurrencia
	Ocurrencia asociada	Presencia de simbioses o parásitos
	Abundancia	Número de individuos registrados

Tabla 2. Continuación. Criterios utilizados para la estandarización de registros bibliográficos (datos) propuestos por el oferente en formato base Darwin Core.

Criterio	Ítem	Descripción
Biodiversity Information Standards (TDWG)	Unidades de abundancia	CPUE, abundancia relativa y absoluta
	Naturaleza del registro de los datos	Especímenes preservados, fósiles, vivos, observación, etc.
	Colección (museos)	Nombre y código de la colección de la información recopilada
	Tipo de literatura	Artículo científico-AC, libro-L, informe técnico-IT, manuales-M, tesis de grado-TG, Anuario estadístico-AE,

Propuesto por el oferente		Seminario de investigación-SI, Base de datos
	Revista/editorial	-
	Título	Título de la publicación
	Zona	Norte y centro
	Región	Región política en la que se reportó la ocurrencia
	Especie aceptada (Worms)	Validación del nombre científico
	Autor especie	-
	ID de la especie	-
	Tamaño organismo	Organismos bentónicos: >4000 µm, >500 µm, entre 8 y 500 µm, <8 µm. Peces: longitud corporal
	Parámetro	Comunitario, poblacional
	Enfoque	Temática del estudio
	Observaciones	Aspectos a mejorar mencionado por el (los) autor (es)
Comentarios realizados por el revisor	Aspectos a resaltar en el trabajo	

6.1.5 Análisis de los datos

Con el objetivo de conocer la tendencia general del número de investigaciones por grupos taxonómicos a través del tiempo, se agruparon los estudios de acuerdo con el año de publicación. Por otro lado, se analizaron los trabajos de acuerdo con la latitud, con el fin de generar un diagnóstico de la distribución espacial de las especies ícticas, fauna y flora bentónica. Así mismo, se identificaron los diferentes enfoques en los que se han desarrollado los estudios recopilados, permitiendo visualizar las problemáticas abordadas a través del tiempo. Se generó un diagnóstico preliminar de la distribución de información generada en las diferentes regiones de la zona norte y centro de Chile, permitiendo identificar regiones donde existe un mayor conocimiento de las especies ícticas, fauna y flora bentónica y, por el contrario, cuáles requieren generar un mayor levantamiento de información. Con este fin, y para verificar si se está recobrando el total de especies de la región, se generaron curvas de rarefacción de especies con ocurrencias por latitud utilizando el paquete iNEXT (Hsieh *et al.* 2020) en R (R Core Team 2020), lo cual permitió realizar la estandarización del esfuerzo de muestreo tanto para la zona norte como para la zona centro de Chile. Este es un método que compara el número de especies cuando las muestras difieren en tamaño (Gotelli & Colwell 2011), calculando la riqueza a partir del tamaño muestral más pequeño (Gotelli & Entsminger 2011). Por lo que permite estimar el número esperado de especies de cada muestra con tamaños similares (Magurran 2004; Gotelli & Colwell 2011), comparando la riqueza entre ambas zonas. Considerando que la curva de rarefacción es estimada con intervalos de confianza incondicionales “abiertos”, asume que incluso al llegar a la asíntota de la curva algunas especies de la muestra no logran ser detectadas (Colwell 2013). Para calcular la densidad de ocurrencias georreferenciadas en el área de estudio se estimó una superficie de densidad de Kernel. El valor de la superficie es más alto en la ubicación de los registros y disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto. Los cálculos y mapas se realizaron con el software ArcMap Desktop 10.8 (ESRI 2019).

Adicionalmente, a partir de datos de ocurrencia obtenidos, se identificaron áreas de mayor y menor riqueza de especies. Por otro lado, las especies registradas a la fecha fueron revisadas en la plataforma de International Union for Conservation of Nature – IUCN, con el fin de conocer el estado de conservación actual y así, una vez finalizada toda la recopilación de la información, poder sugerir las especies que requieren medidas de conservación de la biodiversidad y de manejo pesquero.

6.2 Metodología objetivo específico 5.2

Elaborar una base de datos actualizable en el tiempo, que contenga la información obtenida desde los registros bibliográficos de especies ícticas, la flora y fauna acuática evidenciada en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.

6.2.1 Base de datos de ocurrencias

La base de datos se estructuró siguiendo las recomendaciones y buenas prácticas de gestión de datos de OBIS (Ocean Biodiversity Information System), contando con campos de información mínima, así como campos opcionales, estructurada en tablas relacionadas de taxones, ocurrencias y referencias. Lo anterior permitió la estandarización del contenido de las bases de datos digitales con el contenido de la información recopilada de literatura y bases de datos no digitalizadas (*i.e.* papers, informes y anuarios estadísticos), evidenciar y mitigar errores, y finalmente exportar la información estandarizada al formato de intercambio de datos CSV (caracteres separados por comas) y llevada a formatos de sistema de información geográfico SHP (shapefile de ESRI) y KML (Keyhole Markup Language), para alimentar la base de datos geográfica, realizar los análisis y los mapas de distribución.

Los datos fueron recopilados de literatura y almacenados en Excel, separando el contenido en tres pestañas: taxones, ocurrencias, y referencias; las cuales estaban “vinculadas” mediante un ID para cada taxón (taxonID) y un ID para cada referencia (refID). Trabajar directamente en MS Excel permite un manejo más rápido y eficiente para incorporar nuevas ocurrencias, sobre todo considerando el volumen de datos trabajados. De esta forma fue posible aplicar fórmulas para convertir coordenadas en grados decimales, o pegar grupos de registros de ocurrencias de especies repetidos de especies muestreadas en distintas fechas. No fue posible una base de datos basada en formularios dado las limitaciones de almacenamiento y posterior visualización de la información al momento del ingreso de nueva información.

Los registros de ocurrencia con errores como por ejemplo, los situados en zona terrestres fueron en su mayoría corregidos manualmente, ubicando la georreferencia en el mar o acercándolo a la costa, evitando mover puntos dudosos, en tal caso se prefirió mantener el registro original para evitar hacer interpretaciones erróneas. Para lo anterior se utilizó Google Earth Pro v7.3, priorizando alterar únicamente la longitud, de esta forma se intentó evitar interpretaciones que podrían llevar al error en la geolocalización de la ocurrencia.

Este cambio en latitud o longitud se registró en el campo occurrenceRemarks siguiendo las recomendaciones del estándar Darwin Core.

El diccionario de datos, la estructura de tablas, junto con las instrucciones y procedimientos para la generación de la base de datos de ocurrencia se encuentran detallados en los resultados del objetivo 5.2, sección 7.3.

6.2.2 Base de datos geográfica: contenido

Se generó una base de datos geográfica a partir de los registros de ocurrencia digitalizados, mediante la versión local de ArcMap Desktop 10.8 (ESRI 2019). Dicha información permitió generar mapas de distribución en base al criterio del mínimo polígono convexo, polígono convexo al 95 %, y modelos de distribución de especies; descritos en detalle en la sección: “6.3.1.3”. Los productos generados fueron, por una parte, archivos vectoriales del tipo shapefile (*.shp) y kml para cada especie; y por otra, archivos en formato ráster (*.tiff y *.asc) en el caso de los modelos de distribución de especies. La información generada (shapefile y raster) se proyectó al sistema UTM (Universal Transversal de Mercator) huso 19S.

6.3 Metodología objetivo específico 5.3

Generar un aplicativo de mapas representativo, actualizable y dinámico de los registros bibliográficos de las especies ícticas, la flora y fauna acuática que haya sido evidenciada en aguas marinas en la zona centro y norte de Chile

6.3.1 Distribución geográfica de flora y fauna bentónica y especies ícticas

6.3.1.1 Determinación de área geográfica por método del polígono convexo:

Esta aproximación consiste en generar un polígono convexo (ángulos internos menores de 180 grados) de la menor área posible que incluya todos los registros georreferenciados. Este procedimiento se realizó para cada especie. El número mínimo para generar un polígono convexo es de 3 ocurrencias. Para el caso de aquellas especies que no se obtuvieron 3 registros se generó un buffer circular de 100 Km alrededor de la coordenada. Para cada especie se calculó la superficie en Hectáreas. Los análisis fueron realizados en el software ArcMap Desktop 10.8 (ESRI 2019).

6.3.1.2 Determinación de área geográfica por método del polígono convexo al 95 %:

En esta aproximación se genera un polígono mínimo convexo, pero removiendo el 5 % de

las ocurrencias más alejadas del centroide del rango de distribución. Para esta aproximación se requiere de al menos 5 ocurrencias georreferenciadas por especie. Los análisis se realizaron en el paquete “adehabitat” (Calenge 2006) del programa R. Para cada especie se calculó la superficie en Hectáreas mediante el software ArcMap Desktop 10.8 (ESRI 2019).

6.3.1.3 Modelos de distribución de especies

Se generaron modelos de distribución de especies para predecir la distribución geográfica más probable en función de los registros georreferenciados de especies y predictores ambientales (Peterson *et al.* 2012). Se seleccionaron aquellas especies que al menos tuvieran 9 registros georreferenciados, siendo este el número mínimo para generar un modelo predictivo (Pearson *et al.* 2007; Breiner *et al.* 2015; 2018). En el caso de registros duplicados se seleccionó sólo una localidad, ya que las coordenadas duplicadas no son utilizadas por el algoritmo (véase Anexos XV, XIX y XXIII). Con respecto a los predictores ambientales, se seleccionaron aquellas variables con un coeficiente de correlación de Pearson menor a 0,8 (Anexo IV) y un factor de inflación de varianza (VIF) menor a 10 (Quinn & Keough 2002). Los análisis de correlación de variables ambientales se realizaron utilizando los paquetes “raster” (Hijmans 2020) y “Hmisc” (Harrell & Dupont 2019). El gráfico de correlación se realizó mediante el paquete “corrplot” (Wei & Simko 2017). Todos los análisis geográficos fueron realizados en el software ArcMap Desktop 10.8 (ESRI 2019) y los análisis estadísticos en el programa R (R Core Team 2020). Se realizó la aproximación de ensamble de pequeños modelos (ESM, por sus siglas en inglés) (Breiner *et al.* 2015; 2018) en el caso de especies que tuvieran más de 9 registros, pero menos de 14. Esta aproximación utiliza todas las ocurrencias y dos variables ambientales (e.g. temperatura y salinidad) para generar un modelo, luego genera un siguiente modelo con dos variables predictoras más hasta utilizar todo el set de datos ambientales. Con esto se genera un consenso de las predicciones, la cual se proyecta al espacio geográfico. La salida de los modelos fue de tipo logístico en donde 0 representa mínima idoneidad de hábitat y 1 máxima idoneidad de hábitat. Los algoritmos seleccionados para realizar los modelos por ESM fue Random Forest (Breiman 2001) y modelo aditivo generalizado (GAM) implementado en la plataforma biomod2 (Thuiller *et al.* 2009), ya que ha demostrado una buena capacidad predictiva para especies con bajos registros o especies submuestreadas (Mi *et al.* 2017). Los modelos por ESM fueron realizados a través del paquete “ecospat” (Di Cola *et al.* 2017). En el caso de especies con más de 14 registros se utilizó el algoritmo de

máxima entropía (Maxent) (Phillips *et al.* 2006). Los mapas generados fueron exportados al programa ArcMap Desktop 10.8 (ESRI 2019) para su visualización. En casos en donde se sospechó de sobrepredicción en los modelos (*i.e.*, áreas oceánicas) nosotros limitamos nuestras predicciones a las primeras 12 millas náuticas, así también incorporamos una cobertura raster que toma en cuenta la distancia en kilómetros a la costa (Sbrocco & Barber 2013) y que permitió corregir potenciales sesgos en las coordenadas de longitud de los registros. Los archivos raster de cada modelo (Datum WGS84 y UTM19S) se encuentran disponibles en el portal Zenodo (los vínculos se encuentran en la sección Resultados).

6.3.1.4 Base de datos ambiental

Se compiló información ambiental de bases de datos sobre condiciones físicas, químicas y biológicas para la zona de estudio (*e.g.* temperatura, salinidad, pH, entre otras). Esta información se obtuvo de las bases de datos Bio-Oracle (Tyberghein *et al.* 2012, Assis *et al.* 2017), Marspec (Sbrocco & Barber 2013) y GMED (Basher *et al.* 2018). Se obtuvo un total de 38 variables ambientales en formato digital tipo raster a una resolución de 0,008 grados, aproximadamente 0,81 kilómetros (Anexo V). Estas se utilizaron posteriormente para la generación de modelos de distribución de especies.

6.3.1.5 Base de datos geográfica: estructura

Asociado a los shapefile de cada grupo (algas, peces e invertebrados) se dispone de una tabla de atributos que identifica las especies, categorías taxonómicas superiores, año de registro, etc. (*e.g.* Tabla 2). Lo que permite realizar filtros y consultas en los programas de sistemas de información geográfica. En el caso de las ocurrencias, se utilizó el valor de coordenadas reportado en literatura, transformado a grados decimales y referido al Datum WGS 84.

6.4 Metodología objetivo específico 5.4

Realizar un análisis comparativo de las metodologías y protocolos de muestreo aplicados a las especies ícticas, flora y fauna acuática, de los proyectos que ingresan al SEIA en las Zonas Centro y Norte de Chile.

Para dar cumplimiento a este objetivo, como primera actividad se realizó una búsqueda de todos los proyectos ingresados al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). De esta manera, se consideraron proyectos de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) disponibles en la plataforma de “búsqueda de proyectos” en la página web del SEA (<https://www.sea.gob.cl>). Luego de esta primera búsqueda, se

registraron 16.729 proyectos, en donde 792 correspondieron a Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y 15.937 a Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA).

Posteriormente se realizó una búsqueda de todos los proyectos ingresados al SEA desde la fecha de publicación que aprueba el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en lo que se refiere al DS N° 40 publicado el 12-08-2013. Esto considerando que este decreto modifica al DS N° 30 del 27-03-1997 y que fue necesario actualizarlo con el objeto de adecuarlo a las modificaciones introducidas por la Ley N° 20.417 a la Ley N° 19.300, tanto en lo que respecta a la institucionalidad ambiental como a las normas que regulan el sistema de evaluación de impacto ambiental. Además, fue necesario introducir modificaciones conforme a la evaluación efectuada a su aplicación después de quince años de vigencia. Por lo tanto, desde la publicación del DS N° 40 (12-08-2013) hacia adelante, se consideraron proyectos candidatos de ser ingresados al análisis comparativo.

Como primer filtro de búsqueda, se realizó una recopilación de todos los proyectos EIA y DIA “aprobados”, en la plataforma de “búsqueda de proyectos”. Posteriormente, en la plataforma se indicaron varios criterios de filtro para la selección de proyectos, que consideraron: Región, Tipo de presentación, Fecha presentación, Estado de Proyecto y Sectores Productivos (Fig. 2)

Busqueda de proyectos

[Buscador de Proyectos por Comuna](#)

Nombre de Proyecto

Folio del Expediente Ej: 2018-99-2

Región

<input checked="" type="checkbox"/> Interregional	<input checked="" type="checkbox"/> Región de Coquimbo	<input type="checkbox"/> Región de La Araucanía
<input type="checkbox"/> Región Metropolitana de Santiago	<input checked="" type="checkbox"/> Región de Valparaíso	<input type="checkbox"/> Región de Los Ríos
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Arica y Parinacota	<input type="checkbox"/> Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	<input type="checkbox"/> Región de Los Lagos
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Tarapacá	<input type="checkbox"/> Región del Maule	<input type="checkbox"/> Región de Aysén
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Antofagasta	<input type="checkbox"/> Región de Ñuble	<input type="checkbox"/> Región de Magallanes y Antártica Chilena
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Atacama	<input type="checkbox"/> Región del Biobío	

Tipo de presentación EIA DIA AMBOS

Fecha de presentación Desde Hasta

Fecha de calificación Desde Hasta

Estado del proyecto

<input type="checkbox"/> En Admisión	<input type="checkbox"/> No Admitido a Tramitación	<input type="checkbox"/> Caducado
<input type="checkbox"/> En Calificación	<input type="checkbox"/> No calificado	<input type="checkbox"/> Revocado
<input type="checkbox"/> Rechazado	<input type="checkbox"/> Desistido	<input type="checkbox"/> Renuncia RCA
<input type="checkbox"/> Abandonado	<input type="checkbox"/> Ingresados Art.94 RSEIA	

Seleccionar Todos

Sectores Productivos

<input checked="" type="checkbox"/> Agropecuario	<input checked="" type="checkbox"/> Infraestructura Hidráulica	<input checked="" type="checkbox"/> Pesca y Acuicultura
<input checked="" type="checkbox"/> Energía	<input checked="" type="checkbox"/> Infraestructura Portuaria	<input checked="" type="checkbox"/> Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas
<input checked="" type="checkbox"/> Equipamiento	<input checked="" type="checkbox"/> Inmobiliarios	<input checked="" type="checkbox"/> Saneamiento Ambiental
<input checked="" type="checkbox"/> Forestal	<input checked="" type="checkbox"/> Instalaciones fabriles varias	<input checked="" type="checkbox"/> Otros
<input checked="" type="checkbox"/> Infraestructura de Transporte	<input checked="" type="checkbox"/> Minería	

[Buscar](#)

Seleccione de la siguiente lista la tipología a la que pertenece su proyecto (DS 95)

Figura 2. Criterios de búsqueda de proyectos en la página web del SEA e ingresados al sistema

desde la publicación del DS N° 40 del 12-08-2013.

Los resultados de la búsqueda fueron: 3.277 proyectos de los cuales 170 correspondieron a Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y 3.117 a Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA). Posteriormente, se aplicó una serie de filtros de selección hasta llegar a los proyectos que se muestran en la Tabla 3 y la Fig. 3. Estos consideraron desde la publicación del DS N° 40 en: (A) Regiones desde Arica a Valparaíso, (B) desde Regiones desde Arica a Valparaíso y NO Región Metropolitana (ya que se incluirán solo proyectos costeros), y (C) Solo Proyectos Cercanos a la costa dentro de ± 50 km (Fig. 3).

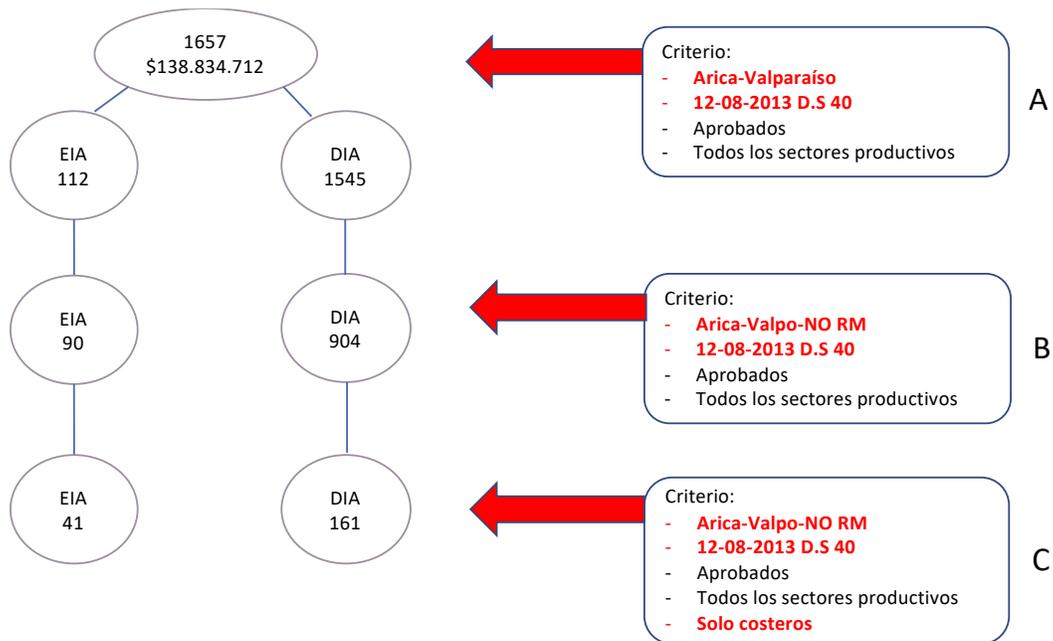


Figura 3. Criterios de selección de proyectos para ser ingresados al análisis comparativo sobre las metodologías y protocolos de muestreo de los registros de especies ícticas, flora y fauna acuática bentónica evaluados en el SEIA para las zonas centro y norte de Chile.

De esta manera, luego de aplicados los criterios de selección de proyectos mencionados anteriormente, se registraron 41 proyectos EIA y 161 proyectos DIA ingresadas y aprobadas en el SEIA hasta la fecha.

Tabla 3. Proyectos ingresados y aprobados en el SEIA luego de aplicar diferentes criterios de selección según Región, Tipo de presentación, Fecha presentación, Estado de Proyecto y separados en los distintos sectores Productivos representados en cada proyecto.

Sector Productivo	EIA	DIA
Agropecuario	0	3
Energía	11	36
Equipamiento	0	3
Forestal	0	1
Infraestructura de Transporte	0	4
Infraestructura Hidráulica	5	5
Infraestructura Portuaria	8	16
Inmobiliarios	3	5
Instalaciones fabriles varias	2	5
Minería	6	20
Pesca y Acuicultura	0	6
Planificación Territorial	0	0
Saneamiento ambiental	5	17
Otros	1	40
Seleccionados	41	161

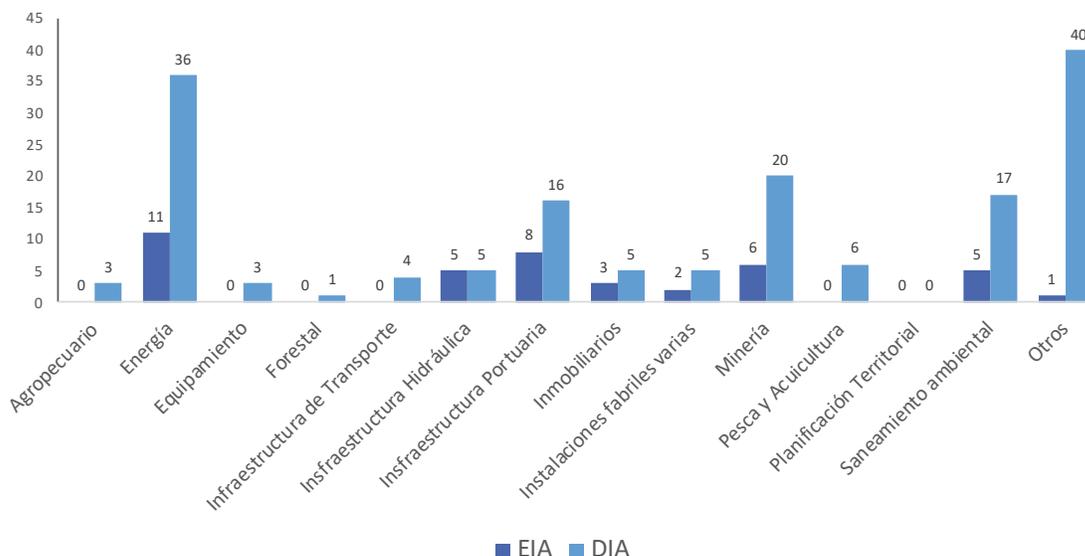


Figura 4. Proyectos ingresados y aprobados en el SEIA luego de aplicar diferentes criterios de selección según Región, Tipo de presentación, Fecha presentación, Estado de Proyecto y separados en los distintos sectores Productivos representados en cada proyecto.

Por último, se aplicó un último criterio, que es excluir del análisis a las DIA, debido a que estas por definición se ingresan si el proyecto no genera ni presenta ninguno de los efectos, características o circunstancias establecidas en el art. 11 de la Ley sobre las Bases de Medio Ambiente sobre impactos significativos sobre el medio ambiente. Por lo tanto, para el análisis comparativo fueron seleccionados 41 proyectos EIA (Fig. 4 y Tabla 3).

6.4.1 Análisis Comparativo de Proyectos ingresados al SEIA

De un total de 41 proyectos EIA que cumplían con las condiciones para ingresar al análisis comparativo, se realizó el análisis del 60 % (n=24) de los proyectos y el 40 % restante (n=17) no fue incluido en el análisis (Fig. 5), debido a que no se encontraban directamente en la costa o su actividad u propósito no reunía las condiciones para generar un estudio de impacto ambiental, línea base y/o sus actividades no generaban efectos directos sobre la zona costera adyacente a sus actividades.

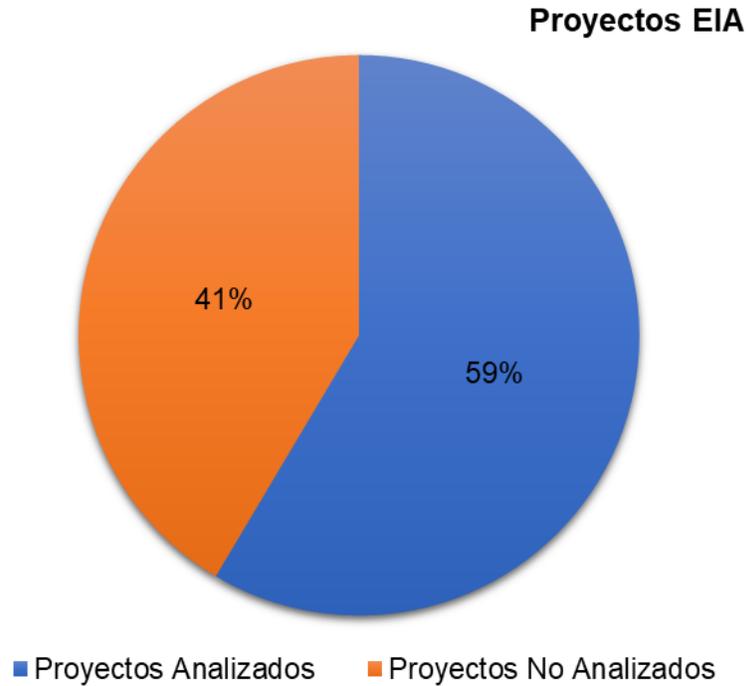


Figura 5. Porcentaje de proyectos que incluyeron estudios de impacto ambiental evaluados y que cumplen con los requisitos mínimos para ser ingresados al análisis comparativo.

Para el análisis comparativo fue necesario generar una serie de criterios metodológicos en el muestreo, evaluando cada proyecto y considerando: el Tipo de Matriz de muestreo, Estación del año, Nivel de muestreo, Número de Transectos o Estaciones, Técnicas de Muestreo, Unidad Muestral, Volumen/Cantidad de muestra, Número de Réplicas, Tipo de Preservación, Análisis de muestra, Protocolo de Análisis y Equipo de Identificación. El detalle de cada uno de los criterios aplicados se muestra en la Figura 6.

Matriz muestreo	Estación	Nivel Muestreo	Número de Transectas/Estaciones
intermareal fondos duros	invierno	alto-medio-bajo	0 a 5
intermareal fondos blandos	primavera	intermareal	6 a 10
submareal fondos duros	verano	submareal	11 a 15
submareal fondos blandos	otoño		16 a 20
ictiofauna			21 y mas
Técnica muestreo	Unidad muestral	Volúmen/Cantidad	Número de Réplicas
buceo	cuadrante	100 m	0 a 5
cámara video	corer	< 0,05 m3	6 a 10
conteo	draga	> 0,05 m3	11 a 15
extracción	draga Ponnar	0,01-0,025 m2	16 a 20
punto intercepto	draga Van Veen	0,1-0,25 m2	21 y mas
	ocular	0,25 y mas m2	
	ojo desnudo	1 min	
	red enmalle	40 min	
Preservación	Análisis de muestras	Protocolo Análisis	Equipo Identificación
alcohol 70-96%	in situ	conteo	Lupa estereoscópica
formalina 4%	laboratorio	tamiz 0,5mm haz malla	ojo desnudo
formalina 5%		tamiz 1mm haz malla	
formalina 10%			

Figura 6. Esquema con el detalle de los criterios metodológicos aplicados para evaluar comparativamente los proyectos EIA ingresados al SEIA.

Con los resultados obtenidos de la evaluación de los proyectos EIA aprobados ingresados al SEIA y considerando los criterios metodológicos mencionados anteriormente, se realizó un análisis comparativo entre las metodologías utilizadas para muestrear los diferentes grupos biológicos como los invertebrados, vertebrados (ictiofauna) y la flora marina (macroalgas). Además, se compararon estos resultados con lo que está indicado en los requisitos mínimos de muestreo en la Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático, de Jurisdicción Nacional para Proyectos que Contemplan “Descargas de Residuos Líquidos, de Puertos y Terminales Marítimos u Otros”. Aplicables al documento oficial utilizado por los estudios de línea base en los proyectos EIA, correspondiente a:

- a) Proyectos que contemplan descargas de residuos líquidos o similares de cualquier organismo, institución, empresa o industria, fiscal o particular que esté considerando evacuar residuos líquidos o mezclados con sólidos, o actividades similares, cuyo destino final sea el mar, los lagos o ríos navegables o cualquier otro cuerpo de agua que esté bajo la jurisdicción de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR).
- b) Proyectos de puertos o terminales marítimos en aguas sometidas a la jurisdicción nacional, a los cuales estarán afectos cualquier organismo, institución, empresa o industria, fiscal o particular, que esté considerando efectuar la construcción o

modificación de Puertos o Terminales Marítimos, conforme lo establece el Artículo 143, del Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática y Artículo 3°, letra f) del Reglamento SEIA.

- c) Otros proyectos que puedan significar la generación de impactos en aguas sometidas a la jurisdicción nacional.

Esta guía en lo que se refiere a la metodología de muestreo, indica algunos criterios mínimos para estudios de línea base ambiental, clasificándolos en dos categorías principales:

- a) Comunidades Macrobentónicas de Fondos Duros
- b) Comunidades Macrobentónicas de Fondos Blandos

**REQUISITOS MINIMOS PARA EL ESTUDIO DE LINEA BASE AMBIENTAL
COMUNIDADES MACROBENTONICAS DE FONDOS DUROS**

ACTIVIDADES	COMUNIDADES BIOLÓGICAS FONDOS DUROS SUBMAREALES	COMUNIDADES BIOLÓGICAS FONDOS DUROS INTERMAREALES
MUESTREO	<ul style="list-style-type: none"> * Cuantitativo o semi-cuantitativo. * Fotografía submarina (optativo). * Recuento de especies de peces de importancia ecológica y/o económica. * Buceo autónomo o semi-autónomo. 	<ul style="list-style-type: none"> * Muestreo semi-cuantitativo, destructivo o no destructivo. * Parcelas o cuadrículas de 0,25 m² reticuladas. * Estimación de cobertura de especies macroscópicas.
NUMERO MINIMO DE ESTACIONES	* 6 transectas, como mínimo, cada una con 10 estaciones equidistantes a lo largo de cada transecta.	* 6 transectas perpendiculares a la línea de marea, cada una con 10 estaciones equidistantes a lo largo de cada transecta.
ANALISIS VARIABLES ECOLOGICAS	<ul style="list-style-type: none"> * Estimación de cobertura de especies de macroalgas y recuento de especies de la macrofauna. * Diversidad (índice Shannon-Wiener). * Uniformidad y riqueza específica. * Clasificación y ordenación de estaciones. * Similitud (índice Jaccard de presencia-ausencia). 	<ul style="list-style-type: none"> * Abundancia * Biomasa total expresada en peso seco libre de cenizas (AFDW) * Estimación de cobertura de especies de macroalgas y recuento de especies de la macrofauna. * Diversidad (índice Shannon-Wiener). * Uniformidad y riqueza específica. * Clasificación y ordenación de estaciones. * Similitud (índice de Bray-Curtis)
CARACTERIZACION DE VARIABLES ABIOTICAS	* Caracterización geomorfológica del sustrato rocoso, grado de inclinación (pendiente) y cobertura de roca desnuda	* Caracterización geomorfológica del sustrato rocoso, grado de inclinación (pendiente), exposición al oleaje y cobertura global de roca desnuda.

**REQUISITOS MINIMOS PARA EL ESTUDIO DE LINEA BASE AMBIENTAL
COMUNIDADES MACROBENTONICAS DE FONDOS BLANDOS Y SEDIMENTOS**

ACTIVIDADES	COMUNIDADES BIOLÓGICAS FONDOS BLANDOS SUBMAREALES	COMUNIDADES BIOLÓGICAS FONDOS BLANDOS INTERMAREALES
MUESTREO	<ul style="list-style-type: none"> * Dragados (0,1 m² de mordida) (Dragas tipo Van Veen o Smith-McIntyre) * Buceo Autónomo: extracción cuantitativa de 0,1 m² de fondo mediante succión con "Air lift" 	<ul style="list-style-type: none"> * "Corers" de 50 a 100 cm² de sección transversal; 15 cm de profundidad en el sedimento * Medición de la pendiente de la playa.
NUMERO MINIMO DE ESTACIONES	* 6 estaciones, mínimo 3 réplicas (posicionadas mediante sistema GPS diferencial o corte angular de puntos de teodolitos en vértices de tercer orden geodésico).	* 6 transectas perpendiculares a la playa, cada una con 10 estaciones equidistantes a lo largo de cada transecta.
ANALISIS VARIABLES ECOLOGICAS	<ul style="list-style-type: none"> * Curvas ABC; biomasa expresada en peso seco libre de cenizas (AFDW) * Diversidad (índice Shannon-Wiener). * Uniformidad y riqueza específica. * Clasificación y ordenación estaciones. * Similitud (índice Bray-Curtis) 	<ul style="list-style-type: none"> * Abundancia * Biomasa expresada en peso seco libre de cenizas (AFDW). * Diversidad (índice Shannon-Wiener). * Uniformidad y riqueza específica. * Clasificación y ordenación de estaciones * Similitud (índice Bray-Curtis)
ANALISIS VARIABLES DEL SEDIMENTO	<ul style="list-style-type: none"> * Granulometría Escala Wenworth. * Análisis químico de los sedimentos, de acuerdo a los vertidos o actividades del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> * Granulometría, escala Wenworth. * Análisis químico de los sedimentos, de acuerdo a los vertidos o actividades del proyecto.

Figura 7. Requisitos mínimos para el estudio de Línea Base Ambiental para comunidades de fondos duros y blandos incluidas en la Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático de Jurisdicción Nacional para Proyectos que Contemplan "Descargas de Residuos Líquidos, de Puertos y Terminales Marítimos u Otros".

7. RESULTADOS

7.1 Objetivo 5.1

Recopilar información bibliográfica de carácter técnico y científico, de origen nacional e internacional, asociada al registro de especies ícticas, flora y fauna bentónica existente en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.

Los resultados de las ocurrencias de especies recopilados, para los tres grupos taxonómicos mayores (*i.e.* invertebrados, macroalgas y peces), se obtuvieron desde los siguientes tipos de información bibliográfica: artículos científicos, informes técnicos, base de datos y tesis de grado (Anexo VI, lista de referencias bibliográficas).

7.1.1 Revisión de fuentes bibliográficas

El número total de fuentes bibliográficas (artículos científicos, informes técnicos, tesis de grado, seminarios de investigación, libros y anuarios estadísticos) con registros georreferenciados efectivos (*i.e.* ocurrencias) fue de 578 para los tres grupos taxonómicos principales, *i.e.* peces invertebrados y algas (Tabla 4), en donde los invertebrados registraron un mayor número de fuentes bibliográficas (n=287).

Tabla 4. Número de artículos científicos e informes técnicos (informes técnicos, tesis de grado, seminarios de investigación, libros y anuarios estadísticos) revisados por grupo taxonómico y el número de ocurrencias georreferenciadas obtenidas de estos.

Grupo taxonómico	N° artículos científicos	N° Informes técnicos	N° ocurrencias
Peces	113	32	6.405
Invertebrados	236	51	29.190
Algas	119	29	3.472
Total	466	112	39.067

El número total de registros georreferenciados procedentes de fuentes bibliográficas fue de 39.067 ocurrencias de especies de fauna y flora bentónica y especies ícticas (Tabla 4) (**archivo ocurrencias.csv**); con un total de 1.173 especies registradas para la zona norte

y centro de Chile (18-33° S). Los registros de ocurrencia se desglosan de la siguiente manera por grupo taxonómico: 1) Invertebrados bentónicos: 792 especies, correspondientes a 824 géneros, 475 familias, 133 ordenes, 41 clases y 19 phyla; 2) algas bentónicas: número de especies 101, pertenecientes a 79 géneros, 37 familias, 27 ordenes, 6 clases y 3 phyla; y 3) Ictiofauna: 280 especies, pertenecientes a 216 géneros, 120 familias, 35 ordenes y 4 clases.

7.1.2 Revisión de bases de datos

Se consultaron 2 bases de datos de acceso público e internacionales: OBIS, GBIF, y 1 base de datos nacional, asociada al Programa de Seguimiento Bentónico del IFOP. Desde las bases de datos de acceso público (*i.e.* OBIS, GBIF), se obtuvieron inicialmente 16.220, no obstante, posterior a la exploración y depuración de los datos (*i.e.* revisión de cada ocurrencia, eliminación de registros duplicados, nombres científicos y ubicación geográfica correctos, etc.), resultaron un total de 2.988 registros de ocurrencias georreferenciadas: ictiofauna= 516, invertebrados=2.184 y algas=288 (Tabla 5). Finalmente, todos los registros de ocurrencia fueron estandarizados en formato Darwin Core (ver Tabla 2).

Con respecto a la base de datos del IFOP, las ocurrencias fueron obtenidas a partir de 23 informes del Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas, desde el año 1997 al 2019, entre las regiones de Arica y Parinacota hasta Valparaíso. Cabe mencionar que los registros incluidos en las bases de datos de IFOP sólo contenían ocurrencias de invertebrados y algas. El número inicial de ocurrencias correspondió a 384.884, donde el número efectivo total de registros georreferenciados fue de 366.498 (Tabla 5). Finalmente, el número de ocurrencias georreferenciadas, incluyendo todas las bases de datos (OBIS, GBIF e IFOP), fue 369.486 (Tabla 5).

Tabla 5. Número total de registros de ocurrencias asociados a bases de datos OBIS, GBIF e IFOP para peces, invertebrados y algas.

Grupo taxonómico	OBIS/GBIF	IFOP	TOTAL
Peces	516	---	516
Invertebrados	2.184	337.775	339.959
Algas	288	28.723	29.011
Total	2.988	366.498	369.486

7.1.3 Análisis temporal de los registros bibliográficos

7.1.3.1 Estudios por año

De los 645 trabajos con datos efectivos de ocurrencias georreferenciadas, el año 2008 registró la mayor cantidad de estudios totales (n=39) considerando los 3 grandes grupos taxonómicos, seguido del año 2009, 2005 y 2017 con 32 estudios cada año. Los invertebrados fueron el grupo taxonómico que concentró el mayor número de publicaciones (n= 287), seguidos por algas (n=146) y peces (n=145).

La tendencia general del número de estudios con registros de ocurrencias válidos aumento a través del tiempo (Fig. 9), observándose un aumento importante desde el año 2000 en los tres grupos taxonómicos (Fig. 9). Por otra parte, los registros más antiguos datan de 1956 (Madsen) y 1959 (Guiler) para invertebrados, para peces 1962 (Da Sylva) y 1980 en algas (Santelices *et al.*). Cabe mencionar que todos los trabajos incluyeron registros georreferenciados y contemplan estudios monoespecíficos y multi-específicos.

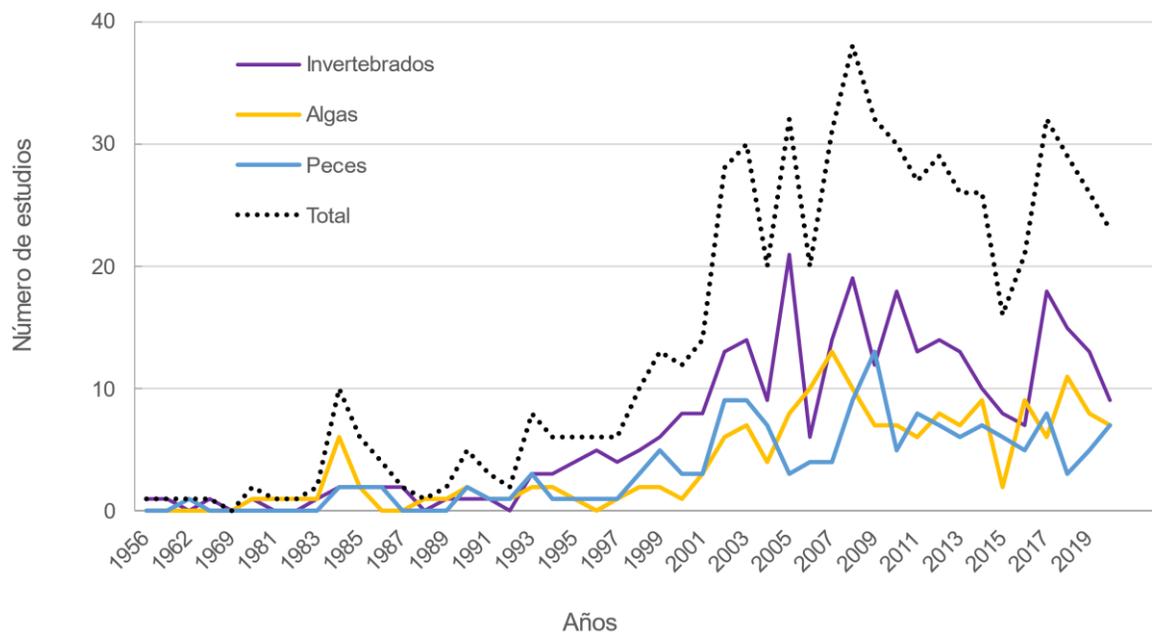


Figura 9. Indica el número de estudios por año de publicación desde el año 1956 hasta el 2020, para cada grupo taxonómico principal, *i.e.* peces, invertebrados y algas. La línea discontinua negra representa el número total acumulado de estudios, mientras que la roja indica el año (2000) a partir del cual se registró un aumento en el número de estudios.

7.1.3.2 Especies por año

En cuanto al número de especies de invertebrados marinos reportados por cada año de publicación, el 12 % de estas se registraron en los trabajos publicados en el año 2020 (352 especies). Representadas en su mayoría por las especies *Phymactis clematis* con 62 registros, *Phymanthea pluvia* con 57 y *Echinolittorina peruviana* 56. Seguido de los trabajos publicados en 2006, los cuales registraron 266 especies en total, reflejando el 9 % de las especies, correspondiendo principalmente a *Pyura chilensis* con 1.810 ocurrencias, seguido de *Aulacomya atra* y *Octopus mimus* que evidenciaron 1.476 y 1.453 registros, respectivamente. El año 2009 por su parte, registró un total de 166 especies que representan el 6 % del total de las especies, distribuidas en *Pyura chilensis* con 1.222 ocurrencias, similar a lo reportado en *Aulacomya atra* con 1.104 y *Loxechinus albus* con 1.034 (Fig. 10).

Respecto al número de especies de algas, el valor más alto se registró el año 2008 con 40 especies correspondiente al 12 % del total de especies, en donde *Lessonia spicata* presentó 1.459 registros y *Macrocystis pyrifera* 367. De manera similar, los años 2006 y 2019 reportaron 36 especies cada uno, representando el 11 % de las especies, siendo *L. spicata* la especie con más registros, 679 y 528, respectivamente, seguida de *Lessonia trabeculata* (2006, n=367 y 2019, n=374). En el año 2020 se registraron 35 especies (10 %). Las especies con mayor número de registros fueron: *L. berteroana* (n=56) y *L. trabeculata* (n=32), *M. pyrifera* (n=30) (Fig. 10).

Con relación a la ictiofauna, el mayor número de especies se registró en los trabajos publicados en el año 2020 con 112 especies representando el 12 % del total, en donde las especies *Hyppoglossina macrops* (12), *Talismania aphos* (10) y *Aculeola nigra* (8), estuvieron mayormente representadas. Continúan las publicaciones del año 2009 con el 8 % de las especies registradas (77) con *Merluccius gayi* (431), y *H. macrops* (383), presentado el mayor número de registro. Finalmente, las publicaciones del año 2003 que incluyeron registros de 69 especies, conteniendo el 7 % del total de especies, en donde más del 78 % de los registros se concentran en las especies *M. gayi* (290), *Coelorinchus aconcagua* (233) y *H. macrops* (163). Aunque el mayor número de especies se localiza en el año 2020, el mayor número de ocurrencias se registran para el año 2004 llegando a las 1.701 ocurrencias (Fig. 10).

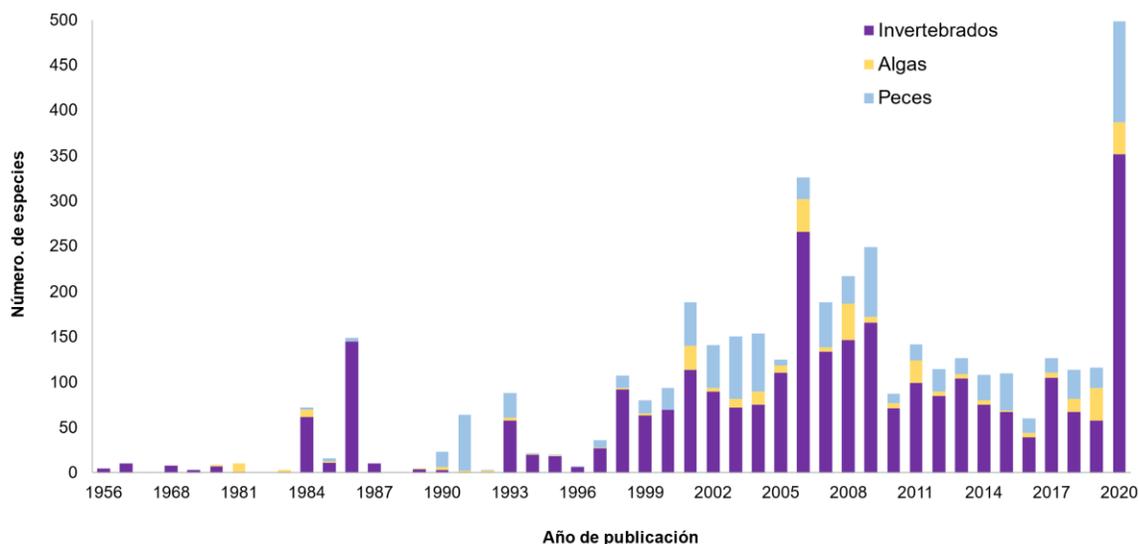


Figura 10. Número de especies reportadas de invertebrados, algas bentónicas y peces por cada año de publicación.

7.1.4 Fauna bentónica: Invertebrados

7.1.4.1 Sistematización de la información

Se revisaron un total de 362 trabajos en formato digital, de los cuales 293 correspondieron a artículos científicos, mientras que 69 referencias fueron informes técnicos, libros, tesis y seminarios de investigación. Sin embargo, usando los criterios de selección y metodología de filtrado (ver numeral 6.1.2.), se registraron 236 artículos científicos efectivos, seguido de informes técnicos, tesis de grado, libros y seminarios de investigación con 51 trabajos efectivos, publicados entre los años 1956 y 2020 (Fig. 9). Por otro lado, con respecto a las bases de datos, desde OBIS se obtuvieron un total de 5.834 registros iniciales, de las cuales 2.181 correspondieron a ocurrencias efectivas, mientras que la base de datos de IFOP, registró 352.844 ocurrencias iniciales, extrayéndose 337.775 ocurrencias efectivas, perteneciente a el Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas. Finalmente la recopilación de ambas fuentes de información (literatura digital y bases de datos), se sistematizó en un total de 369.149 ocurrencias efectivas.

Desde las fuentes mencionadas, se registraron un total de 792 especies, 824 géneros, 475 familias, 133 ordenes, 41 clases y 19 phyla. A cada registro se le realizó una validación de la información taxonómica recopilada en World Register of Marine Species (WoRMS), en donde se corroboró y actualizó la nomenclatura de los nombres científicos, de manera que 202 taxa presentaron cambios en su nombre científico a nivel de diferentes categorías

taxonómicas, de las cuales 176 correspondieron a especies.

7.1.4.2 Estudios por año

El año de publicación donde se reportó la mayor cantidad de phyla correspondió al 2020, registrando un total de 16 grupos (Annelida, Arthropoda, Brachiopoda, Bryozoa, Chordata, Cnidaria, Echinodermata, Gastrotricha, Kinorhyncha, Mollusca, Nematoda, Nemertea, Platyhelminthes, Porifera, Sipuncula y Tardigrada), y abarcando 352 especies para este año. Consecutivamente, el año 2013 reportó un total de 13 phyla, similar a 2007 y 2008 en donde se registraron 12 grandes grupos (Fig. 10), evidenciándose en común anélidos, moluscos, artrópodos, briozoos, cordados, cnidarios, equinodermos, moluscos y nematodos, sumando en total 385 especies para estos tres años, de las cuales 209 especies pertenecieron al phyla Mollusca. A diferencia de lo anterior, 9 años registraron un solo phylum (Fig. 11), en donde los años de 1956, 1968, 1969 registraron especies de equinodermos, mientras que, en 1980 se reportaron anélidos y en los años 1983, 1985 y 1989 especies de moluscos. Finalmente, en 1990 y 1991 se reportaron especies de artrópodos y cordados, respectivamente.

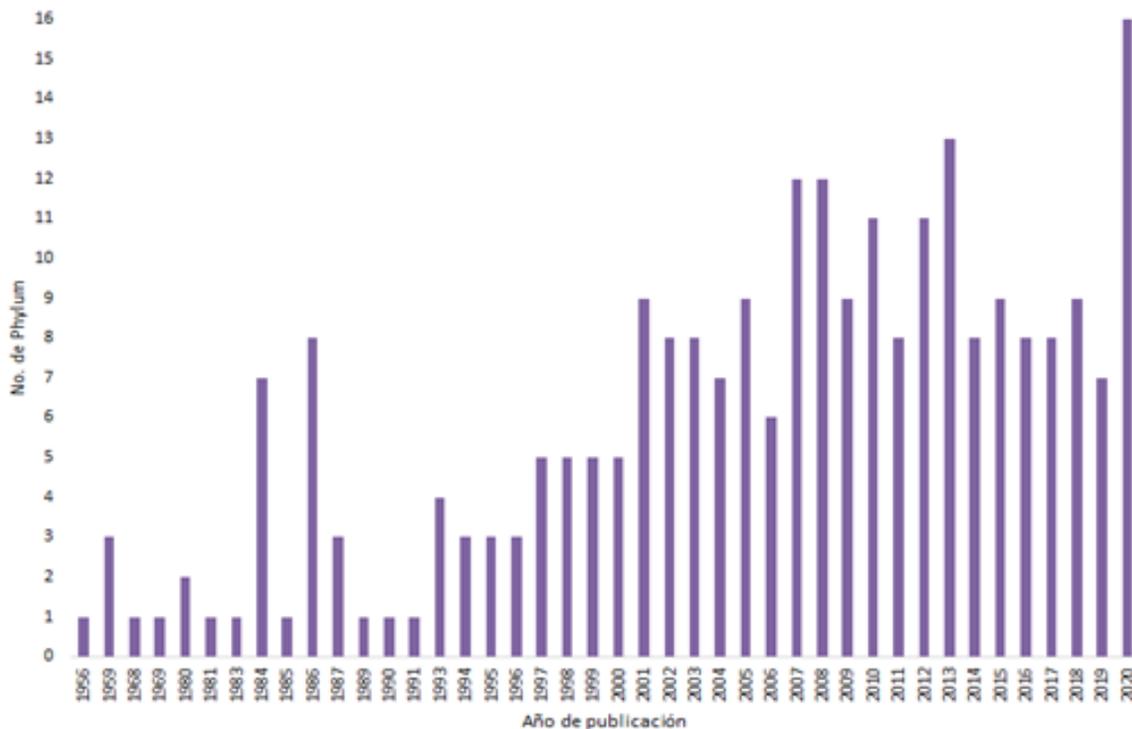


Figura 11. Número de phyla de invertebrados bentónicos reportados según el año de publicación.

7.1.4.3 Ocurrencias por región administrativa

A partir de la densidad de ocurrencias, se logró evidenciar las localidades que concentraron la mayor cantidad de registros georreferenciados, en donde la mayor densidad de ocurrencias se registró en la región de Arica y Parinacota, específicamente en las localidades de Bernales, Isla Alacrán y Zona Pesquera, las cuales reportan a *Octopus mimus* con una gran cantidad de ocurrencias.

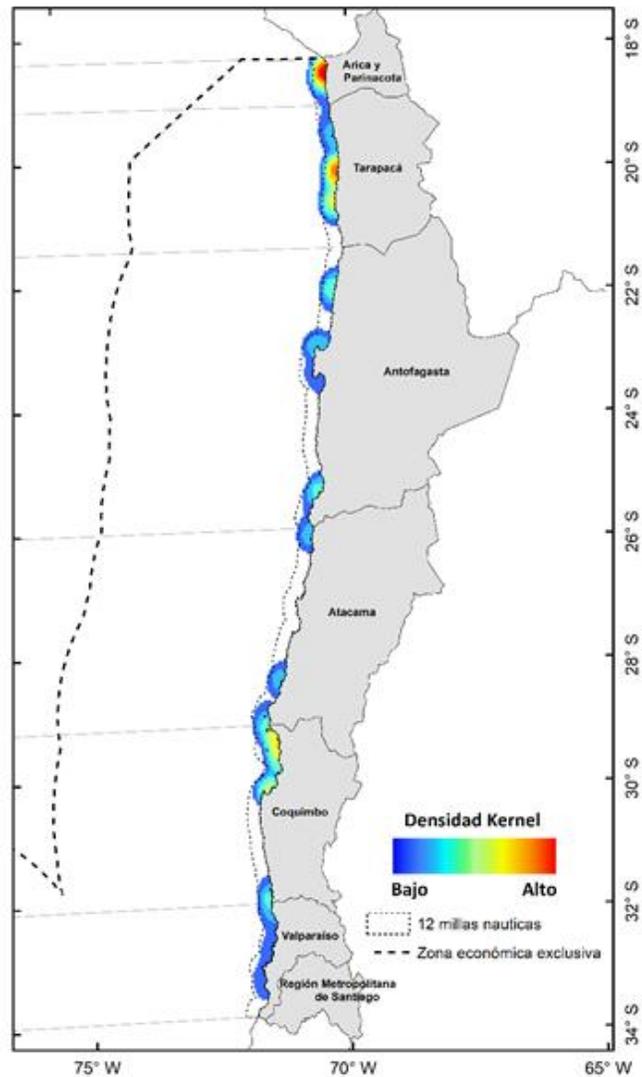


Figura 12. Densidad de Kernel para las ocurrencias de invertebrados bentónicos, indicando los límites del mar territorial y la zona económica exclusiva.

Posteriormente, la región de Tarapacá mostró una concentración de registros hacia los 20°S, pertenecientes a los sectores de Patache e Iquique, en los cuales se reportaron gran cantidad de ocurrencias pertenecientes en su mayoría a moluscos, equinodermos y

artrópodos, mientras que, en las localidades de Chungungo, Isla Choros y el Tembladero ubicados a los 29°S y Tongoy a los 30°S (región de Coquimbo) (Fig. 12), se reporta una densidad media de ocurrencias, representadas en su mayoría por una gran diversidad de moluscos y artrópodos.

A nivel de Familia

A este nivel taxonómico se registraron un total de 756 ocurrencias, donde la región con mayor número de registros correspondió a Antofagasta, evidenciando un total de 355 ocurrencias. Por otra parte, Coquimbo reportó 129 registros de familias, seguido de las regiones de Tarapacá y Atacama con 105 y 101 ocurrencias respectivamente, mientras que en Valparaíso se obtuvieron 58 ocurrencias, consecutivamente de Arica y Parinacota con solo 8 registros, (Fig. 13).

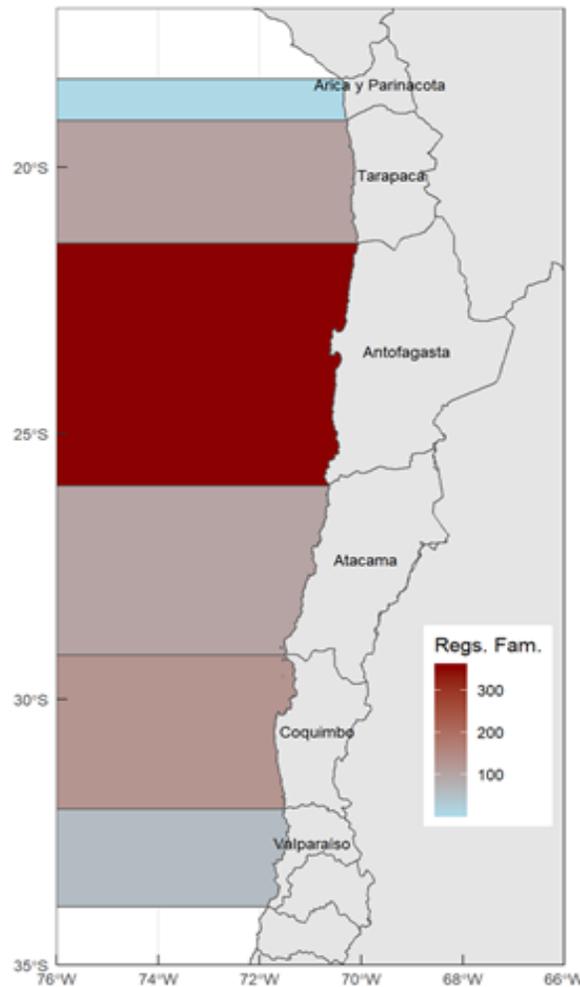


Figura 13. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de familia para invertebrados.

A nivel de género

Se evidenció un total de 86.485 registros a este nivel taxonómico, de los cuales la mayoría de estos correspondieron a la región de Coquimbo con un número de registros de 25.468, seguido de la región de Arica y Parinacota con 16.549. Por otra parte, Antofagasta evidenció 16.054 registros, seguido de la región de Tarapacá con 12.411, a diferencia de Atacama y Valparaíso que reportaron el menor número de ocurrencias con 10.538 y 5.465, respectivamente (Fig. 14).

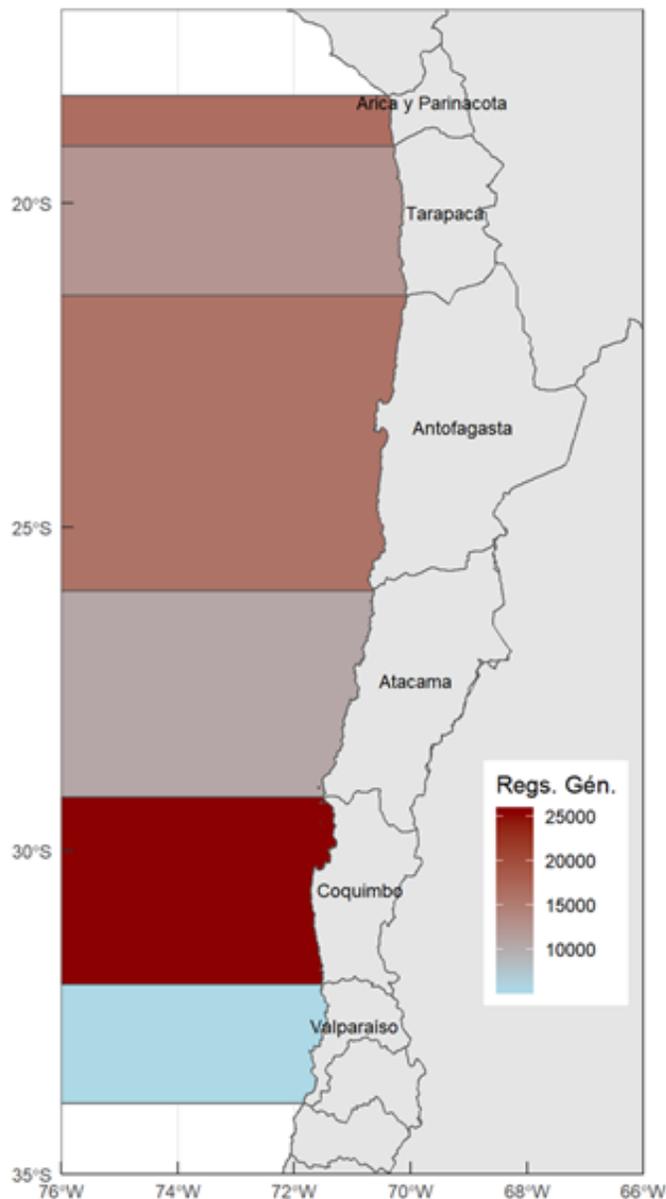


Figura 14. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de género para invertebrados bentónicos.

A nivel de especie

Los registros en esta categoría taxonómica correspondieron a un total de 281.343, siendo Tarapacá la región con mayor cantidad de ocurrencias (82.263). por otro lado, Coquimbo reportó un total de 72.717 registros, seguido de Arica y Parinacota con 59.370 ocurrencias. Atacama por su parte, evidenció 15.562 registros, siendo Valparaíso la región que reportó el menor número de ocurrencias, con un valor de 13.903 (Fig. 15).

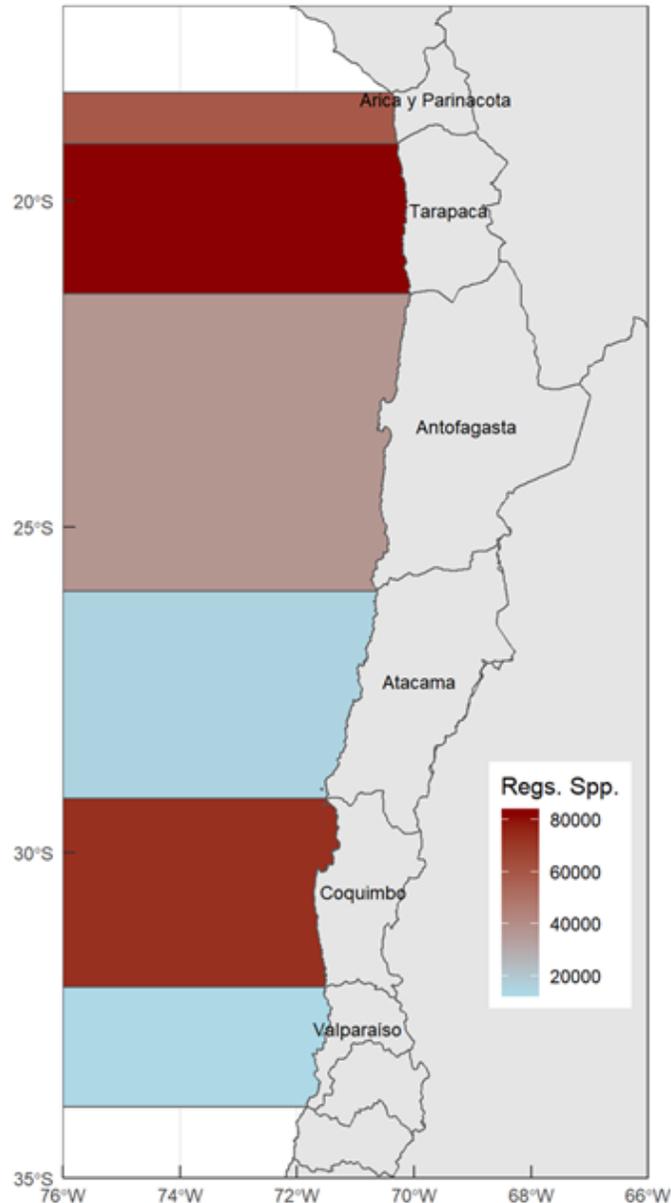


Figura 15. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de especie para invertebrados bentónicos.

7.1.4.4 Diversidad taxonómica de invertebrados bentónicos

Las ocurrencias de invertebrados bentónicos estuvieron distribuidas en 19 phylum: Annelida, Arthropoda, Brachiopoda, Bryozoa, Cephalochordata, Chordata, Cnidaria, Echinodermata, Gastrotricha, Hemichordata, Kinorhyncha, Mollusca, Nematoda, Nemertea, Phoronida, Platyhelminthes, Porifera, Sipuncula y Tardigrada. El phylum mayormente reportado correspondió a Mollusca, registrándose en el 67 % del total de ocurrencias, seguido por Arthropoda el cual se evidenció en el 15 % de los registros, mientras que Chordata y Echinodermata estuvieron presentes en el 9 y 8 % de las ocurrencias totales respectivamente. Finalmente, el 1 % de los registros estuvo representado por 15 phyla, de los cuales Annelida con 0,5 % y Cnidaria con 0,3 % fueron los más frecuentes (Fig. 16).

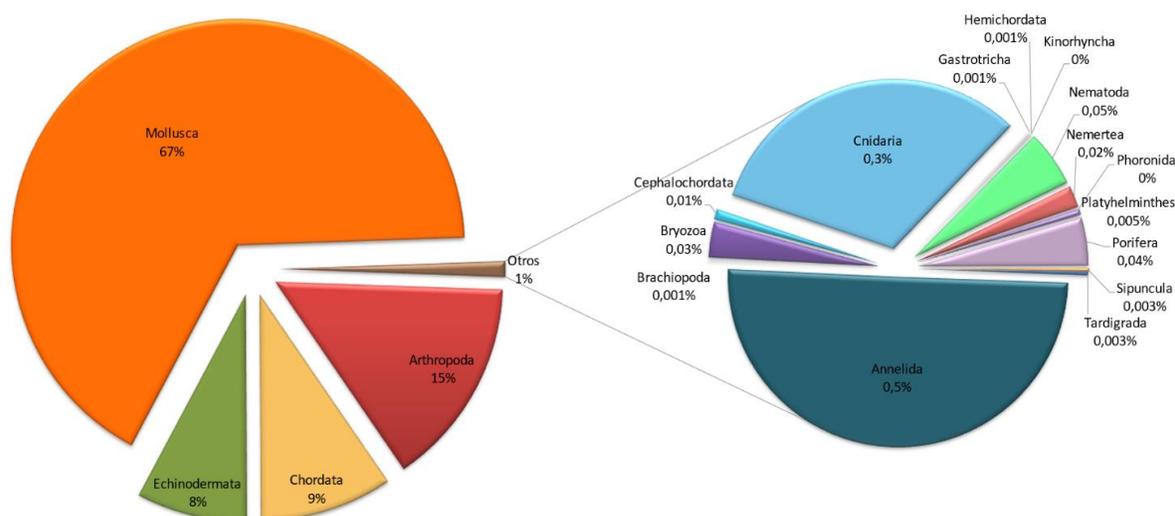


Figura 16. Porcentaje de ocurrencias georreferenciadas de los phyla de invertebrados bentónicos registrados en la literatura

El mayor número de especies registradas estuvo representado por el phylum Mollusca con 243, seguido de Arthropoda, el cual reportó 219 y Annelida con 130 especies. Si bien, el phylum Chordata y Echinodermata se evidenciaron en el 9 y 8 % de las ocurrencias totales (Fig. 16), su representatividad con relación al número de especies fue bajo, ya que se reportan 13 especies para Chordata y 75 para Echinodermata. Por otra parte, los phylum Brachiopoda, Cephalochordata, Hemichordata, Nematoda y Platyhelminthes arrojaron una sola especie (Tabla 6). Sin embargo, la riqueza de estos grupos podría estar siendo subestimada, ya que varios de los trabajos reportaron información a nivel de phylum, clase

y género.

Por otro lado, el elevado número de especies de moluscos estuvo representado principalmente por los órdenes Neogastropoda y Littorinimorpha, quienes agruparon 61 y 45 especies, respectivamente. Las especies de crustáceos (Arthropoda) por su parte, registraron resultados similares a los mencionado por Lancelloti & Vásquez (2000), en donde la mayor riqueza correspondió a decápodos (161 especies) y anfípodos (81 especies). Estos mismos autores hacen referencia al orden Phyllocida perteneciente a Annelida, el cual es el más diverso de este grupo (91 especies), seguido por Eunicida (30 especies).

Tabla 6. Número de especies de invertebrados bentónicos por cada phylum.

Phylum	Número de Especies
Annelida	130
Arthropoda	219
Brachiopoda	1
Bryozoa	7
Cephalochordata	1
Chordata	13
Cnidaria	67
Echinodermata	75
Hemichordata	1
Mollusca	243
Nematoda	1
Nemertea	4
Platyhelminthes	1
Porifera	27
Sipuncula	2
Gastrotricha	0
Kinorhyncha	0
Phoronida	0
Tardigrada	0

Las mayores ocurrencias de moluscos estuvieron representadas por la especie *Octopus mimus*, la cual se evidenció en 51.397 registros, correspondiendo al 32 % del total de ocurrencias del phylum. De manera consecutiva, *Aulacomya atra* estuvo presente en 23.764 registros, aportando un 15 % del total de ocurrencias, seguido de *Thaisella chocolata*, que arrojó 11.909 registros y contribuyó al 7 % de las ocurrencias para este grupo.

Con respecto a las especies de artrópodos, la mayor ocurrencia se evidenció en *Romaleon setosum* con 27.831 registros, representando el 51 % del total de ocurrencias para este grupo, mientras que la especie *Homalaspis plana* se distribuyó en 12.137 registros, correspondiendo al 22 % de las ocurrencias. Finalmente, se destaca la presencia de *Austromegabalanus psittacus* en 3.822 reportes, aportando al 7 % de las ocurrencias para el phylum.

Por otra parte, a pesar de que los anélidos reportan una gran cantidad de especies (135) (Tabla 6), las ocurrencias son poco representativas (entre 4 y 6 %) en comparación a los phylum anteriormente mencionados, reportando a *Prionospio peruana*, con el mayor número de registros (65), seguido de *Paraprionospio pinnata* con 63 y *Nephtys impressa* con 45. Por otro lado, si bien los phylum Chordata y Echinodermata no estuvieron representados por una gran cantidad de especies (Tabla 6), las ocurrencias fueron notables, evidenciando a *Pyura chilensis* con 34.747 registros, abarcando el 99 % de los reportes de cordados invertebrados, similar a lo encontrado para la especie *Loxechinus albus* con 27.610 reportes, que corresponden al 95 % de las ocurrencias de equinodermos.

7.1.4.5 Riqueza de especies

Con respecto a la riqueza observada por región (división política/administrativa), Coquimbo es la que registró el mayor número con 434 especies, seguido de Valparaíso, en la cual se reportan 430 especies, y de Antofagasta con 373 especies. Atacama por su parte, registró una riqueza de 351 especies, mientras que Tarapacá y Arica y Parinacota evidenciaron 258 y 111 especies respectivamente (Fig. 17). Los mayores registros de especies para la región de Coquimbo correspondieron a las localidades de Chungungo, Tilgo y Tongoy, reportándose en mayor medida a *Mesodesma donacium* (18.058 registros), *Romaleon setosum* (15.259 registros) y *Homalaspis plana* (8583 registros). Por otra parte, Valparaíso registró su mayor riqueza en las localidades de Las Cruces, Bahía Quintero y Los Molles, en donde *Homalaspis plana*, *Concholepas concholepas* y *Eurhomalea lenticularis*, las especies que mayormente acumularon registros (2.476, 1.626 y 1.160, respectivamente).

Finalmente, las localidades de Bahía de Mejillones (La Rinconada, Hornitos y Punta Chacaya), Bolsico, Guanillo, Playa Colorado, Punta Coloso y Taltal, pertenecientes a la región de Antofagasta, abarcaron el mayor número de especies, siendo *Octopus mimus* la más reportada (17.138 ocurrencias), seguida de *Aulacomya atra* (4.473 ocurrencias) y *Pyura chilensis* (3.104 ocurrencias).

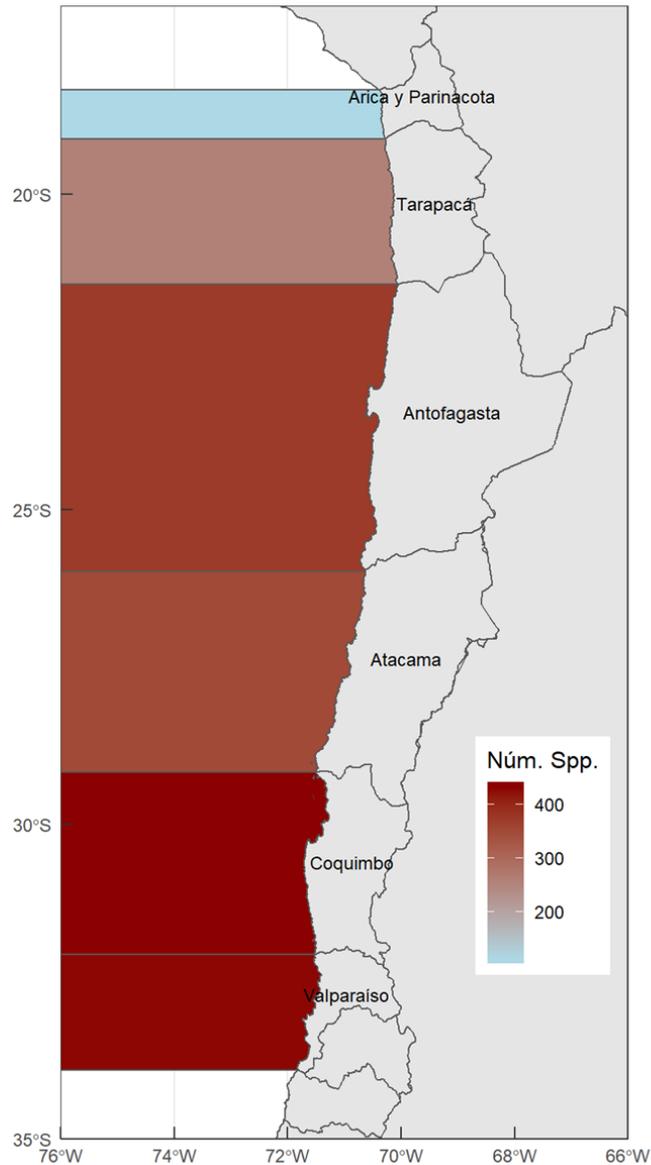


Figura 17. Distribución geográfica de la riqueza de especies de invertebrados bentónicos por región administrativa.

Por otro lado, desde el punto de vista latitudinal, la mayor riqueza se registró a los 29°S con 379 especies, seguido de los 32°S con 355. De manera consecutiva, la franja latitudinal de

los 23°S concentró un total de 285 especies, a diferencia de lo anterior, la latitud que registró la menor riqueza de especies correspondió a la de los 19°S, arrojando un valor de 50 especies. Además, la latitud a los 24°S, estuvo representada por una baja cantidad de especies, siendo esta de 80 (Fig. 18a).

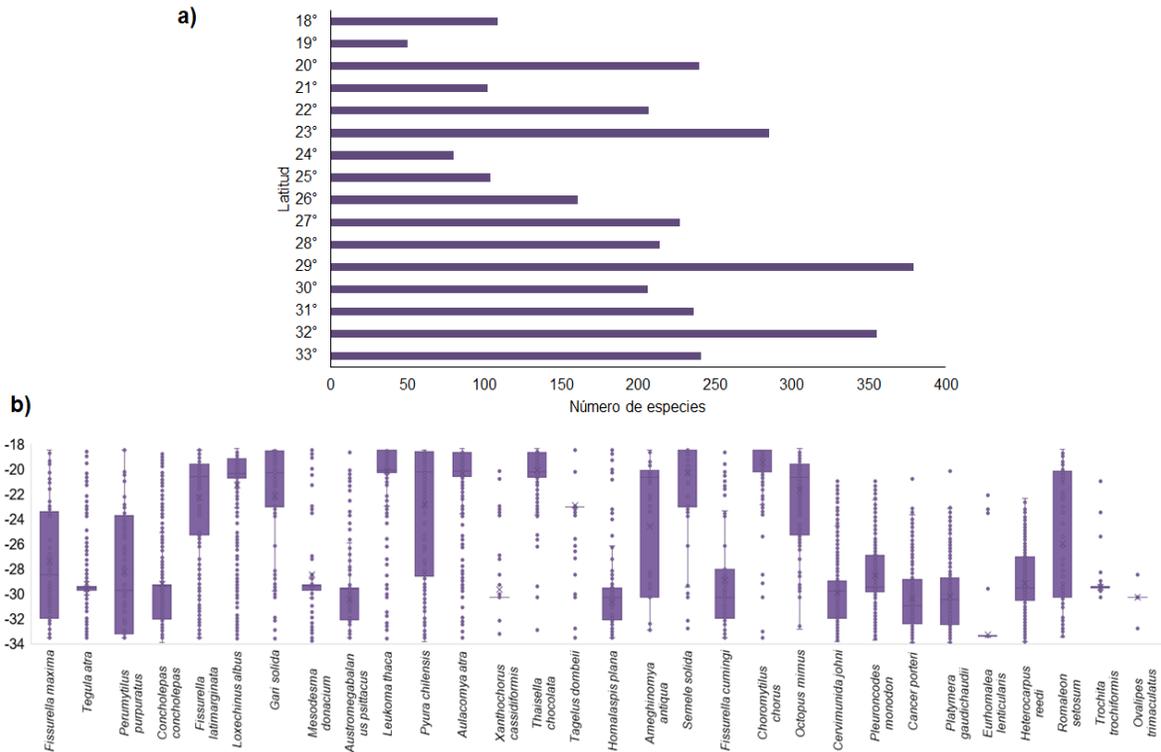


Figura 18. a). Riqueza de especies de invertebrados bentónicos por grado latitudinal de la zona norte y centro de Chile. b). Distribución latitudinal de las especies de invertebrados con mayor número de registros. *Boxplot incluye la mediana (línea central), los cuartiles superior e inferior (box limits), el rango intercuartil (bigotes) y valores anómalos (outliers) representados por puntos color violeta.

Específicamente de las 30 especies con mayor número de registros, se evidenció una amplia distribución, sobre todo en *Fissurella maxima*, *Perumytilus purpuratus*, *P. chilensis*, *Ameghinomya antiqua* y *R. setosum*, en las cuales las mayores concentraciones de ocurrencias fueron reportadas a lo largo de amplias bandas latitudinales (Fig. 18b). No obstante, se registraron especies con distribuciones mucho más restringidas hacia la zona norte, como fue el caso de *L. albus*, *L. thaca*, *A. atra*, *T. chocolata* y *C. chorus*, quienes fueron reportadas mayormente entre los 18°S y 20°S, mientras que la distribución de *C. concholepas*, *A. psittacus*, *Homalaspis plana*, *Fissurella cumingi*, *Cervimunida johni*, *Cancer porteri* y *Platymera gaudichaudii*, se concentró mayormente entre los 28°S y 32°S, siendo las especies más frecuentes de la zona centro de Chile. Por otro lado, se evidenciaron 5

especies (*Xanthochorus cassidiformis*, *Tagelus dombeii*, *Eurhomalea lenticularis*, *Trochita trochiformis* y *Ovalipes trimaculatus*) con una distribución más dispersa, en las cuales no se detectó una concentración de registros en alguna latitud en particular (Fig. 18b).

7.1.4.6 Curvas de rarefacción

De acuerdo con la riqueza de especies empírica en cada región, se observó que, en Antofagasta, Atacama, Tarapacá, Coquimbo y Valparaíso, se alcanzó el inicio de la asíntota. Lo anterior corroboró que el esfuerzo de muestreo en la mayoría de las regiones de la zona norte y centro de Chile fue el adecuado para comparar la riqueza de especies entre sitios. Sin embargo, la riqueza de especies registrada en la región de Arica y Parinacota no alcanza la asíntota, debido a que esta región evidenció un gran número de ocurrencias en unas pocas especies, comparado con las demás regiones, por lo que se requiere de futuros estudios enfocados en la caracterización comunitaria que permitan enriquecer los registros de la riqueza de especies y no de unas pocas especies en esta región, para llegar así a la asíntota (Fig. 19).

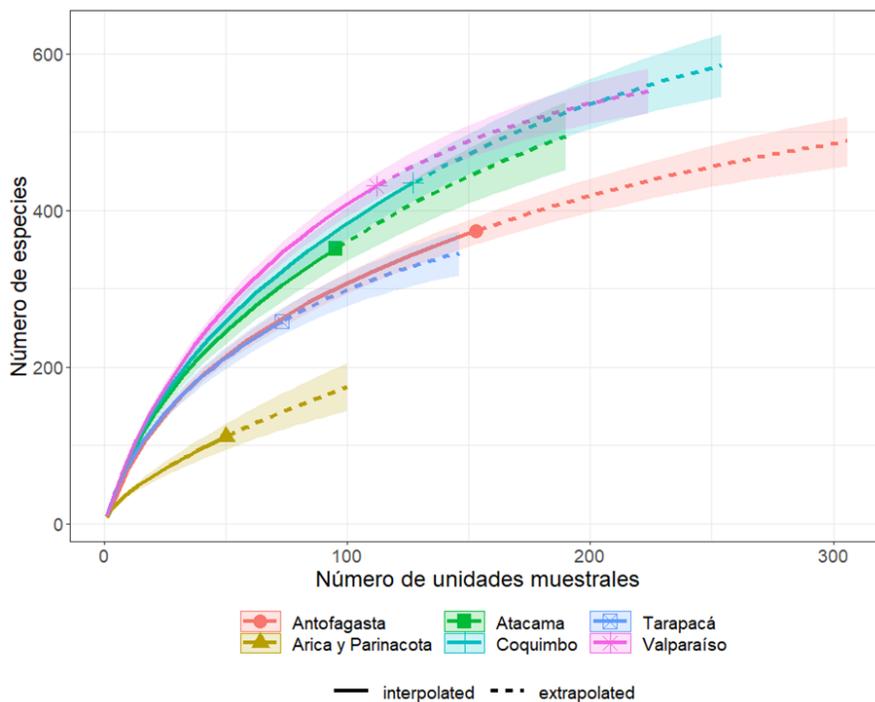


Figura 19. Curva de rarefacción-extrapolación de invertebrados marinos bentónicos basada en la literatura revisada como muestras por región. La línea continua indica interpolación, la línea punteada extrapolación y el sombreado muestra el intervalo de confianza del 95 % para cada región.

7.1.4.7 Enfoques abordados

En los estudios recopilados se reportaron un total de 26 enfoques entorno a los invertebrados bentónicos, en los cuales la mayoría de los estudios se evidenció más de un enfoque, siendo los trabajos de pesquerías los mayormente registrados (57), seguido de las temáticas de diversidad que han sido abordadas en 50 estudios. Por otra parte, 35 estudios tienen relación con ecología trófica, además de 24 y 23 trabajos que han abordado temas de biogeografía y resiliencia, respectivamente (Tabla 7). Los enfoques menormente abarcados correspondieron a bioprospección, morfología y reclutamiento, registrándose una temática por estudio, sin embargo, es relevante mencionar que estos últimos enfoques son muy específicos, por lo que un reporte de estudios bajo no llama la atención (Tabla 7). Por otro lado, los trabajos de pesquerías han sido mayores debido a que es una de las actividades económicas que más se realiza en Chile, lo que genera un alto número de estudios que corresponden en su mayoría a informes técnicos realizados por varias universidades (e.g. Universidad Católica del Norte, Universidad Arturo Prat y Universidad de Concepción) e institutos de investigación (e.g. Instituto de Fomento Pesquero), dedicados a evaluar el estado y explotación de los recursos. Lo anterior a diferencia de los trabajos de diversidad, que en su mayoría estuvieron enfocados en inventarios de las especies registradas y la descripción de la comunidad macrobentónica tanto a nivel local como regional.

Tabla 7. Número de estudios por cada enfoque registrados en la literatura de invertebrados bentónicos.

Enfoque	No. de estudios
Pesquerías y valoración económica recursos	58
Diversidad (estructura y descripción comunitaria)	50
Ecología trófica	35
Biogeografía-variación espacial	26
Biología reproductiva	24
Resiliencia e impactos antropogénicos	23
Variación temporal	18
Descripción nueva especie	16
Taxonomía	16
Dinámica poblacional	14

Heterogeneidad ambiental	13
Acuicultura	8
Fisiología	7
Conservación	6
Genética	6
Sistemática	4
Filogeografía	3
Sucesión ecológica	3
Invasiones biológicas	2
Competencia	2
Comportamiento	2
Manejo de los recursos	2
Bioprospección	1
Morfología	1
Reclutamiento	1

7.1.4.8 Protocolos de muestreo

Se reportó un total de 20 protocolos de muestreo, siendo el buceo el mayormente registrado en 110 estudios, debido a que corresponde a una estrategia de muestreo complementaria y no excluye a otros protocolos (e.g. cuadrantes, transectos). De manera consecutiva, 56 y 53 trabajos registraron cuadrantes y transectos, respectivamente, los cuales han sido usados tanto en zonas intermareales como submareales a diferentes profundidades, permitiendo la caracterización de las comunidades de macroinvertebrados. Las redes, por su parte, fueron empleadas en 50 estudios, siendo estos en su mayoría enfocados hacia la pesquería y evaluación de los recursos, en las que se mencionan diversos tipos de redes (redes de arrastre Sigsbee, Agassiz y Menzies). Los protocolos menormente reportados fueron el uso de jaulas, observación por cámara, bombas de succión y colectores, (entre 1 y 3 estudios), lo cual puede ser debido a que son protocolos más específicos para muestrear en ciertas zonas o recursos en particular, en donde los colectores en su mayoría son usados para la recolección de bivalvos y las bombas de succión para especies infaunales, de la misma manera la observación por cámara es común en lugares donde se dificulta la identificación y conteo de los especímenes (Tabla 8).

Tabla 8. Protocolos de muestreo utilizados para invertebrados bentónicos y número de estudios que

registran para cada uno de estos.

Protocolo de muestreo	No. de estudios
Redes	50
Buceo	110
Bomba de Succión	3
Cuadrantes	56
Recolección-extracción directa	36
Marcaje y recaptura	6
Monitoreos desembarque	6
Observación directa	24
Transectos	53
Colectores	1
Compresores en tierra	1
Contenido estomacal	11
Core	15
Draga	25
Encuestas	4
Jaulas	2
Objetos de asentamiento	22
Observación por cámara	3
Palangre	4
Recolectores	9

7.1.5 Flora bentónica: ALGAS

7.1.5.1 Sistematización de la información

Las ocurrencias georreferenciadas de algas bentónicas contenidas en artículos científicos e informes técnicos sumaron 3.456 ocurrencias georreferenciadas. La búsqueda de referencias bibliográficas fue dirigida utilizando diversas palabras clave (en español e inglés), a nivel de: división, género y/o especies específico, e.g. Rhodophyta (división), *Gelidium*, *G. rex*, con el objetivo de disminuir el margen de error en la búsqueda, también se utilizaron términos técnicos como kelps o Brown algae. Finalmente, los datos de cada

artículo científico fueron incluidos en la tabla-matriz estandarizada en formato Darwin Core. El número total de registros georreferenciados resultantes de la revisión de informes técnicos (n=29) y bases de datos (GBIF n=288 ocurrencias e IFOP n=28.723 ocurrencias) fue de 29.011, además la recopilación de información en las bases de datos fue dirigida por grupo taxonómico. *i.e.* Chlorophyta (algas verdes), Rhodophyta (algas rojas) y Ochrophyta (algas pardas), asignando polígonos de distribución sobre la zona geográfica de interés (*i.e.* 18°S- 33°S y 12 millas náuticas). Esta búsqueda posteriormente fue filtrada y dirigida solo a registros de especies bentónicas, excluyendo taxa de microalgas, *e.g.* especies de los géneros: *Chaetoceros*, *Surirella*, *Apatococcus*, eliminándose cerca de 5 mil datos y >1.800 registros duplicados. Adicionalmente, con el objetivo de respaldar la información sobre el nombre y distribución continental de las especies de algas bentónicas se consultó Algabase: Listing The World’s Algae.

7.1.5.2 Estudios por año

El número total de estudios revisados incluyeron registros georreferenciados de un total de 102 especies de algas bentónicas (artículos científicos=116, informes técnicos=29, Bases de datos=12). La distribución temporal de estos fue heterogénea a través del tiempo, sin embargo, se observó una clara tendencia al aumento a partir del año 2001. El año con más estudios efectivos (*i.e.* con georreferencias) fue el 2007 (n=13 con 1.758 ocurrencias), seguido de 2018 (n=11 con 5.357 ocurrencias), los estudios asociados a estos años agrupan el 22 % de los datos (*i.e.* 7.115). Los estudios de los años 2007 y 2018 incluyen 16 especies de algas bentónicas, entre las cuales los taxa con mayor número de puntos georreferenciados fueron: *Lessonia spicata* (n=985, año 2007) y *Macrocystis pyrifera* (n=1.897, año 2018). Los estudios del año 2007 solo tienen asociados 5 especies de algas bentónicas, es decir que los estudios de este año (2007) concentran pocos modelos biológicos (*i.e.* especies), mientras que el año 2018, el número de especies estudiadas fue 15.

Por otra parte, la menor frecuencia de estudios con registros georreferenciados se distribuyó entre los años 1980 y 1995, el número de ocurrencias entre esos años fue de 471 y la especie más estudiada en ese rango de tiempo fue *L. spicata* (*ex L. nigrescens*) con 110 ocurrencias, seguida de *Durvillaea antarctica* con 32 ocurrencias, en el mismo rango de tiempo.

Con respecto al número de especies registradas en los estudios revisados entre 1980 y

2020, se encontró un total de 102 especies, distribuido de la siguiente manera: Chlorophyta con 10 spp., Rhodophyta con 64 spp. y 22 especies de la división Ochrophyta. Por otra parte, el número de ordenes estudiados, los años 2006 y 2008 registraron el mayor número de ordenes estudiados (n=18 cada año), seguidos de los años 2011 y 2019 con 17 y 18 ordenes, respectivamente (Fig. 20). Estos años se caracterizan por tener asociados estudios que consideraron más de un nivel taxonómico, y por lo tanto más de una especie.

En general, el orden Laminariales concentra el mayor número de trabajos con 136 (76.8 %), seguido muy por debajo del orden Gigartinales (n=27 estudios, 336 ocurrencias) y el orden Corallinales (n=16, 110 ocurrencias). Opuesto a lo anterior, los ordenes menos frecuentes corresponden a Ralfsiales, Gracilariales y Erythropeltidales, los cuales fueron reportados en un solo estudio para los años 2006, 2019 y 2020, respectivamente.

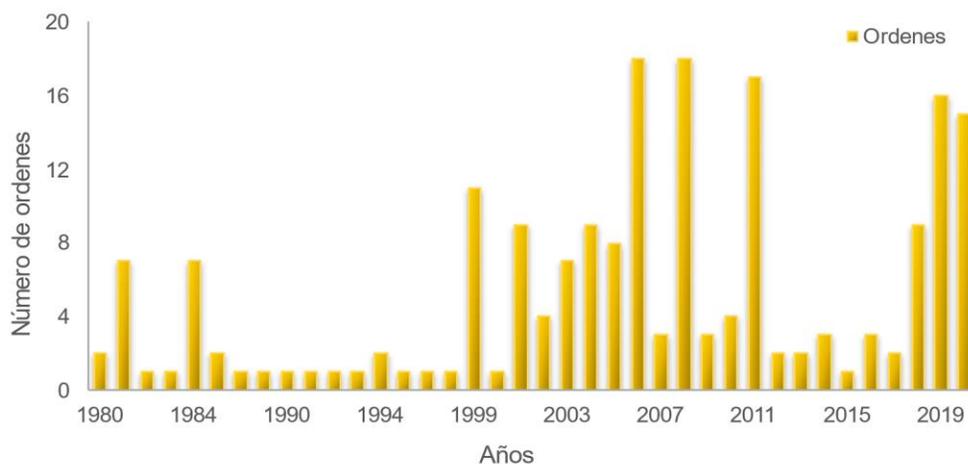


Figura 20. Número de ordenes de algas bentónicas reportados según el año de publicación.

7.1.4.3 Ocurrencias por región administrativa

Los registros georreferenciados de algas bentónicas se desglosaron de la siguiente manera por grupo taxonómico: Chlorophyta=171, Rhodophyta=744 y Ochrophyta=30.048, siendo las especies de algas café las que concentran el mayor número de registros. La distribución espacial de las ocurrencias de especies por región administrativa en orden decreciente fue: Valparaíso (n=20.923)> Atacama (n=4.845)>Coquimbo (n=2.916)> Tarapacá (n=1.946)> Antofagasta (n=309)> Arica y Parinacota (n=309). La Figura 21 indica la densidad de la distribución espacial de los puntos georreferenciados, observándose que la más alta densidad puntos está asociada a la región de Valparaíso, seguida por las regiones de Coquimbo y Tarapacá (Fig. 21).

A nivel de género

El total de ocurrencias registradas a nivel de género fue de $n=1.488$, las cuales en su mayoría estuvieron asociadas a la región de Coquimbo con 592 y Valparaíso con 576 ocurrencias, mientras que las regiones con menor número de ocurrencias a nivel de género fueron Tarapacá y Arica y Parinacota con 15 y 4 ocurrencias respectivamente (Fig.22). En términos generales, el género con el mayor número de registros fue *Lessonia* ($n=650$ ocurrencias), mientras que, a nivel regional, los géneros con mayor número de ocurrencias en la región de Coquimbo fueron: *Gelidium* ($n=399$ ocurrencias) y *Lessonia* ($n=145$ ocurrencias). Por otra parte, los géneros menos representados en términos de ocurrencias fueron: *Spongites* ($n=6$) y *Gracilaria* ($n=1$), mientras que los géneros en las regiones administrativas con menos registros de ocurrencias fueron: *Pseudolithophyllum*, *Lithothamnion*, *Hydrolithon*, en Tarapacá, y *Lessonia* en Arica y Parinacota (Fig. 22).

A nivel de especie

El número total de ocurrencias a nivel de especie fue de 30.963, los cuales agruparon un total de 102 especies, siendo la división Rhodophyta la que concentró el mayor número de especies ($n=65$), seguido de Ochrophyta ($n=22$) y Chlorophyta ($n=15$). En cuanto a la densidad espacial de las ocurrencias a nivel de especies, esta estuvo asociada a la región de Valparaíso con 20.923 registros, seguida de las regiones de Atacama y Coquimbo, con 4.845 y 2.916 registros de ocurrencias, respectivamente (Fig. 23). Mientras que la región de Arica y Parinacota fue la región con el menor número de ocurrencias de algas bentónicas ($n=17$). Con respecto a la riqueza de especies en la región de Valparaíso, la cual concentró el mayor número de ocurrencias, fue de 59 especies, el número de especies por división fue el siguiente: Chlorophyta con 7, siendo *Ulva rigida* la especie más frecuente (30 ocurrencias); Rhodophyta con 39 especies, *Mazzaella laminarioides* la especie más representada de la división (84 ocurrencias); y Ochrophyta con 13 especies, de las cuales *Lessonia spicata* fue la especie con mayor número de ocurrencias georreferenciadas, 11.643 (Fig. 23). Cabe mencionar que la mayoría de los registros de esta especie proviene de los informes técnicos y datos otorgados por programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas del IFOP.

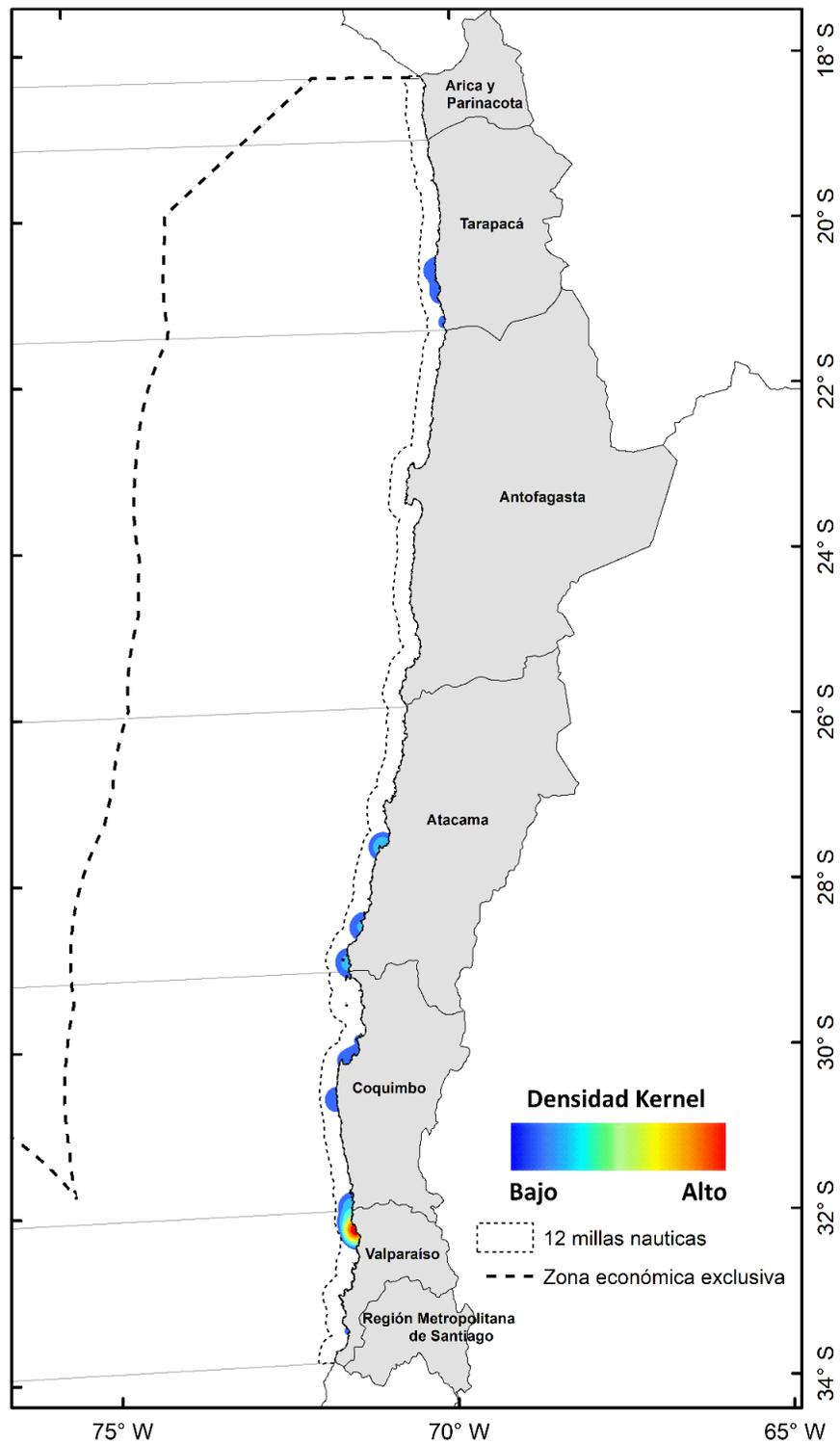


Figura 21. Distribución espacial de la densidad de puntos de ocurrencias de algas bentónicas a través de las regiones administrativas

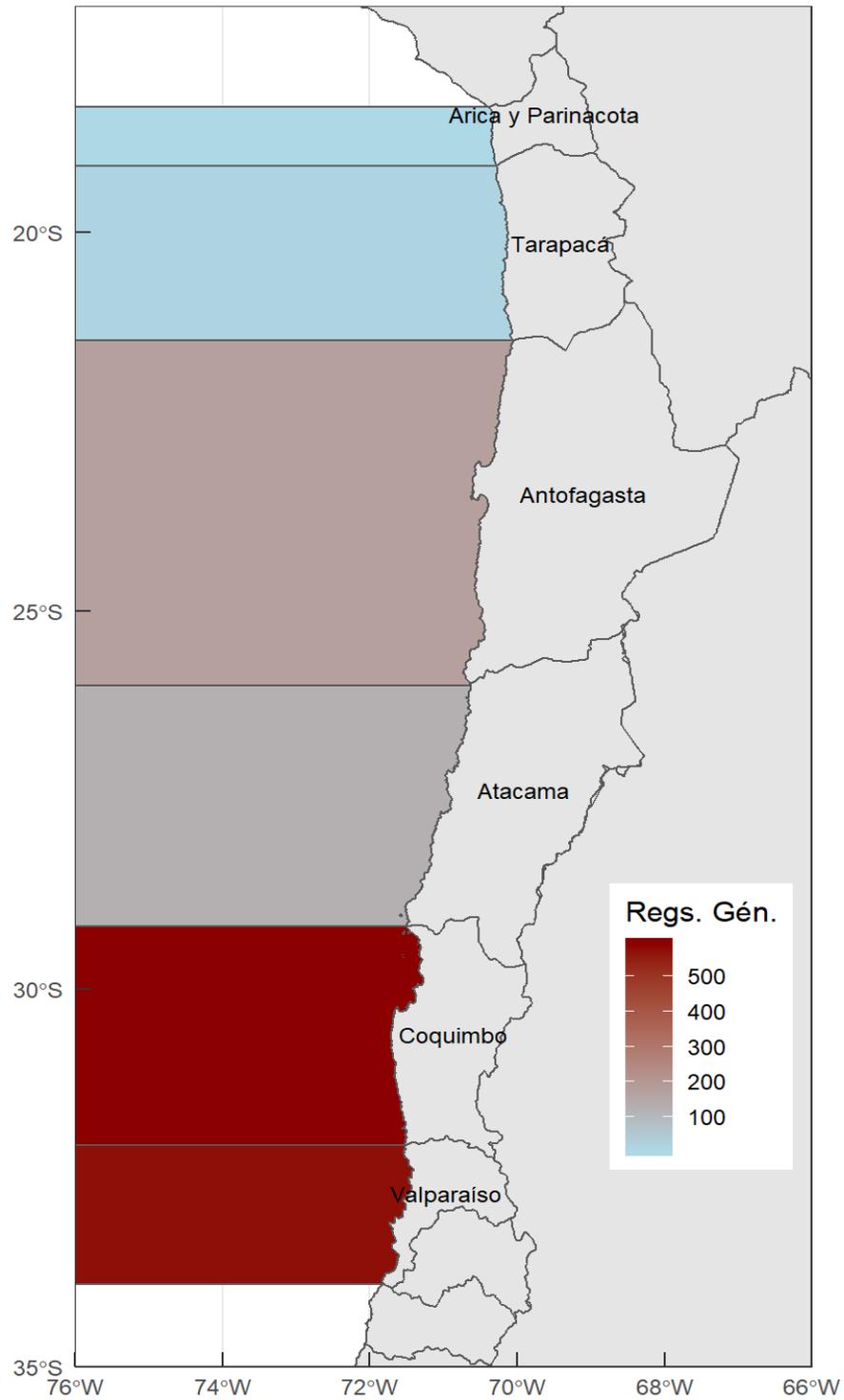


Figura 22. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de género para algas bentónicas.

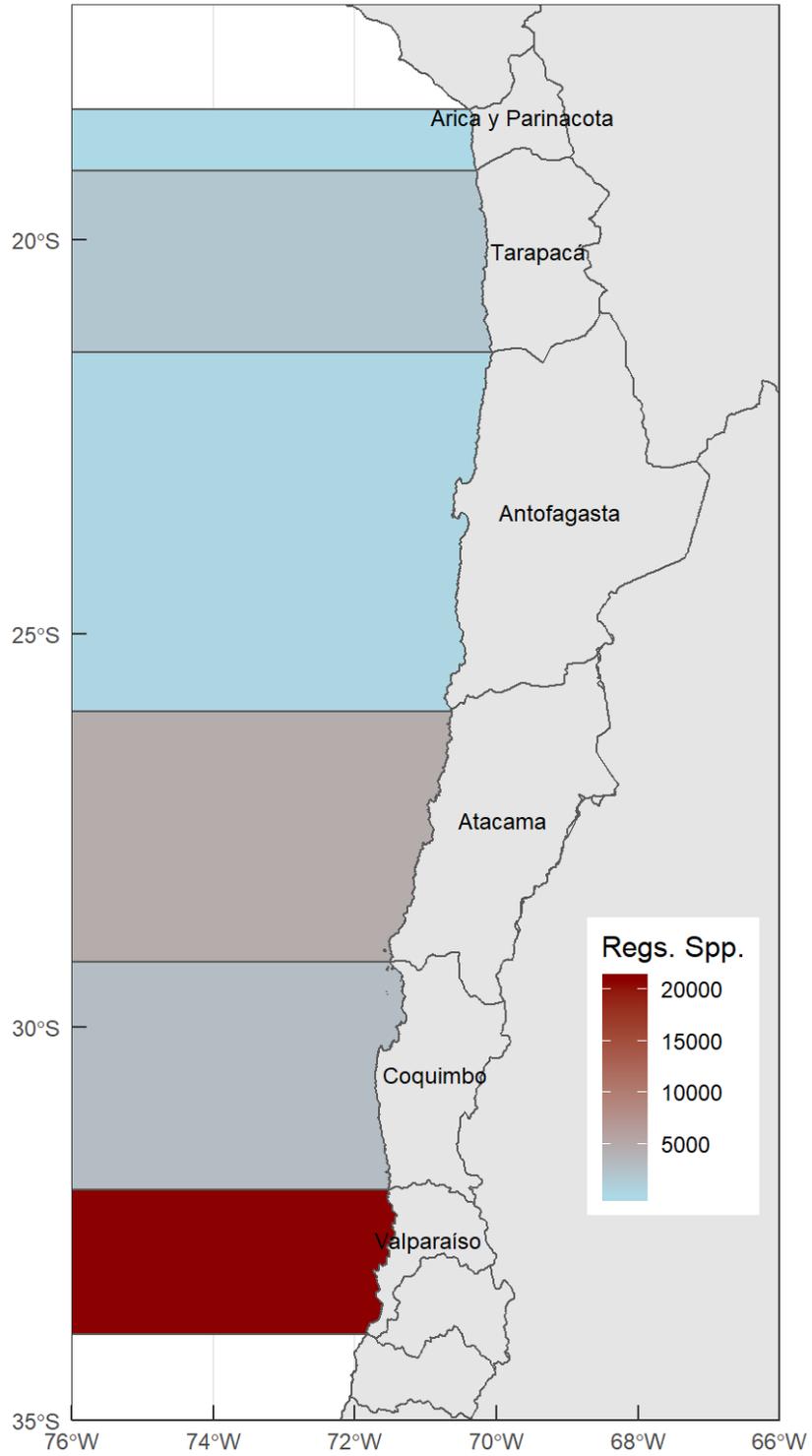


Figura 23. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de especie

7.1.5.4 Diversidad taxonómica de algas marinas

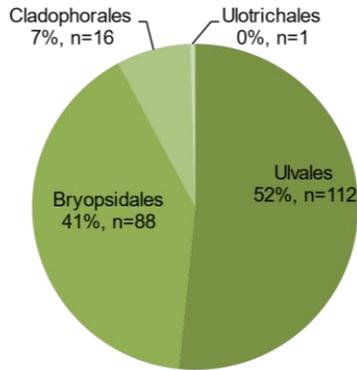
La diversidad taxonómica de las 102 especies de algas bentónicas entre los 18 y 33°S contempló representantes de las tres divisiones de algas, *i.e.* Chlorophyta (algas verdes), Rhodophyta (algas rojas) y Ochrophyta (algas pardas). La diversidad de especies de algas se distribuyó en 6 clases: Bryopsidophyceae y Ulvophyceae (Chlorophyta), Bangiophyceae, Compsopogonophyceae y Florideophyceae (Rhodophyta) y solo una clase de algas pardas Phaeophyceae.

Por otra parte, el número de ordenes registrados fue de 28, en donde los ordenes más representativos en términos de ocurrencia fueron: 93,7 % orden Laminariales (n=30.436 ocurrencias), Gelidiales 1,81 % (n=587) y Gigartinales 1,03 % (n=336). Adicionalmente, 25 de los 28 ordenes registrados, representan un 3,41 % de las ocurrencias. Dentro de los 25 ordenes con menor cantidad de ocurrencias, 14 fueron los ordenes con una representatividad menor al 0,1 %, conformando el 0,03 % (n=119 ocurrencias) de las ocurrencias totales (Fig. 24).

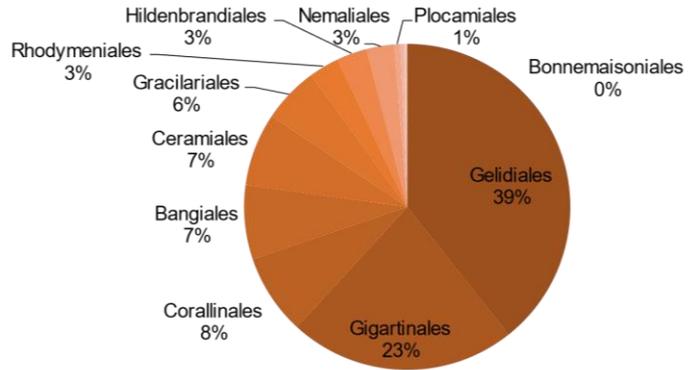
Los 2 ordenes que concentran el 94 % de las ocurrencias, *i.e.* Laminariales y Gelidiales, no corresponden a los ordenes con el mayor número de especies. Particularmente los ordenes Laminariales y Gelidiales solo tienen 3 y 4 especies, respectivamente, mientras que los ordenes Gigartinales y Ceramiales, ambas algas rojas, tienen 19 y 20 especies, siendo los ordenes con la mayor riqueza de especies, no obstante no los ordenes con mayor número de ocurrencias (Tabla 9).

Con respecto al orden con más ocurrencias, *i.e.* Laminariales, concentra su riqueza en 4 especies: *Lessonia spicata* (12.285), *Lessonia trabeculata* (8.960), *Macrocystis pyrifera* (4.888), y *Lessonia berteroana* (3.653). Luego le sigue el orden Gigartinales (algas rojas) con 330 ocurrencias, las especies más representativas fueron: *Mazzaella laminarioides* (105) y *Chondracanthus chamissoi* (82) (Tabla 9).

a) Chlorophyta



b) Rhodophyta



c) Ochrophyta

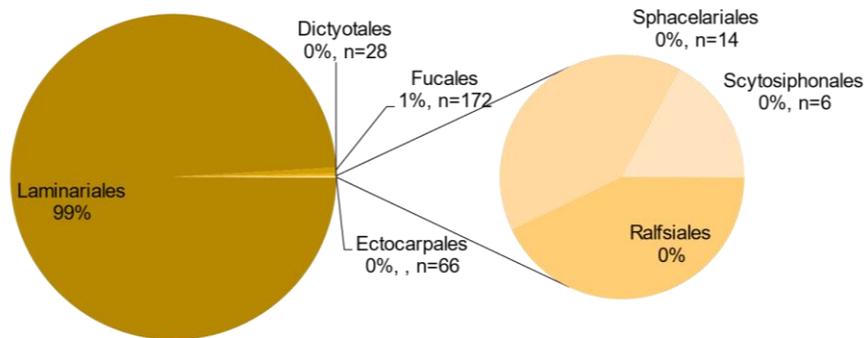


Figura 24. Porcentaje de ocurrencias georreferenciadas asociadas a órdenes de las tres divisiones principales de algas bentónicas: a) Chlorophyta, b) Rhodophyta y c) Ochrophyta registrados en la literatura.

Tabla 9. Número de especies de algas bentónicas por cada orden. Se indican los ordenes para cada división de algas bentónicas y el número de ocurrencias asociadas a cada orden.

Orden	Número de especies	Número de ocurrencias
Chlorophyta		
Bryopsidales	3	88
Cladophorales	3	16
Ulotrichales	1	1
Ulvales	7	112
Rhodophyta		
Bangiales	7	110
Bonnemaisoniales	1	5
Ceramiales	20	108
Corallinales	2	119
Erythropeltales	1	1
Erythropeltidales	1	1
Gelidiales	4	587
Gigartinales	19	336
Gracilariales	1	83
Halymeniales	1	3
Hapalidiales	1	18
Hildenbrandiales	1	45
Nemaliales	3	41
Plocamiales	1	9
Rhodymeniales	3	45
Ochrophyta		
Laminariales	3	30.436
Fucales	1	172
Dictyotales	2	66
Ectocarpales	12	28
Ralfsiales	1	15
Sphacelariales	1	14
Scytosiphonales	1	6

7.1.5.5 Riqueza de especies

La riqueza de especies varió entre 12 y 59 especies a través de todas las regiones administrativas, siendo las regiones de Coquimbo y Valparaíso las con mayor riqueza de especies, cada una con 59 (Fig. 25), seguidas de Atacama (n=44), Antofagasta (n=35), Tarapacá (n=30), y Arica y Parinacota con el menor número de especies (n=12) (Fig. 25).

Si observamos la distribución espacial de las especies por banda latitudinal, la mayor riqueza de especies estuvo asociada a los 29°S (Fig. 26a), región de Coquimbo (n= 52 especies). La especie con el mayor número de puntos de ocurrencias en este lugar fue el alga parda *L. berteroana* (n=395 ocurrencias). Esta especie mostró una amplia distribución espacial-geográfica, puesto que, según los registros de ocurrencias, esta especie se distribuye a través de toda el área de estudio, *i.e.* entre los 18 hasta los 34°S (Fig. 26b). Por otro lado, la latitud que presentó menor número de especies fue la latitud 25, con 3 especies: *L. berteroana*, *Codium bernabei* y *L. trabeculata*.

Las especies de algas con mayor número de ocurrencias, *i.e.* con >100 registros, fueron: *L. trabeculata*, *L. berteroana*, *M. pyrifer*, *L. spicata* y *D. antarctica*, todas algas pardas y cuya distribución espacial, y ocurrencia, se ubicó a través de toda el área de estudio, es decir, entre los 18° y 33°S; excepto *L. spicata* cuya distribución natural es a partir de los 29°S (Fig. 26b). Estos datos podrían dar cuenta del sesgo en investigación asociados a determinados grupos taxonómicos con interés económico y pesquero.

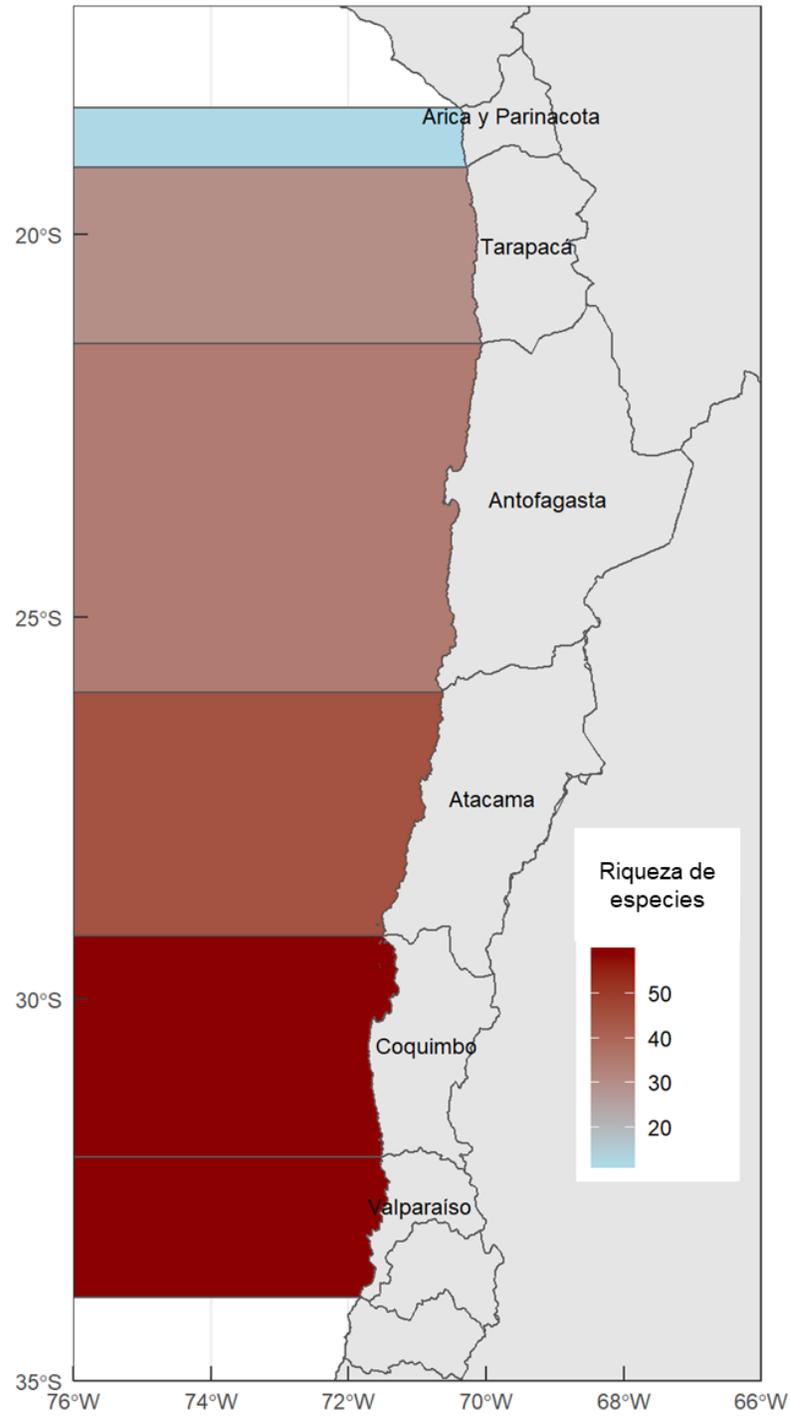


Figura 25. Distribución geográfica de la riqueza de algas bentónicas por región administrativa.

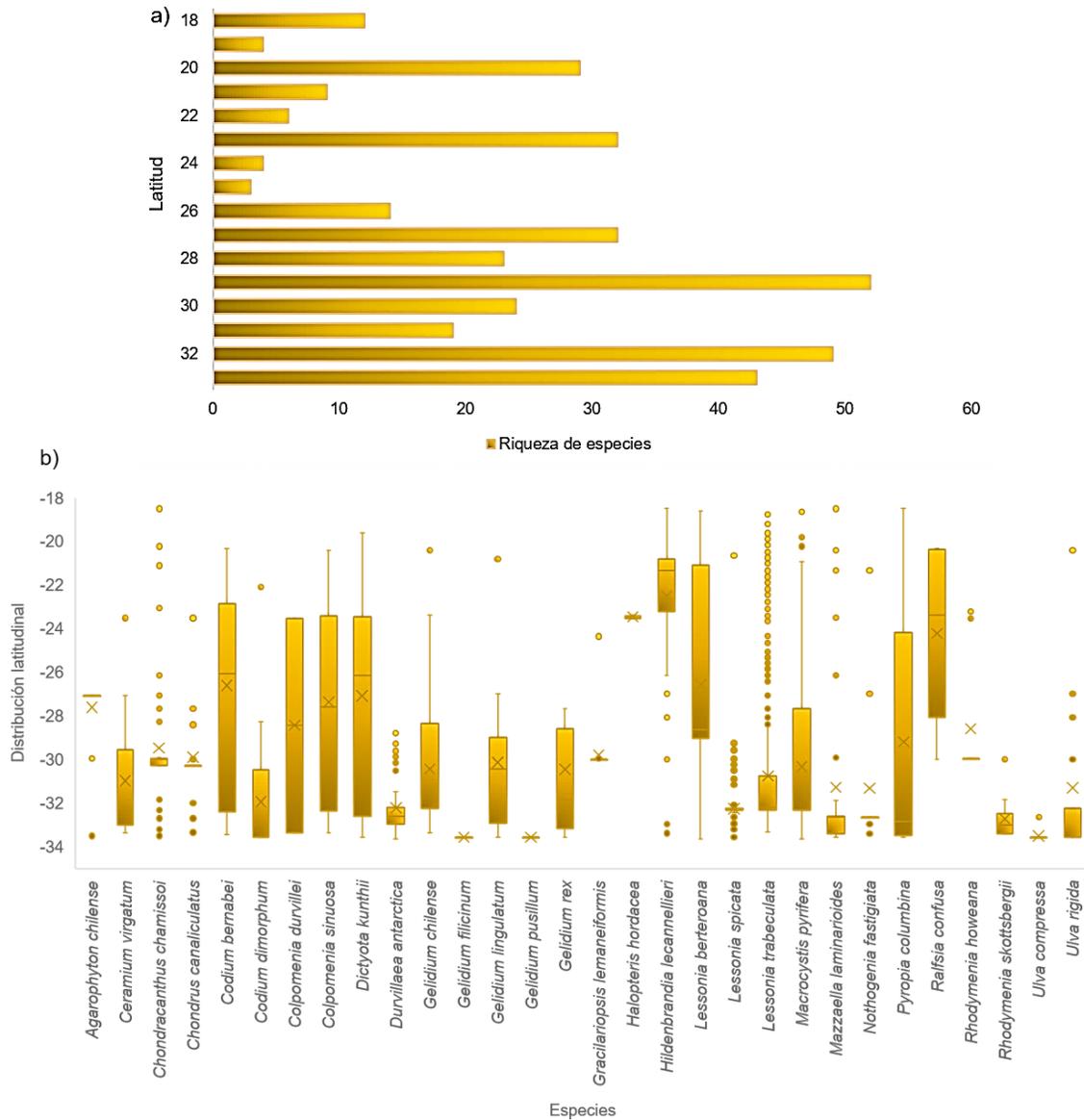


Figura 26. Distribución de la riqueza de especies de algas bentónicas. a) Muestra el número de especies por banda latitudinal. b) indica la distribución espacial de las 30 especies con mayor número de ocurrencias registradas en la zona norte y centro de Chile. *Boxplot incluye la mediana (línea central), los cuartiles superior e inferior (box limits), el rango intercuartil (bigotes) y valores anómalos (outliers) representados por puntos color amarillo.

7.1.5.6 Curvas de rarefacción

Según los resultados sobre la riqueza de especies por unidad muestral, (*i.e.* por referencia bibliográfica revisada), se observa que la tendencia de las curvas de rarefacción es a alcanzar la asíntota (*i.e.* el punto máximo de especies por unidad muestral). No obstante, se observan diferencias entre las regiones administrativas con respecto al número de unidades muestrales y por lo tanto en el número de especies estudiados en estos (Fig. 27), lo cual indica que se requiere de un mayor registro de especies para comparar la riqueza entre sitios.

Las referencias bibliográficas incluidas en este informe incluyen 177 estudios que contemplaron al menos una especie de alga bentónica, sin embargo, no todas las regiones administrativas concentraron el mismo número de estudios, ni las mismas especies. La Figura 27 muestra el número de especies por región administrativa, y se observa que la región de Arica y Parinacota es la región menos muestreada, es decir, con menor esfuerzo de muestreo, y una riqueza de especies de 12, mientras que la región administrativa con mayor número de especies ($n=59$), y mayor número de unidades muestrales, fue Valparaíso.

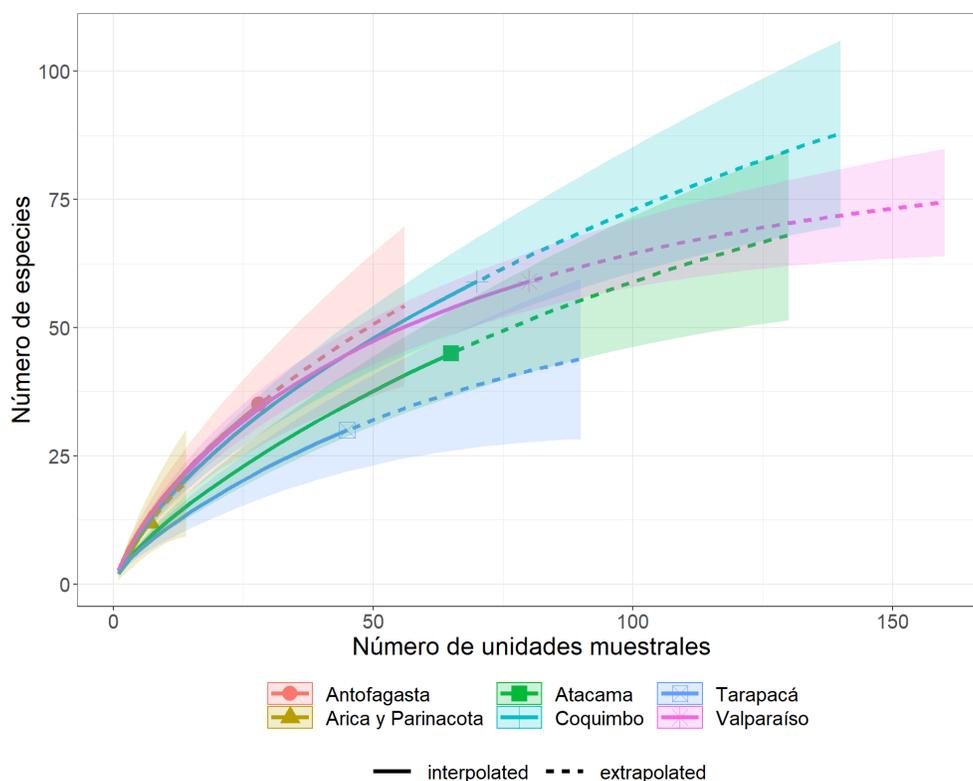


Figura 27. Curva de rarefacción-extrapolación de algas basada en la literatura revisada como

muestras por región. La línea continua indica interpolación, la línea punteada extrapolación y el sombreado muestra el intervalo de confianza del 95 % para cada región.

7.1.5.7 Enfoques abordados

Para el estudio de la flora bentónica se han registrado 21 temáticas en la bibliografía revisada. De estas, el enfoque más frecuente fue pesquería con 44 estudios (28.8 %), seguido por estudios que abordaron temáticas sobre Biodiversidad y conservación (n=29; 16,4 %), en donde, gran parte de los estudios que abordan este tipo de temáticas fueron informes técnicos.

Con respecto a los artículos científicos y a la investigación desarrollada en estos, la mayoría de los enfoques fueron sobre: ecología (n=24), dinámica poblacional (n=6), biología reproductiva (n=24), y ecofisiología (n=11) (Tabla 10); agrupando estas categorías más del 50 % de los enfoques encontrados, lo cual da cuenta de la variabilidad en el tipo de investigación realizada en los artículos científicos.

Tabla 10. Proporción de los enfoques reportados en estudios de algas bentónicas

Enfoques	Número de estudios
Biogeografía	1
Dinámica poblacional	5
Ecofisiología	11
Ecología	24
Ecología. Historia de vida	1
Fenología reproductiva	5
Filogenética	3
Filogeografía	12
Genética poblacional	5
Manejo	3
Molecular	2
Pesquería	44
Pesquería y Manejo	5
Reproducción	13
Reproducción. Dinámica poblacional	1
Reproducción. Historia de vida	5
Reproducción	1
Taxonomía	4
Variación temporal	1
Ecología. Pesquería	2
Biodiversidad. Conservación	29
Total estudios	177

7.1.5.7 Protocolos de muestreo

En general los protocolos de muestreo utilizados en algas son bastante transversales a los tres principales grupos de algas en cuanto a su naturaleza, *i.e.* cuadrantes, transectos, observándose diferencias en el tamaño del cuadrante o extensión del transecto dependiendo del grupo o género de especies de algas.

Los protocolos de muestreo más frecuentes en los trabajos revisados fueron: varado (n=18.215 registros), buceo (n=9.683), cuadrante (n=1.449), barroteo (n=439) (este tipo de muestreo fue reportado y califica en informes técnicos), e individuos al azar (n=439) generalmente asociado a estudios de genética poblacional, filogeografía o taxonómico y finalmente transectos (n=156) (Tabla 11). Cabe mencionar que 1.700 registros de ocurrencias no tuvieron protocolo de muestreo informado.

Tabla 11. Tipos de protocolos de muestreo abordados en los estudios revisados para especies de algas bentónicas.

Tipo de protocolo de muestreo	Número de estudios	Número Registros
Barroteado	2	809
Buceo	19	9.683
Cuadrante	42	1.449
Individuos	142	439
Transecto	14	156
Varado	16	18.215

7.1.6 Especies ícticas

7.1.6.1 Sistematización de la información.

En la recopilación de la información íctica se revisaron diversas fuentes digitales, con un total de 6.405 ocurrencias registradas en 145 trabajos, de los cuales, 113 son artículos científicos y 32 corresponden a informes técnicos (informes técnicos, tesis de grado, seminarios de investigación y anuarios estadísticos). Por otro lado, desde las bases de datos se obtuvieron 516 ocurrencias que corresponden a los registros descargados desde OBIS, obteniendo así un total de 6.921 registros para la zona norte y centro de Chile. Cabe destacar que para las especies ícticas no se obtuvieron registros desde la base de datos de IFOP.

En la clasificación de los registros se han reportado 280 especies, pertenecientes a 216 géneros, 120 familias, 35 ordenes, 4 clases y 1 phylum; estos registros fueron validados corroborando su información taxonómica en World Register of Marine Species (WoRMS) y actualizando la nomenclatura de los nombres científicos.

7.1.6.2. Estudios por año

La base de datos incluye registros que abarcan desde el año 1962 al 2020 (Fig. 28), en donde el año con mayor número de registros al nivel de orden fue 2020 con 26 ordenes, seguido de los años 2004 y 2009 con 18 ordenes cada uno, representados principalmente por los Gadiformes (326 ocurrencias) y los Perciformes (246 ocurrencias). Seguidas por las publicaciones del año 2002 con 16 ordenes, los cuales estuvieron representados en su mayoría por los Perciformes (55 ocurrencias), los Carcharhiniformes y los Squaliformes con 42 ocurrencias cada orden. Por otro lado, los años 1962, 1984, 1985, 1992, 1994, 1995 y 1996 registraron 1 solo orden cada uno.

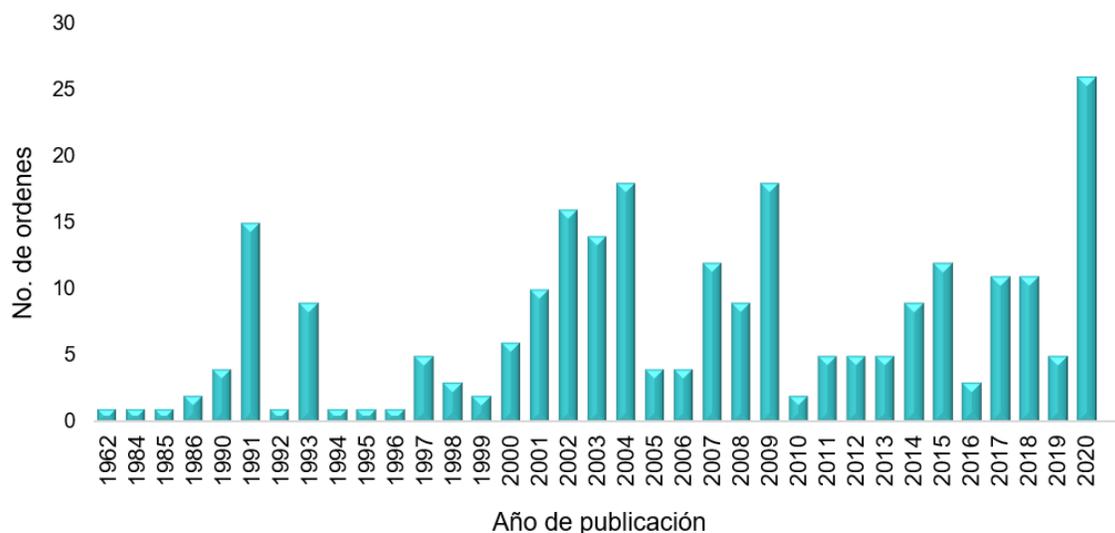


Figura 28. Número de ordenes de especie ícticas registrados según el año de publicación.

7.1.6.3. Ocurrencias por región administrativa

El total de ocurrencias para las especies ícticas fue de 6.921 incluyendo todos los registros a todos los niveles taxonómicos. Sin embargo, cuando se observa la distribución de las ocurrencias totales se puede observar que hay lugares que concentran mayores registros en la distribución espacial de las especies ícticas, es el caso de las localidades El Quisco, las Cruces, el Tabo y Montemar, presentes en la región de Valparaíso, en las cuales las especies con mayor ocurrencia son *Merluccius gayi* y *Hippoglossina macrops*. Además, la

Región Antofagasta también presenta una alta concentración de registros principalmente en las localidades de la península de Mejillones que muestran una mayor densidad de ocurrencias en lugares específicos principalmente hacia la costa, pertenecientes en su mayoría a las especies *M. gayi* y *Coelorhynchus Aconcagua* (Fig. 29).

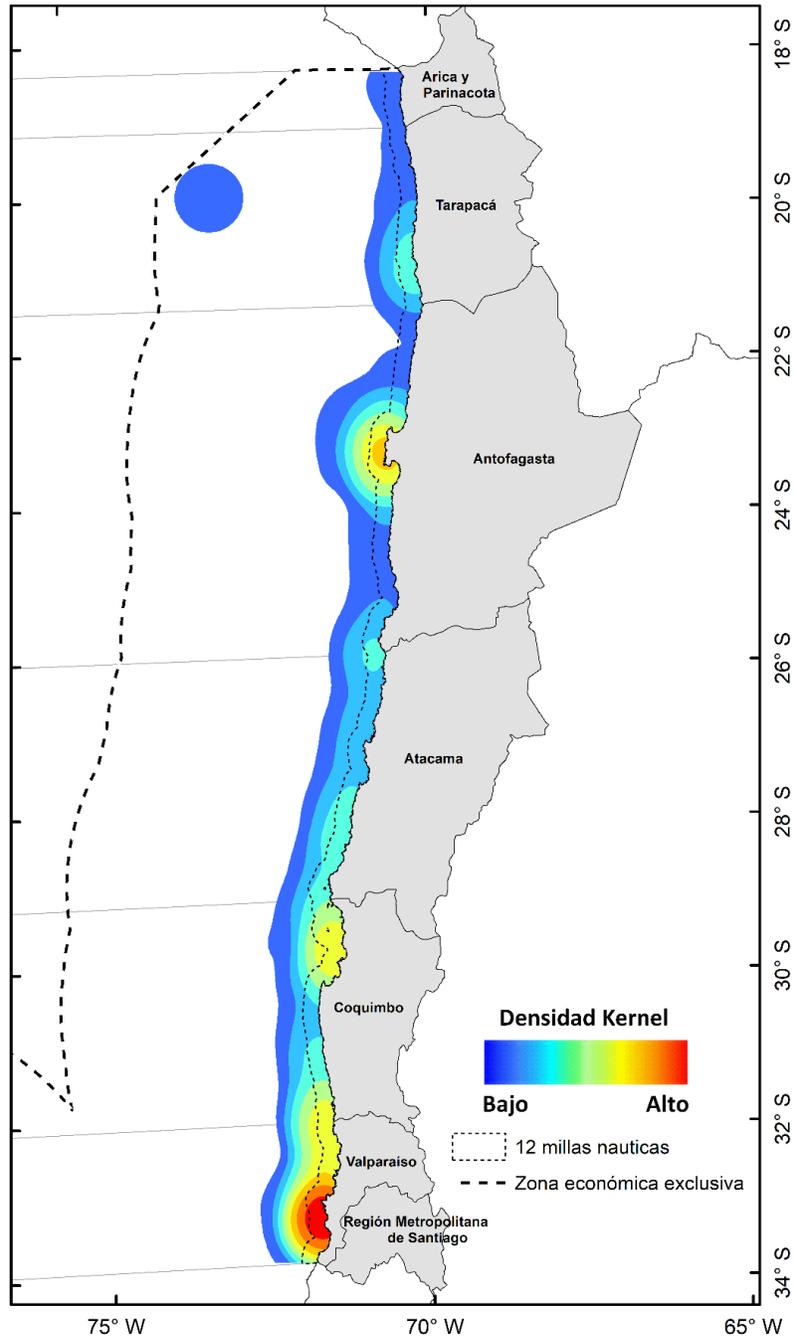


Figura 29. Mapa de densidad de Kernel que muestra la distribución geográfica de ocurrencias acumuladas para especies ícticas.

A nivel de familia

El número de registros georreferenciados que llegan hasta el nivel de familia fue de 61 ocurrencias, donde la región de Tarapacá concentró el mayor número de registros a este nivel taxonómico (37 ocurrencias), seguida de la región de Antofagasta y Valparaíso con 9 ocurrencias cada una. En tanto, Arica y Parinacota y Atacama no presentaron registros a nivel de familia (Fig. 30).

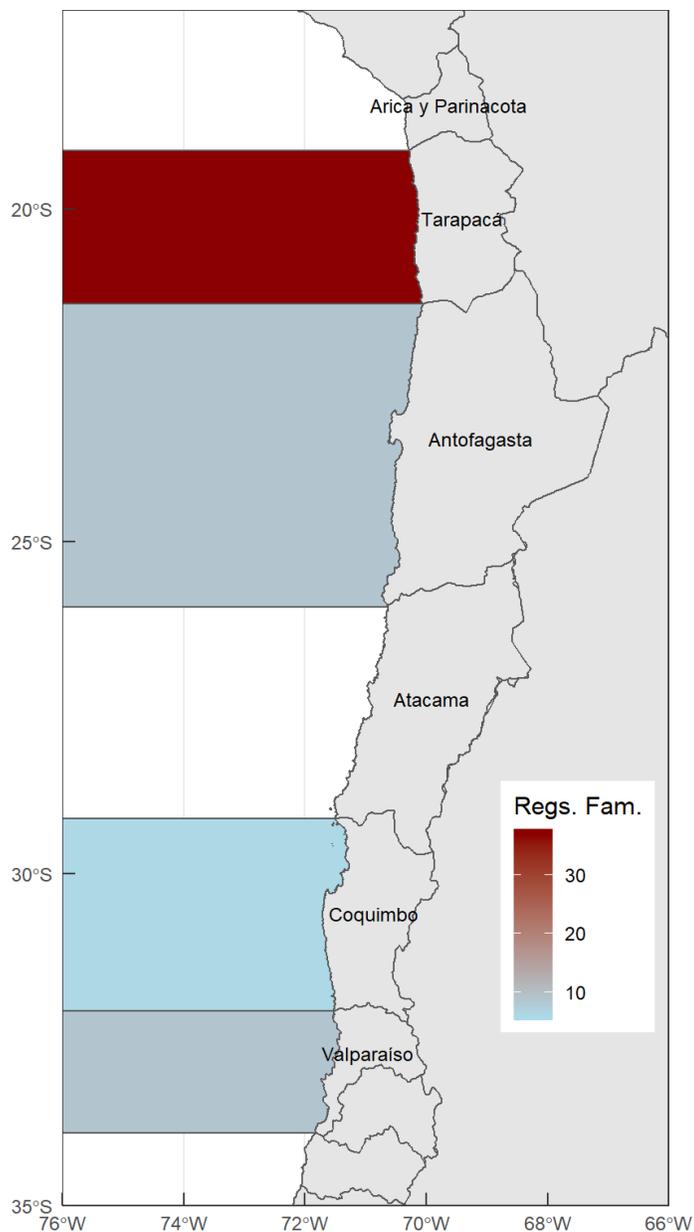


Figura 30. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de familia para especies ícticas.

A nivel de género

El número de ocurrencias georreferenciadas que tenían registro solo a nivel de género fue de 459 ocurrencias, de los cuales el mayor número de registros correspondientes a esta jerarquía taxonómica se encuentran en las regiones de Antofagasta (153 ocurrencias) y Valparaíso (128 ocurrencias), seguido por la región de Coquimbo con 94 ocurrencias asociadas, mientras que en la región de Arica y Parinacota no hubo registros a este nivel taxonómico (Fig. 31).

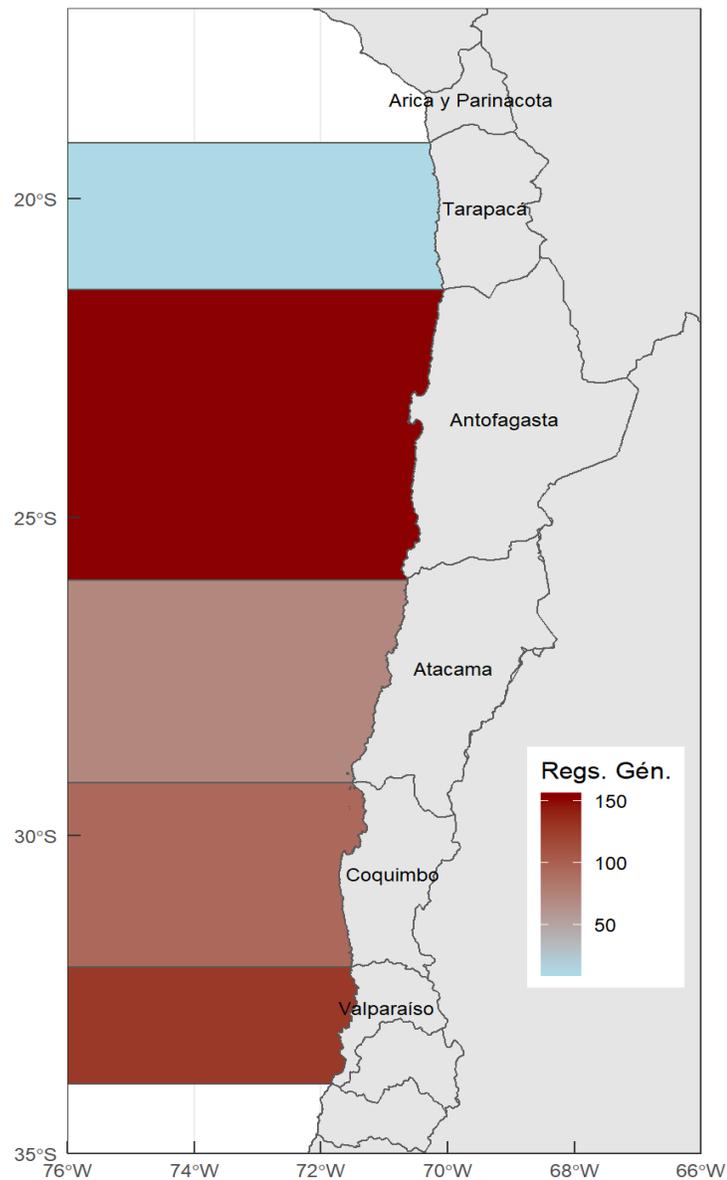


Figura 31. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de género para especies ícticas.

A nivel de especies

Se obtuvo un total de 6.401 ocurrencias georreferenciadas para 280 especies de peces, de los cuales el mayor número de registros correspondientes a esta jerarquía taxonómica se encuentran en las regiones de Valparaíso con 1.932 ocurrencias y Coquimbo con 1.544, seguido por la Antofagasta con 1.371 ocurrencias registradas hasta este nivel taxonómico. Por otro lado, la región de Arica y Parinacota presentó el menor número de ocurrencias con tan solo 59 ocurrencias del total de registros. Estas ocurrencias son el resultado del proceso de depuración de los datos, es decir, eliminación de registros duplicados, registros en áreas terrestres o con georreferenciación errónea (Fig. 32).

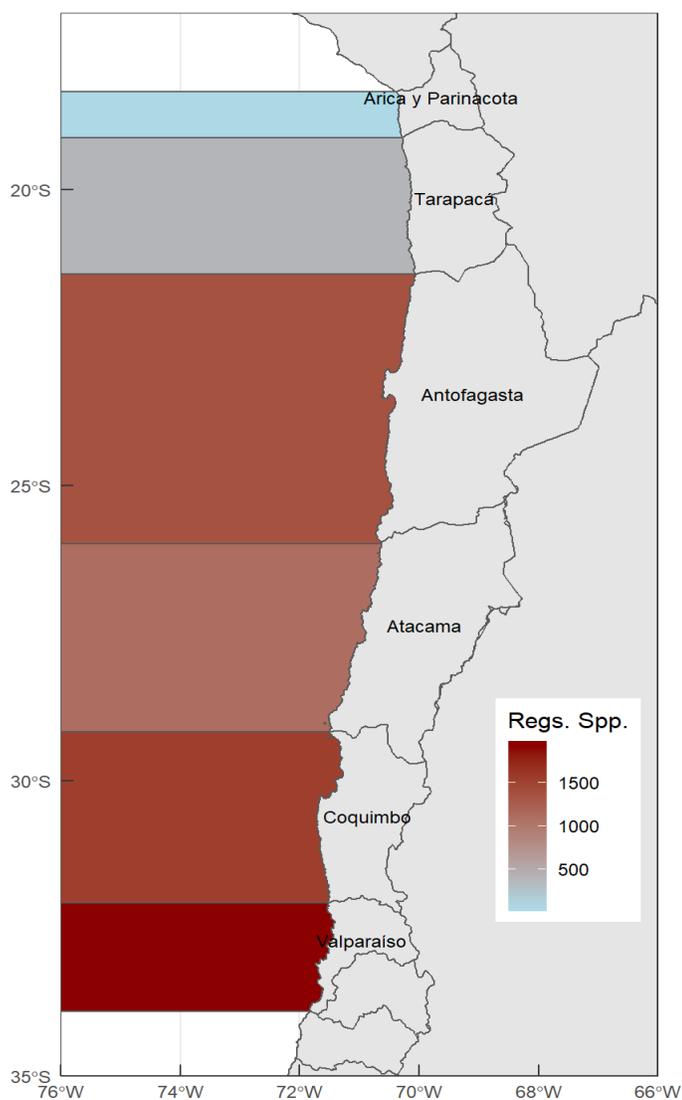


Figura 32. Distribución geográfica de ocurrencias acumuladas por región, a nivel de especie para especies ícticas.

7.1.6.4. Diversidad taxonómica de peces

Dentro de las ocurrencias registradas para los peces, se registraron 4 clases correspondientes a Actinopterygii, Elasmobranchii, Myxini y Holocephali con representación de 35 ordenes taxonómicos. La clase que presenta el mayor número de ordenes es Actinopterygii con 25 ordenes y el 88 % de las ocurrencias totales registradas para peces, siguiendo en importancia la clase Elasmobranchii con 8 ordenes y 11 % de los registros. Finalmente las clases Myxini y Holocephali incluyen 1 orden cada una representando solo un 0,9 % y 0,1 % de las ocurrencias, respectivamente. Por otro lado, a nivel de orden el 26 % de las ocurrencias totales se clasifican dentro del orden Perciformes, seguido por los Gadiformes que representan 24 % de las ocurrencias y los Pleuronectiformes que incluyen el 11 % de los registros. Finalmente, los ordenes Gobiesociformes, Beryciformes, Stomiiformes y Myxiniformes representan sólo el 1 % de las ocurrencias, mientras que en los otros 21 ordenes se evidenciaron proporciones menores al 1 % (Fig. 33).

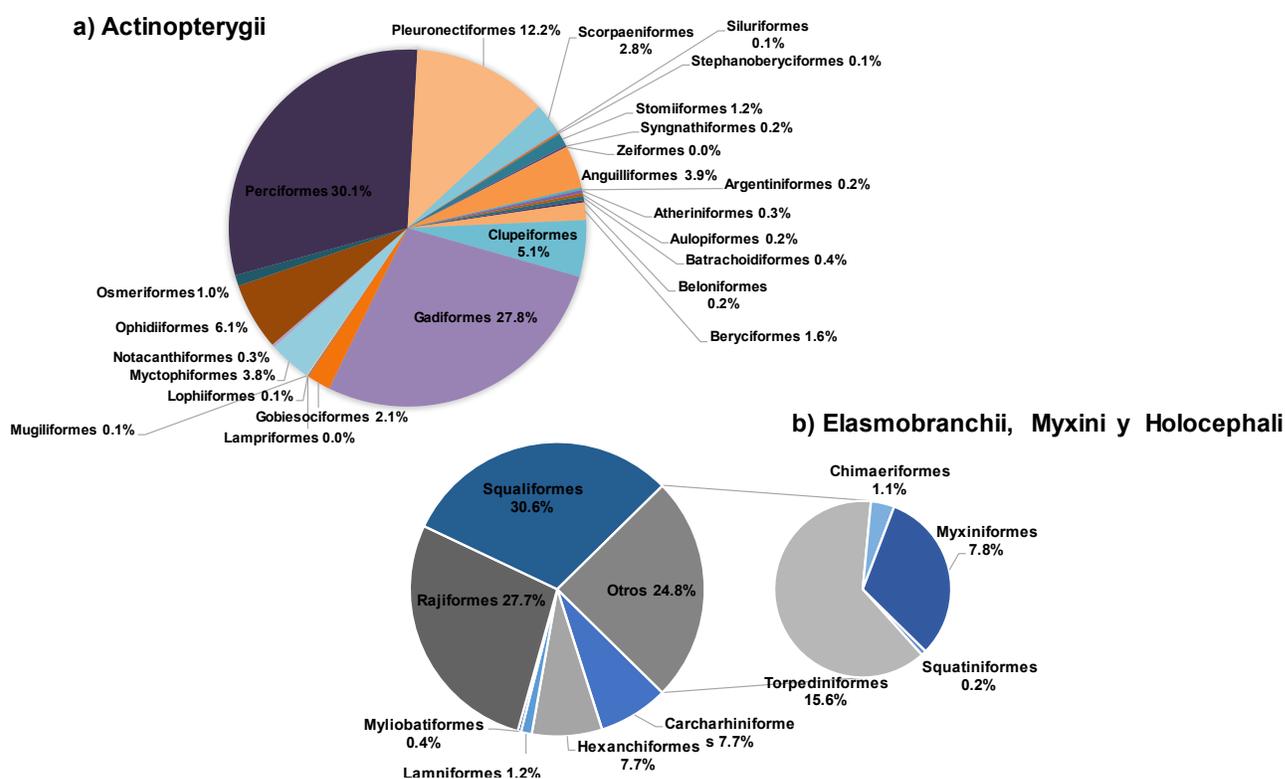


Figura 33. Porcentaje de ocurrencias georeferenciadas de los ordenes de peces registrados en la literatura para las 4 clases de peces a) Actinopterygii, b) Elasmobranchii, Myxini y Holocephali.

Del total de taxa, 6.401 registros corresponden a entidades identificadas a nivel de especie lo que corresponde a un 92 % del total de ocurrencias registradas, mientras que 459

registros han sido identificados a nivel de género y 61 a nivel de familia. En términos numéricos, los Perciformes son el orden mejor representado en la base de datos en cuanto número de taxa, con 128 especies registradas (Tabla 12), seguido por los Myctophiformes con 61 especies. De la misma manera, en términos de número de registros totales es el orden Perciformes el que presenta mayor número con 1.832 ocurrencias, seguido por los Gadiformes con 1.691 ocurrencias. En cuanto al total de especies por ordenes, se puede observar que la mayor parte de las especies se concentran en unos pocos ordenes, en donde solo 9 ordenes (Perciformes, Gadiformes, Pleuronectiformes, Ophidiiformes, Clupeiformes, Squaliformes, Anguilliformes, Rajiformes y Myctophiformes) de los 35 registrados, representan el 61 % del total de las especies.

Tabla 12. Número de especies ícticas por cada orden reportado.

Orden	Número de especies
Anguilliformes	12
Argentiniformes	8
Atheriniformes	6
Aulopiformes	8
Batrachoidiformes	1
Beloniformes	5
Beryciformes	4
Carcharhiniformes	11
Chimaeriformes	4
Clupeiformes	9
Gadiformes	39
Gobiesociformes	6
Hexanchiformes	1
Lamniformes	2
Lampriformes	1
Lophiiformes	4
Mugiliformes	1
Myctophiformes	61
Myliobatiformes	2
Myxiniformes	1
Notacanthiformes	4
Ophidiiformes	19
Osmeriformes	18

Perciformes	128
Pleuronectiformes	18
Rajiformes	11
Scorpaeniformes	12
Siluriformes	1
Squaliformes	5
Squatiniiformes	2
Stephanoberyciformes	7
Stomiiformes	37
Syngnathiformes	5
Torpediniformes	2
Zeiformes	1

7.1.6.5. Riqueza de especies

La distribución de la riqueza de especies por región administrativa indicó que la mayor riqueza de especies estuvo concentrada en la región de Antofagasta con 163 especies, seguido por la región de Valparaíso con 140 especies, mientras que la localidad con menor riqueza es la región de Arica y Parinacota con 17 especies (Fig. 34). Los registros de especies para la región de Antofagasta corresponden en su mayoría a la localidad de Bahía de Mejillones, y las especies más representativas son *Merluccius gayi* (91) *Coelorinchus aconcagua* (77), *Engraulis ringens* (54). En la región de Valparaíso se registran especies principalmente en las localidades del Quisco, Las Cruces y Montemar, en esta región se evidencia un mayor número de ocurrencias de las especies *Merluccius gayi* (253), *Hippoglossina macrops* (216) y *Coelorinchus aconcagua* (99).

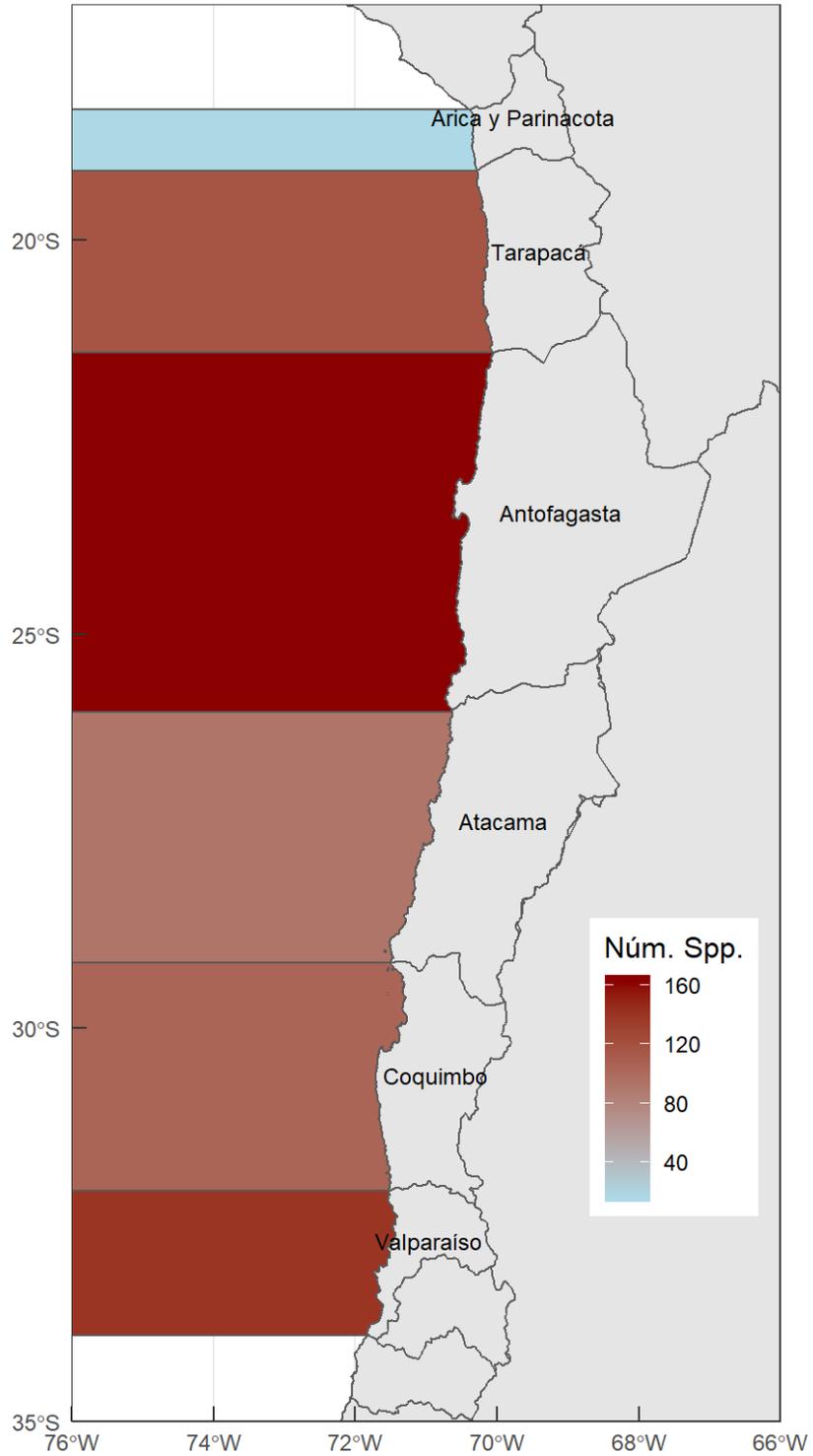


Figura 34. Distribución geográfica de la riqueza de peces por región administrativa.

En cuanto a la distribución de la riqueza a nivel latitudinal, la mayor riqueza de peces fue encontrada en la latitud 23° con una riqueza de 131 especies, y con 879 ocurrencias registradas, en donde las especies más representativas fueron *Paralabrax humeralis*, *Merluccius gayi* y *Engraulis ringens*, seguido de la latitud 33° con 113 especies y las latitudes 20° y 32° con 100 especies cada una. Por otro lado, las latitudes con menor riqueza fueron la latitud 18° y 19° con 16 y 17 especies, respectivamente (Fig. 35a), así mismo obtuvieron el menor número de ocurrencias, con 50 y 49 registros, respectivamente. Por otro lado, con respecto a la distribución latitudinal de las especies con mayor número de ocurrencias, se puede observar que en todas las latitudes (18° a 33°) hay registros para las especies seleccionadas. Sin embargo, hay un patrón espacial marcado para la mayoría de las especies en donde la mayor ocurrencia de especies está restringida a latitudes entre los 25° y los 32°, mientras que las especies *E. ringens* y *Sardinops sagax* se distribuyen principalmente hacia el norte con mayor representatividad entre las latitudes 20° y 28° S (Fig. 35b).

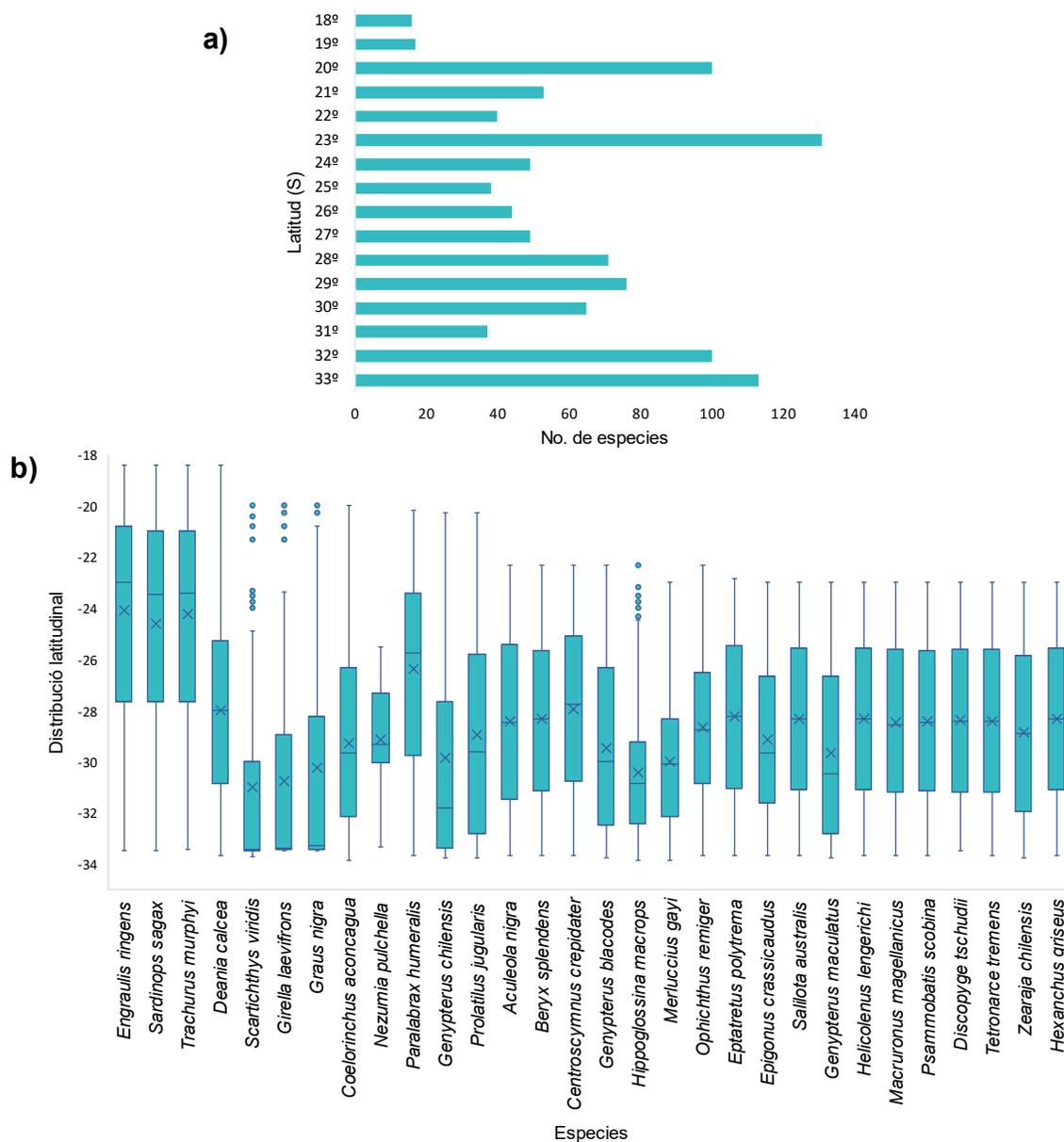


Figura 35. a) Riqueza de especies ícticas por latitud de la zona norte y centro de Chile. b) Distribución latitudinal de las 30 especies de peces con mayor número de ocurrencias de la zona norte y centro de Chile. *Boxplot incluye la mediana (línea central), los cuartiles superior e inferior (box limits), el rango intercuartil (bigotes) y valores anómalos (outliers) representados por puntos color azul.

7.1.6.6. Curvas de rarefacción

Considerando la riqueza de especies registradas para cada región, se puede observar que, aunque en ninguna de las regiones se ha logrado llegar a la asíntota, en las regiones de Antofagasta, Valparaíso y Coquimbo la curva de rarefacción muestra en su extrapolación una tendencia a alcanzar la asíntota en comparación con las muestras de las otras regiones,

esto debido a que dichas regiones presentan una mayor diversidad de especies y un mayor número de estudios realizados. Esto último indica que el esfuerzo de muestreo en la mayoría de las regiones de la zona norte y centro de Chile fue el adecuado para comparar la riqueza de especies entre sitios. Sin embargo, a pesar del gran esfuerzo de muestreo realizado aún falta información para la identificación de especies correspondientes a cada región (Fig. 36).

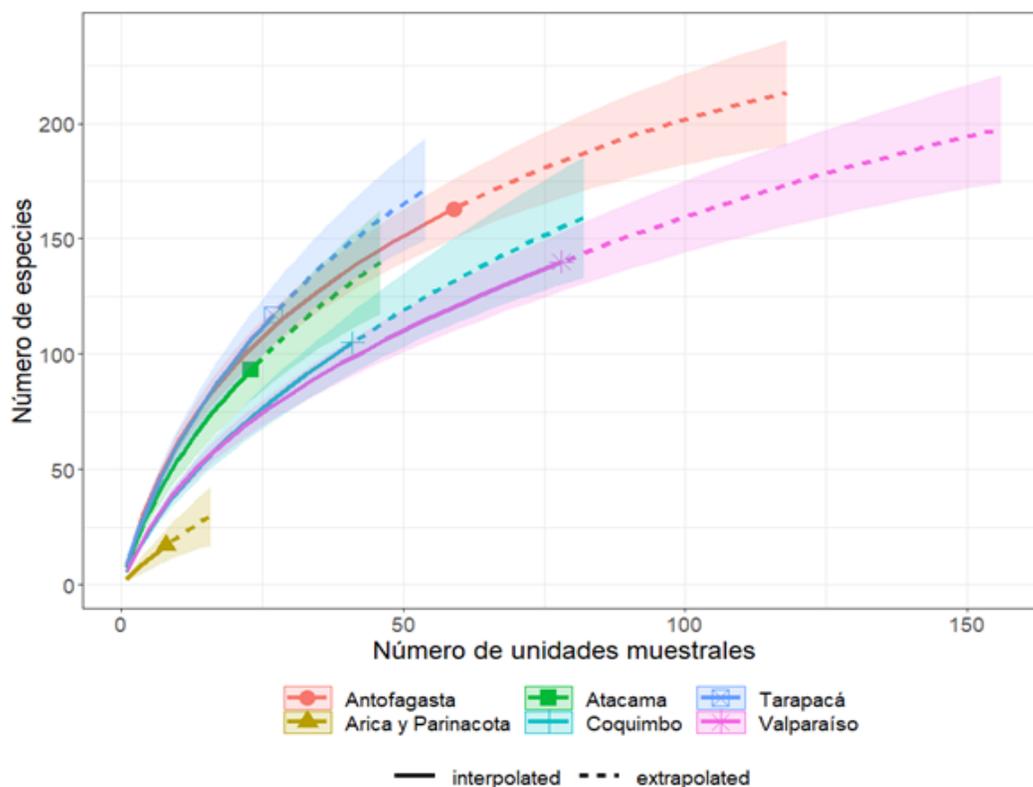


Figura 36. Curva de rarefacción-extrapolación de especies ícticas basada en la literatura revisada como muestras por región. La línea continua indica interpolación, la línea punteada extrapolación y el sombreado muestra el intervalo de confianza del 95 % para cada región.

7.1.6.7. Enfoques abordados

En cuanto a los enfoques considerados para el estudio de especies ícticas en la zona Norte y Centro de Chile, se han reportado 22 diferentes enfoques, de los cuales el enfoque principalmente abordado fue el de Parasitología, siendo incluido en 42 estudios distintos, representando la mayor parte de la literatura revisada, seguido de los estudios que se enfocaron en ecología trófica (18) y luego están las temáticas asociadas pesquería. En este análisis hay que considerar las diferencias que se generan de acuerdo con la fuente de información, ya que por ejemplo las ocurrencias descargadas de la plataforma OBIS que

no presentan en su mayoría fuentes bibliográficas fueron todas categorizadas dentro de un mismo enfoque (biogeografía oceánica), debido a que no es posible discernir un enfoque por cada entrada de registro. (Tabla 13).

Tabla 13. Enfoques reportados en la literatura revisada para especies ícticas y número de estudios asociados a estos.

Enfoques	No de estudios
Acuicultura	1
Análisis comunitarios	3
Biogeografía oceánica	12
Biología reproductiva	7
Conservación	9
Descripción comunitaria	1
Distribución espacial, abundancia	4
Descripción poblacional	1
Descripción taxonómica	2
Ecología de individuos	6
Ecología trófica	18
ENSO	2
Genético/molecular	2
Heterogeneidad ambiental	2
Impactos antropogénicos	1
Parasitología	42
Pesquería	17
Resiliencia e impactos antropogénicos	1
Servicios ambientales/valoración económica	1
Variabilidad fisiológica	3
Variación espacial/temporal en riqueza y abundancia	13
Zonación biogeográfica	1

7.1.6.8. Protocolos de muestreo

Por otro lado, en cuanto a los protocolos de muestreo, se han reportado 16 métodos en la información revisada, en donde el uso de redes es el método principalmente usado para el muestreo de la fauna íctica, reportándose en 71 trabajos, seguido a éste, los muestreos por medio de transectos se registraron en 23 estudios y los protocolos con menos registros son anzuelos, cañas de pescar, cuadrante, ganchos y encuestas (Tabla 14). Además, cabe mencionar que un importante número de datos no reportaban el protocolo de muestreo usado en la obtención de los registros, sobre todo aquellos obtenidos desde la base de datos OBIS, ya que, dentro de las entradas mínimas de la información disponible, no se encuentra este ítem. Además de esto, es importante considerar que en un mismo estudio se pueden haber reportado más de 1 método de muestreo.

Tabla 14. Protocolos de muestreo registrados para especies ícticas y número de estudios asociados a estos.

Protocolo de muestreo	No. de estudios
Redes	71
Transectos	23
Solución anestésica	21
Recolección directa	13
Buceo libre	7
Fotos/videos submarinos	5
Arpón	3
Espinel	3
Chinchorro	2
Censo visual	2
Palangre	2
Anzuelo	1
Caña de pescar	1
Encuestas	1
Cuadrantes	1
Gancho de punta roma	1

7.2 Categorización del estado de conservación: IUCN

Del total de especies registradas hasta la fecha, 190 especies figuran en alguna categoría de la IUCN: Red List of Threatened Species (Anexo VII). Las categorías para definir el estado de conservación según la IUCN se agrupan en 8 criterios:

1. Datos Insuficientes (DD, en inglés).
2. Preocupación Menor (LC, en inglés).
3. Casi Amenazado (NT, en inglés).
4. Vulnerable (VU, en inglés).
5. En Peligro (EN, en inglés).
6. En Peligro Crítico (CR, en inglés).
7. Extinto en Estado Silvestre (EW, en inglés).
8. Extinto (EX, en inglés).

Las especies que contaron con una clasificación de conservación según los criterios de la IUCN correspondieron a los phyla Cnidaria, Mollusca (fauna bentónica) y Chordata (ictiofauna), cabe mencionar que no se registró ninguna especie de algas bentónicas en el listado de especies de la IUCN.

El 89 % (n=10) de las especies de fauna bentónica se encontraron bajo la clasificación de Preocupación Menor; mientras que solo una especie (*Porites lobata*) se clasificó como casi Amenazada (Fig. 37). Cabe destacar que, dada la gran cantidad de especies de invertebrados, la búsqueda del estado de conservación estuvo enfocada en las especies de importancia comercial. Por otra parte, la mayoría de las especies que contaron con algún criterio de conservación fueron especies de ictiofauna (n= 180 especies), las cuales se distribuyeron dentro de 6 categorías de conservación: DD, LC, NT, VU, EN y CR. El mayor porcentaje de las especies está categorizado como Preocupación Menor (n=141), mientras que 27 especies como DD y solo el 6.6 % de las especies en las categorías NT (n=4), VU (n=1), EN (n=5) y CR (n=2) (Fig. 37).

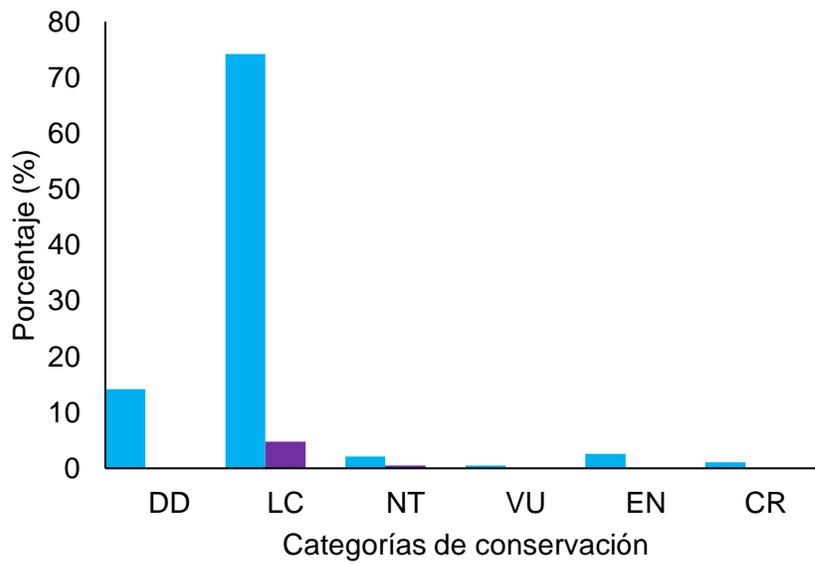


Figura 37. Porcentaje de especies de invertebrados y peces asociados a los diferentes criterios de conservación biológica de acuerdo con la IUCN.

7.3 Objetivo 5.2

Elaborar una base de datos actualizable en el tiempo, que contenga la información obtenida desde los registros bibliográficos de especies ícticas, la flora y fauna acuática evidenciada en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.

7.3.1 Base de datos de ocurrencias

La base de datos de ocurrencias se constituye de tres tablas: taxones, referencias y ocurrencias. Cada una de las cuales tiene su propia clave principal, que sirven de clave para generar la tabla final que contiene la información de ocurrencia, así como su taxón asociado y la referencia de donde proviene el registro (Fig. 38).

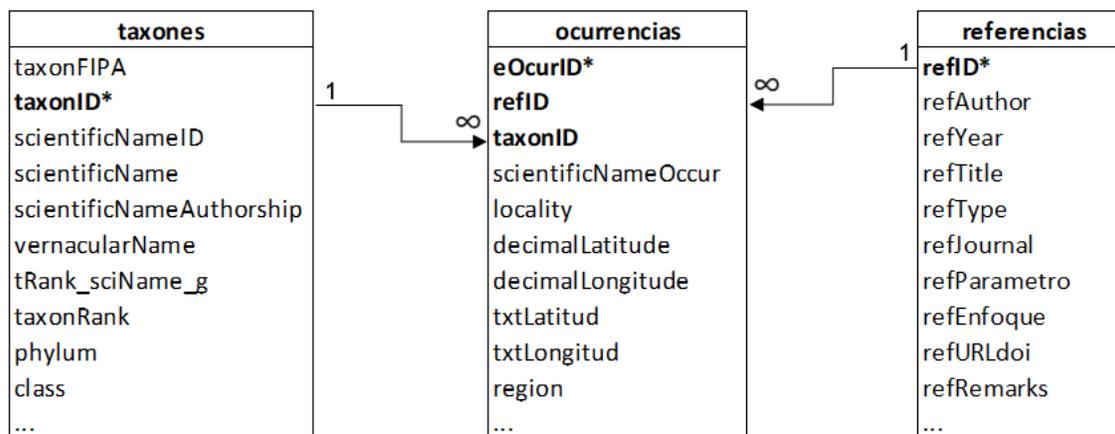


Figura 38: Esquema estructural de las tablas y relaciones mediante sus identificadores clave.

7.3.1.1 Diccionario de datos de la Base de datos de ocurrencias

Las siguientes tablas proporcionan una descripción de cada campo de la base de datos de ocurrencia (Tablas 15, 16 y 17). Los nombres de los campos fueron basados en los nombres estandarizados de Darwin Core, agregando luego algunos campos en español específicos para nuestros objetivos, pero sin utilizar tildes ni caracteres fuera del inglés (como la letra ñe). La descripción de las tablas incluye:

- **Nombre del campo:** nombre corto único
- **Tipo de dato:** String (cadena de caracteres), Integer (valor numérico entero), Double (valor numérico decimal), Boolean indica que el dato puede tomar valores de Verdadero o Falso, TRUE/FALSE.

- Clave:** Clave Primaria (CP) es una columna que identifica de forma unívoca los datos restantes de una fila en la tabla. Clave Foránea (CF) es una columna de la tabla que es una clave primaria en otra tabla; así, cualquier dato en una columna de clave foránea tiene datos asociados en la otra tabla donde esa columna es la clave primaria. NOT NULL (NN) significa que la columna debe tener un valor en cada fila. Si se utiliza NULL, esa columna se puede dejar vacía en una fila determinada. Auto indica que es un valor que se generará de forma automática en la misma tabla o en el procesado posterior.

Tabla 15: Diccionario de datos para la tabla taxones.

Nombre de la tabla:	taxones		
Descripción:	Esta tabla contiene toda la información referida a un taxón en particular. *El campo "taxonID" corresponde a una clave única que permite relacionar los taxones con la tabla ocurrencias.		
Campo	Tipo	Clave	Descripción
taxonFIPA	String	NN	Grupo de importancia: algas, peces o invertebrados
taxonID*	Integer	CP / NN	Identificador del taxón obtenido de WORMS
scientificNameID	String	Auto / NN	Concatena "urn:lsid:marinespecies.org:taxname:" y el taxonID
scientificName	String	NN	Nombre científico del taxón
scientificNameAuthorship	String	NN	Nombre del autor y año de publicación (separado por coma)
vernacularName	String	NULL	Nombre común o vernacular si está disponible
tRank_sciName_g	String	Auto	Concatena los campos taxonRank con scientificName
taxonRank	String	NN	Categoría taxonómica a la que pertenece el taxón
phylum	String	NULL	Phylum al que pertenece el taxón
class	String	NULL	Clase al que pertenece el taxón
subclass	String	NULL	Subclase al que pertenece el taxón
infraclass	String	NULL	Infraclase al que pertenece el taxón
order	String	NULL	Orden al que pertenece el taxón
infraorder	String	NULL	Infraorden al que pertenece el taxón
superfamily	String	NULL	Superfamilia al que pertenece el taxón
family	String	NULL	Familia al que pertenece el taxón
subfamily	String	NULL	Subfamilia al que pertenece el taxón
genus	String	NULL	Género al que pertenece el taxón
species	String	NULL	Especie (género y epíteto específico)
conservation	String	NULL	Clasificación que recibe de la UICN
importancia	String	NULL	Descripción de la importancia del taxón
impEcon	Boolean	NULL	TRUE / FALSE = con o sin importancia económica
habitatTaxon	String	NULL	Hábitat del taxón
pesca	Boolean	NULL	TRUE / FALSE = con o sin pesquería asociada
taxon_remarks	String	NULL	Comentarios u observaciones con respecto al taxón

Tabla 16: Diccionario de datos para la tabla referencias.

Nombre de la tabla:	referencias		
Descripción:	Esta tabla contiene toda la información referida a una fuente bibliográfica (referencia) en particular. *El campo "refID" corresponde a una clave única que permite relacionar las referencias con la tabla ocurrencias.		
Campo	Tipo	Clave	Descripción
refID*	String	CP	Identificador único de la fuente bibliográfica
refAuthor	String	NN	Autor o autores de la fuente bibliográfica
refYear	Integer	NN	Año de publicación
refTitle	String	NN	Título de la publicación
refType	String	NN	Tipo de publicación (e.g., artículo, tesis, informe, etc.)
refJournal	String	NN	Revista o entidad publicadora
refParametro	String	NN	Clasificación del tipo o nivel del estudio
refEnfoque	String	NN	Clasificación del enfoque del trabajo
refURLdoi	String	NULL	Dirección URL o DOI de la publicación
refRemarks	String	NULL	Comentarios u observaciones con respecto a la fuente
refFull	String	NULL	Referencia completa o concatenada de los campos anteriores

Tabla 17: Diccionario de datos para la tabla ocurrencias.

Nombre de la tabla:	ocurrencias		
Descripción:	Esta tabla contiene toda la información referida a la ocurrencia particular de un taxón, pudiendo ser contabilizado un solo individuo o un conjunto de ellos especificando la abundancia. Los campos "refID" y "taxonID" permite relacionar cada ocurrencia con su taxón y la referencia desde la cual se obtuvo la ocurrencia. *El campo "eOcurID" es la clave única de ocurrencias.		
Campo	Tipo	Clave	Descripción
eOcurID*	Integer	CP / Auto	Identificador de la ocurrencia, es generado automáticamente en R
refID	String	CF / NN	Identificador de la referencia bibliográfica, de la tabla "referencias"
taxonID	Integer	CF / NN	Identificador del taxón, de la tabla "taxones", obtenido de WORMS
scientificNameOccur	String	NN	Nombre que se utilizó para mencionar al taxón en la publicación
locality	String	NULL	Localidad del registro de la ocurrencia
decimalLatitude	Double	NN	Latitud en grados decimales
decimalLongitude	Double	NN	Longitud en grados decimales
txtLatitud	String	NULL	Latitud en el formato que fue publicada originalmente
txtLongitud	String	NULL	Longitud en el formato que fue publicada originalmente
region	String	Auto	Región política, es generada automáticamente en R
zona	String	Auto	Zona geográfica, es generada automáticamente en R
muestreoProtocolo	String	NULL	Protocolo de muestreo
muestreoUnidadTamMuest	String	NULL	Unidad de muestreo
muestreoEsfuerzo	String	NULL	Esfuerzo de muestreo

eventYear	Integer	NN	Año del muestreo, si no se sabe se utiliza año de la publicación
eventDate	String	NULL	Fecha de la ocurrencia
estadio	String	NULL	Estado de madurez o reproductivo
recolector	String	NULL	Recolector o registrador de la ocurrencia
habitat	String	NULL	Hábitat especificado en la publicación
profMin	String	NULL	Profundidad mínima
profMax	String	NULL	Profundidad máxima
ocurrAsociada	String	NULL	Ocurrencia asociada, taxón asociado al taxón principal
abundancia	String	NULL	Abundancia
abundanciaUnidad	String	NULL	Unidad de medida de la abundancia
basisOfRecord	String	NULL	Tipo de registro de ocurrencia según Darwin Core
occurrenceStatus	String	NN	En este caso, indicar siempre "present" siguiendo Darwin Core para registros de presencia
tamanoDescrip	String	NULL	Texto descriptivo del tamaño corporal
tamanoRango	String	NULL	Rango de tamaños
museoColeccion	String	NULL	Nombre o código del museo o colección biológica
paperObservations	String	NULL	Observaciones realizadas por los autores del trabajo
occurrenceRemarks	String	NULL	Comentarios u observaciones con respecto a la ocurrencia

7.3.1.2 Manual de usuario de la Base de datos de ocurrencias

A continuación, se presenta el protocolo para la incorporación de nuevos datos y actualización del contenido en archivo de ocurrencias (los nombres de los campos se indican en cursiva y tablas en negrita).

Procedimiento en Excel

1. El archivo Excel contendrá las tres tablas (**taxones**, **ocurrencias**, **referencias**) que deben ser llenadas acorde al diccionario de datos.
2. Siempre que se agregue un taxón nuevo este deberá ser incorporado a la tabla **taxones**, priorizando las categorías taxonómicas principales (*phylum*, *clase*, *orden*, *familia*, *genero*, *especie*). También es posible incorporar después los taxones nuevos, de esta forma no se pierde tiempo realizando una a una las tareas, sino que en bloque.
3. En la tabla de **referencias** el identificador *refID* puede contener una letra que identifique a quien registra la ocurrencia y un valor numérico incremental.
4. Al incorporar un nuevo registro de ocurrencia en la tabla **ocurrencias**, el identificador único (*eOcurID*) puede quedar vacío y será rellenado posteriormente mediante el código de R.
5. En la tabla **ocurrencias**, en caso de no contar con coordenadas en grados

decimales se puede dejar el campo en blanco para rellenar después mediante fórmulas, ingresando únicamente los campos *txtLatitud* y *txtLongitud*, convirtiendo posteriormente los valores a formato grados decimales en los campos *decimallatitud* y *decimallongitud*.

6. Los campos *region* y *zona*, pueden ser llenados a modo de referencia incorporando la información de la fuente original; sin embargo, esta será reemplazada luego por el cálculo automático de la región y zona a la cual pertenece utilizando la latitud como referencia.

Procedimiento en R / RStudio (código de R se describe más abajo)

7. Primero se procede a leer el archivo Excel, indicando el directorio de trabajo con la ruta completa (e.g., "C:/Dropbox/Rfolder/dbFIPA/")
8. Una vez cargada la tabla de **ocurrencias** se calculan los campos *Region* y *Zona*, reemplazando los campos *region* y *zona* de la tabla original. Si se quieren conservar dichos campos para hacer una comprobación posterior solo basta comentar con # las líneas *occ.All\$region <- NULL* y *occ.All\$zona <- NULL*
9. Posteriormente son leídas las tablas **taxones** y **referencias**. Las tres tablas son unidas mediante la sentencia INNER JOIN, la cual solo recoge los registros de datos del producto cruzado que cumplen la condición de selección, es decir, cada registro en la tabla de **ocurrencias** que tenga un identificador (*taxonID*) que esté registrado en la tabla **taxones** y un identificador de fuente bibliográfica (*refID*) que se encuentre registrado en la tabla **referencias**. Los detalles se pueden ver como comentarios dentro del código.
10. Los registros que no cumplan con la sentencia INNER JOIN, es decir, que no tengan asociado un *taxonID* válido por ejemplo serán evaluados mediante la sentencia ANTI JOIN y almacenados en un archivo Excel con prefijo “dat-occ_No-Match.xlsx”, en el directorio de trabajo.
11. Los campos de la tabla completa de registros de ocurrencia serán ordenados priorizando la información de identificación taxonómica y de localización, para finalizar con la información de la referencia y comentarios adicionales.
12. Luego se procede a almacenar la tabla en distintos formatos. Se guardan dos archivos de texto CSV (valores separados por comas), uno en formato inglés (sufijo -ENG) (punto como separador de decimales y coma como separador de valores) y otro en formato español inglés (sufijo -ESP) (coma como separador de decimales y

punto y coma para separar valores). Se guarda también un archivo Excel temporal, el cual es abierto nuevamente para incorporar anchos de columna que facilitan su revisión y almacenado con el prefijo “dat_occ_taxa_completo.xlsx”

13. Por último, hay un código extra que permite contar y revisar registros duplicados. Pero hay que tener presente que un duplicado no necesariamente es un error, pero puede ser importante revisar ese registro.

El código fuente (*script*), que permite la unificación de las tres tablas, la evaluación de congruencia entre los identificadores de taxones, así como los cálculos de pertenencia a cada región política y zona geográfica, se encuentra escrito en lenguaje de programación R y detallado con comentarios entre líneas en el Anexo VIII.

7.3.2 Base de datos geográfica

Todos los archivos shapefile, File geodatabase, KML y raster (*.tiff) se encuentran disponibles en el repositorio <https://zenodo.org/>. Para cada grupo se entrega un enlace de descarga con la información generada por el proyecto FIPA 2019-10 e incluye los polígonos de distribución (buffer, mínimo polígono convexos) y modelos de nicho ecológico para especies de interés económico (comercial y/o invasor). La información para invertebrados se encuentra disponible en <https://zenodo.org/record/4543869>. Para algas bentónicas en <https://zenodo.org/record/4543887> y fauna íctica en <https://zenodo.org/record/4543891>.

El diccionario con los términos y acrónimos utilizados en la base de datos geográfica se detallan en el Anexo IX. Por otra parte, la estructura de la información espacial (polígono de distribución) y predicciones geográficas de los modelos de nicho ecológico (raster) se encuentra estructura en seis carpetas y subcarpetas las cuales contienen los polígonos de distribución para cada especie en formatos KML, shapefile y File geodatabase, junto con los raster de los modelos de nicho y mapas con la predicción geográfica generada por los modelos (Fig. 39). La estructura y desarrollo de la geodatabase (Polígonos de distribución geográfica) se detalla en extenso en el Anexo X. Finalmente, se entregan consideraciones, alcances y modo de uso de la geodatabase en el manual de usuario en el Anexo XI. Estas recomendaciones y sugerencias permitirán una correcta y más fácil visualización de la información generada.

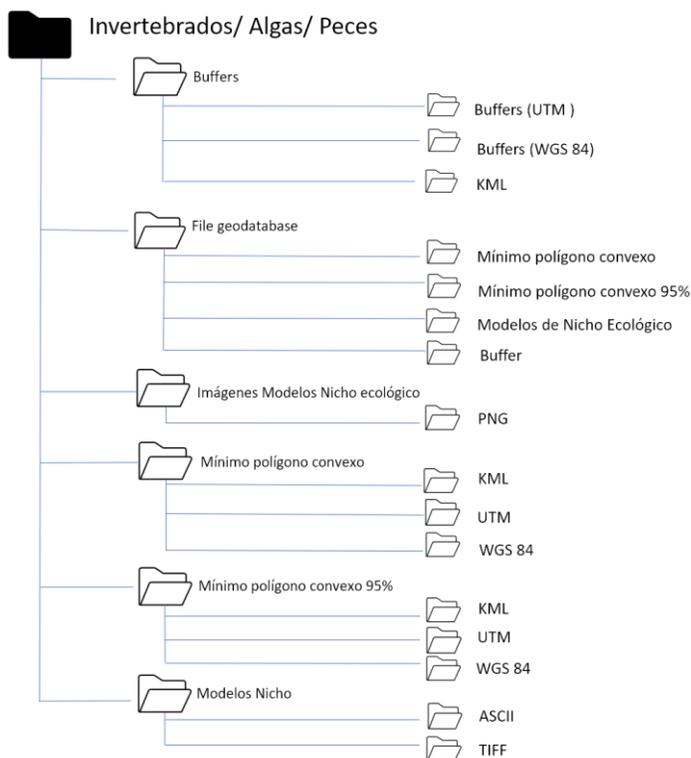


Figura 39. Estructura de los archivos de las distribuciones geográficas observadas y predichas de invertebrados, algas e invertebrados.

7.3.3 Predictores ambientales para modelos de distribución de especies

Se compiló un total de 38 capas oceanográficas, las cuales incluyeron batimetría, carbono inorgánico particulado, carbono orgánico particulado, fitoplancton, fosfato, materia suspendida total, nitrato, oxígeno disuelto, pH, productividad primaria, profundidad eufótica, radiación fotosintéticamente activa, salinidad, silicato, temperatura superficial entre otras (véase Anexo V). De estas variables se seleccionaron aquellas con un factor de inflación de varianza (VIF) menor a 10 (Tabla 18) y no encontrarse significativamente correlacionadas (Fig. 40).

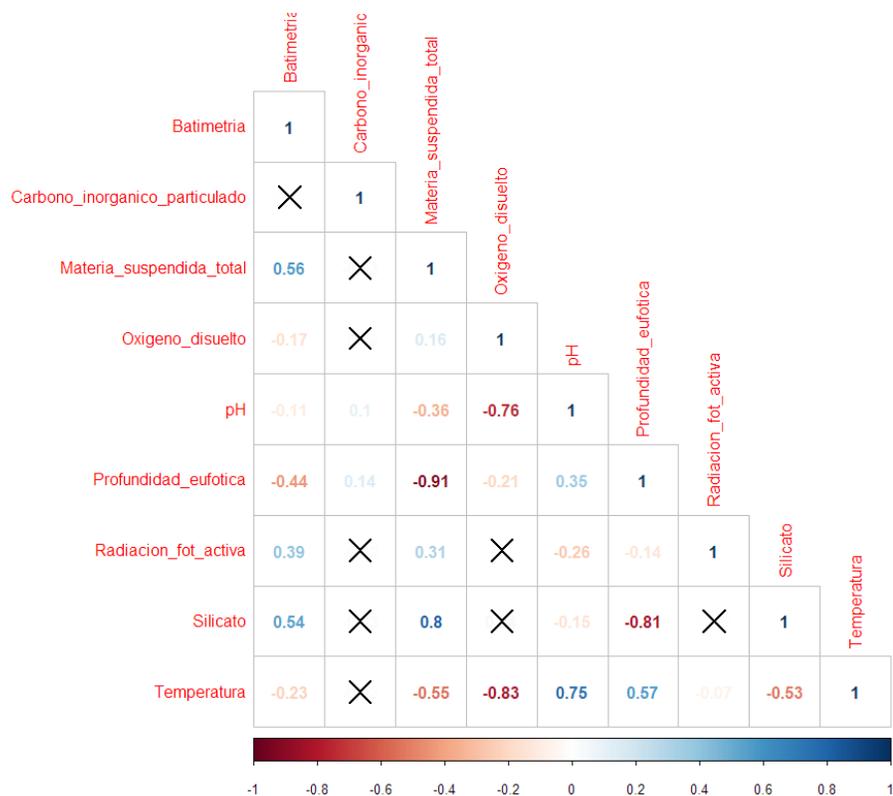


Figura 40. Matriz de correlación de Pearson de las variables ambientales seleccionadas para los modelos de distribución de especies.

Tabla 18 Factor de inflación de varianza (VIF) para variables utilizadas para modelación de distribución geográfica.

Variables	VIF
Batimetría	2.022
Carbono inorgánico particulado	1.109
Materia suspendida total	4.724
Oxígeno disuelto	2.938
pH	3.251
Profundidad zona eufótica	5.657
Radiación fotosintéticamente activa	1.668
Silicato	4.374
Temperatura	9.5

7.3.4 Distribución geográfica de especies: invertebrados

7.3.4.1 Método: mínimo polígono convexo (MPC) y criterio del polígono convexo al 95 %

La distribución de especies estimada a través del criterio del mínimo polígono convexo (MPC) se obtuvo para 783 especies dado que cumplían con el requisito de obtener tres registros como mínimo (Anexo XII). De manera similar, la distribución geográfica estimada por el criterio del polígono convexo al 95 % fue obtenida para 288 especies. El listado de especies con distribuciones geográficas se detalla en el Anexo XIII y los mapas digitales en formatos KML, Shapefile y File geodatabase se encuentran en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/record/4543869>). Estos archivos se encuentran proyectados en sistema UTM huso 19S. Adicionalmente, para cada archivo digital por especie se entrega la superficie calculada hectáreas cuadradas la cual representa la estimación de su rango geográfico.

Las superficies calculadas por el criterio del mínimo polígono convexo reveló que la menor superficie fue de 0,00001 Ha (*Calliotropis ceciliae*), superficie máxima de 41.148.800 Ha (*Pyura chilensis*) y superficie media de 1.953.051 Ha. Por otra parte, utilizando el criterio del polígono convexo al 95 % la superficie mínima fue de 441 Ha (*Bugula neritina*), superficie máxima de 22.992.900 Ha (*Mesodesma donacium*) y superficie media de 3.361.362 Ha.

7.3.4.2 Método: Buffer

Se obtuvieron 491 polígonos de distribución mediante la generación de un buffer circular de 100 km para 491 especies con menos de tres ocurrencias georreferenciadas. El listado de especies con distribuciones geográficas se detalla en el Anexo XIV y los mapas digitales en formatos KML, Shapefile y File geodatabase se encuentran disponibles en <https://zenodo.org/record/4543869>. Estos archivos se encuentran proyectados en sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19S. Para cada archivo digital por especie se entrega la superficie calculada hectáreas cuadradas la cual representa la estimación de su rango geográfico. La menor superficie calculada fue de 1.034.830 Ha (*Callichirus seilacheri*), máxima de 11.198.800 Ha (*Limnoria quadripunctata*) y superficie media de 2.972.061 Ha.

7.3.4.3 Método: modelos de nicho ecológico

Las distribuciones geográficas de invertebrados obtenidas por modelos de nicho ecológico permitieron obtener modelos para 63 especies de importancia económica (Anexo XV). Para especies con menos de 14 registros se realizaron las estimaciones con la técnica de ensamble de pequeños modelos, utilizando el algoritmo Random forest y modelos aditivos generalizados. Para especies con más de 15 registros los modelos se realizaron mediante el algoritmo Maxent. En todos los casos se obtuvo un alto rendimiento de los modelos, es decir alta capacidad predictiva ($AUC > 0,9$).

De manera general, los modelos revelaron una amplia distribución predicha para especies como *Athyonidium chilensis*, *Aulacomya atra*, *Fissurella latimarginata*, *Gari solida*, y *Glyptolithodes cristatipes* (Anexo XXIV, Figs. S5, S6, S26, S31 y S33). En situaciones particulares las estimaciones de los modelos pueden representar una sobre estimación de la distribución, como en el caso de *Mesodesma donacium*, la cual indicó un área de alta idoneidad de hábitat en una zona oceánica discreta. Igual situación ocurre con *Pyura chilensis* y *Thaisella chocolata* en la cual los modelos indican una distribución potencial en áreas oceánicas frente a la región de Arica y Parinacota, representando dos casos de sobreestimación dado el carácter costero de ambas especies. Por otra parte, la mayoría de los modelos representan una buena predicción como en el caso de *Octopus mimus* el cual presenta una amplia distribución no restringida a las 12 millas náuticas denotando su carácter vágil en relación con otros moluscos.

Todos los mapas de distribución estimados mediante modelos de nicho ecológico se encuentran en el Anexo XXIV, y de manera digital en formato *.tiff sistema WGS84 y proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19S disponible en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/record/4543869>). La ficha de metadatos se encuentra descrita en detalle en el Anexo XXVII.

7.3.5 Distribución geográfica de especies: algas

7.3.5.1 Método: mínimo polígono convexo (MPC) y criterio del polígono convexo al 95 %

La distribución de especies de algas estimada a través del criterio del mínimo polígono convexo (MPC) se obtuvo para 59 especies (véase Anexo XVI) dado que cumplían con el requisito de obtener como mínimo tres ocurrencias georreferenciadas. De manera similar, la distribución geográfica estimada por el criterio del polígono convexo al 95 % fue generado

para 37 especies que reunieron como mínimo 5 ocurrencias (véase Anexo XVII). El menor número de polígonos convexo al 95 % respecto a MPC se debe a que esta técnica requiere un mayor número de ocurrencias por especie. El listado de especies con distribuciones geográficas estimadas por el método del mínimo polígono convexo (MPC) y polígono convexo al 95 % se detalla en los Anexos XVI y XVII, respectivamente. Los mapas digitales se encuentran disponibles en formatos KML, Shapefile y File Geodatabase (<https://zenodo.org/record/4543887>). Para cada archivo por especie se entrega la superficie calculada hectáreas cuadradas la cual representa el rango geográfico observado.

De acuerdo con el criterio del MPC la superficie mínima fue de 0,000333 Ha (*Gelidium filicinum* y *Gelidium pusillum*), máxima de 18.108.900 Ha (*Chondracanthus chamissoi*) y superficie media de 3.811.492 Ha. En base al criterio del MPC al 95 % la superficie mínima fue de 1349 Ha (*Halopteris hordacea*), máxima de 15.406.000 Ha (*Lessonia trabeculata*) y superficie media de 4.240.743 Ha.

7.3.5.2 Método: Buffer

Las distribuciones geográficas obtenidas a través de un buffers o zona de influencia se generaron para especies con menos de tres ocurrencias georreferenciados, número mínimo para calcular el mínimo polígono convexo (MPC). En total se obtuvo 60 polígonos de distribución mediante la generación de un buffer de 100 Km para 60 especies. De manera similar, para especies con menos de 5 ocurrencias no fue posible estimar la distribución con el método del polígono convexo al 95 %. El listado de especies con distribuciones geográficas mediante buffer se detalla en el Anexo XVIII y los mapas digitales en formatos KML, Shapefile y File geodatabase se encuentran disponibles en <https://zenodo.org/record/4543887>. Estos últimos archivos se encuentran proyectados en sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19S. Adicionalmente, para cada archivo digital por especie se entrega la superficie calculada hectáreas cuadradas la cual representa la estimación de su rango geográfico.

Para el grupo de algas marinas bentónicas, la menor superficie fue de 1.071.600 Ha (*Gelidium crinale* y *Polysiphonia paniculata*), la máxima superficie fue de 8.665.650 Ha (*Montemaria horridula*) y una superficie media de 2.525.096 Ha.

7.3.5.3 Método modelos de nicho ecológico

Las distribuciones geográficas obtenidas por modelos de nicho ecológico permitieron obtener estimaciones de distribución potencial para 15 especies de interés económico (*i.e.*

comercial y/o invasora) (Anexo XIX). Para especies con menos de 14 registros georreferenciados se obtuvieron distribuciones predichas mediante la técnica de ensamble de pequeños modelos (ESM por sus siglas en inglés), utilizando de manera conjunta el algoritmo Ranfom forest y modelos aditivos generalizados (GAM). Para especies con más de 14 registros los modelos fueron realizados con el algoritmo Maxent (Phillips *et al.* 2006). En todos los casos se obtuvo un alto rendimiento de los modelos, es decir buena a alta capacidad predictiva (AUC > 0,9).

Los mapas de la distribución geográfica predicha por los modelos en general indican que las distribuciones de algas se restringen en las primeras 12 millas náuticas, a excepción de *Gelidium lingulatum* (Anexo XXV, Fig. S 68) y *Gelidium rex* (Anexo XXV, Fig. S 69) especies en la cuales los modelos predicen una distribución que se extiende fuera del borde costero desde Arica y Parinacota hasta Valparaíso. Las demás especies se encuentran restringidas a zonas costeras principalmente en las regiones de Tarapacá, Coquimbo y Valparaíso. Todos los mapas de distribución estimados con modelos de nicho ecológico se encuentran en el Anexo XXV, y de manera digital en formato *.tiff sistema WGS84 y proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19S disponible en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/record/4543887>). La ficha de metadatos para la geodatabase del grupo de algas se detalla en el Anexo XXVIII.

7.3.6 Distribución geográfica de especies: peces

7.3.6.1 Método mínimo polígono convexo (MPC) y criterio del polígono convexo al 95 %

La distribución de especies estimada a través del criterio del mínimo polígono convexo (MPC) se obtuvo para 145 especies (Anexo XX) dado que cumplían con el requisito de obtener tres registros como mínimo. La distribución geográfica estimada por el criterio del polígono convexo al 95 % fue estimada para 106 especies (Anexo XXI). El listado de especies con distribuciones geográficas estimadas por MPC y polígono convexo al 95 % se detalla en los Anexos XX y XXI, respectivamente. Los mapas digitales en formatos KML, Shapefile y File geodatabase se encuentran disponibles en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/record/4543891>). Para cada archivo digital por especie se entrega la superficie calculada en hectáreas cuadradas la cual representa la estimación del rango geográfico.

La estimación de superficie utilizando el MPC reveló que la menor superficie calculada fue

de 0,000359 Ha para la especie *Hoplostethus atlanticus*, superficie máxima de 53.839.100 Ha (*Scomberesox saurus*) y una superficie media de 5.647.623 Ha. Por otra parte, la estimación de superficie por MPC al 95 % reveló que la menor superficie fue de 3.000 Ha (*Myxodes cristatus*), superficie máxima de 35.307.000 Ha (*Talismania aphos*) y una superficie media de 4.571.165 Ha.

7.3.6.2 Método Buffer

Se obtuvo 175 polígonos de distribución mediante la generación de un buffer de 100 Km para 175 especies de peces cuyo número de ocurrencias fue menor a tres. El listado de especies con distribuciones geográficas se detalla en el Anexo XXII y los mapas digitales en formatos KML, Shapefile y File geodatabase (<https://zenodo.org/record/4543891>). Estos archivos se encuentran proyectados en sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19S. Para cada archivo digital por especie se entrega la superficie calculada hectáreas cuadradas la cual representa la estimación de su rango geográfico observado. Para el grupo de peces la superficie mínima fue de 1.076.440 Ha (*Symphurus elongatus*), 12.167.900 Ha como superficie máxima para la especie *Melanolagus bericoides* y una superficie media de 3.364.090 Ha.

7.3.6.3 Método modelos de nicho ecológico

Las distribuciones geográficas obtenidas por modelos de nicho ecológico permitieron obtener modelos para 26 especies ícticas (Anexo XXIII). Para especies con al menos 14 registros se realizaron las estimaciones con la técnica de ensamble de pequeños modelos, utilizando conjuntamente el algoritmo Random forest y modelos aditivos generalizados (GAM). En todos los casos se obtuvo un alto rendimiento de los modelos, es decir, buena capacidad predictiva de los modelos (AUC > 0,9).

En términos generales las distribuciones de las especies ícticas de interés comercial (comercial/invasor), se encuentran situadas entre las regiones de Tarapacá-Antofagasta y Coquimbo-Valparaíso (véase Anexo XXVI) y restringidas en la mayoría de los casos a las primeras 12 millas náuticas. En específico, los modelos predicen distribuciones continuas, es decir, desde las regiones de Arica a Valparaíso para especies como *Engraulis ringens*, *Genypterus blacodes*, *Hemilutjanus macrophthalmos*, *Isacia conceptionis*, *Mustelus mento*, *Sardinops sagax*, *Sebastes capensis* y *Trachurus murphyi* (Anexo XXVI Figs. S84, S87, S91, S92, S95, S100, S102 y S104). En el caso de *Trachurus murphyi* la distribución predicha mediante modelos de nicho ecológico, indicó que la distribución más amplia para

el grupo de peces, la cual no se limita exclusivamente a la región de Arica y Parinacota, sino que se extiende más al norte con alta probabilidad de ocurrencia para el sur Perú y en el otro extremo para zonas más al sur de las costas de Valparaíso (Anexo XXVI, Fig. S104).

Los mapas de distribución para especies ícticas estimados mediante modelos de nicho ecológico se encuentran en el Anexo XXVI, y de manera digital en formato *.tiff sistema WGS84 y proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) huso 19S disponible en el repositorio Zenodo (<https://zenodo.org/record/4543891>). La ficha con la descripción de los metadatos se encuentra detallada en el Anexo XXIX.

7.4 Objetivo 5.3

Generar un aplicativo de mapas representativo, actualizable y dinámico de los registros bibliográficos de las especies ícticas, la flora y fauna acuática que haya sido evidenciada en aguas marinas en la Zona Centro y Norte de Chile.

El aplicativo de mapas dinámicos de los registros bibliográficos fue generado en la plataforma Operational Dashboard de ArcGis Online, utilizando la base de datos de ocurrencias y otros archivos generados para este propósito (Figs. 41).

Al aplicativo ya se encuentra disponible, de manera pública, pero accesible únicamente a través del siguiente enlace: <https://arcg.is/1PuGDf> en nuestro ArcGIS Online de forma temporal. Como resultado final del proyecto, los datos ya fueron transferidos al Geoportal de SUBPESCA y el aplicativo se encuentra disponible en el ArcGIS Online de la institución, accesible a través del enlace <https://arcg.is/10SiKW0> (mientras se mantenga público).

VIDEOS: Un video explicativo sobre la utilización del aplicativo está disponible en <https://youtu.be/asHa3JLQNTM> y un video con la explicación del uso de RStudio está disponible en <https://youtu.be/P0JMV20zi3s>.

A continuación, se detallan los aspectos estructurales del desarrollo informático que permiten entender el funcionamiento del aplicativo de mapas dinámico, así como replicarlo, mantenerlo en el tiempo y actualizarlo.

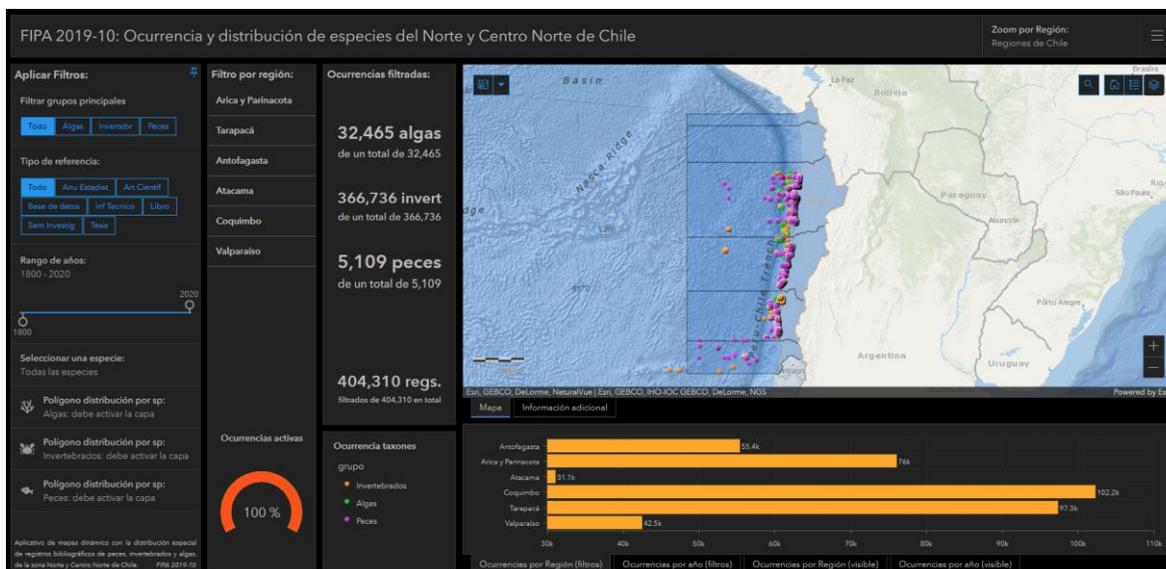


Figura 41: Interfaz de usuario del aplicativo de mapas dinámico.

7.4.1 Estructura del desarrollo informático

7.4.1.1 Descripción jerárquica de los componentes

- Mapa Base Dashboard (Web Map)
 - o Regiones tierra simplificado (Feature Layer)
 - o Regiones y mar simple (Feature Layer)
 - o Ocurrencias taxones (Feature Layer)
 - o Algas (polígonos) (Feature Layer)
 - o Peces (polígonos) (Feature Layer)
 - o Invertebrados (polígonos) (Feature Layer)

7.4.1.2 Descripción de los componentes:

El Mapa Base Dashboard fue confeccionado directamente en la web de ArcGIS Online como un Web Map. Se le incorporaron al mapa las distintas capas de información, previamente cargadas en ArcGIS Online, transformadas automáticamente en Feature Layer (hosted). Una vez cargadas en el Mapa Base, estas fueron renombradas dentro de este y así aparecer con un nombre más amigable en la interfaz de usuario.

a. Detalle de las capas (Feature Layer) y archivos originales:

Regiones tierra simplificado: archivo de polígonos (regiones_tierra_simplificado.shp) en formato ESRI Shapefile con las regiones políticas de Chile, el cual fue simplificado para incluir menor número de vértices tener menor tiempo de carga.

a1. Regiones y mar simple: archivo de polígonos (regiones_mar_simple.shp) en

formato ESRI Shapefile, que incluye cada región política con un área marina que se extiende horizontalmente desde los límites regionales, hasta aproximadamente los 78° W.

- a2. Ocurrencias taxones:** archivo de texto (dat_occ_taxa_completo.csv) en formato CSV con la base de datos de ocurrencia, información taxonómica y bibliografía asociada a la ocurrencia.
- a3. Algas (polígonos):** archivo de polígonos shape (Poligonos_Algas.shp) en formato ESRI Shapefile, que incluye los distintos polígonos generados para cada una de las especies de algas de la base de datos.
- a4. Peces (polígonos):** archivo de polígonos shape (Poligonos_Peces.shp) en formato ESRI Shapefile, que incluye los distintos polígonos generados para cada una de las especies de peces de la base de datos.
- a5. Invertebrados (polígonos):** archivo de polígonos shape (Poligonos_Invertebrados.shp) en formato ESRI Shapefile, que incluye los distintos polígonos generados para cada una de las especies de invertebrados de la base de datos.

Todos los archivos tipo ESRI Shapefile fueron comprimidos junto a sus archivos asociados (dbf, prj, cpg y shx) en un archivo comprimido en ZIP con el mismo nombre de los archivos SHP, antes de cargarlos en ArcGis Online.

b. Descripción del Web Map

Este contiene las capas mencionadas anteriormente y el *Basemap: Oceans* que cuenta con la Referencia de océanos mundiales y la Base de océanos mundiales, al cual no se le hicieron modificaciones.

El orden de las capas y la configuración adicional en cada una es la siguiente:

b1. Ocurrencias taxones

Estilo: estilos de puntos por atributo o categoría (taxonFIPA), forma circular con sombra (shape) y diferenciado por color. Invertebrados: naranja, Algas: verde y Peces: purpura. Tamaño del símbolo: 15 px.

Pop-Up: Habilitado, **Título del Pop-up:** taxón: {scientificName}.

Atributos para mostrar en Pop-Up (Display: A list of field attributes): eOcurlID (Alias: ID registro), taxonFIPA (Alias: grupo), taxonID (Alias: ID taxón), scientificNameID (Alias: sciNameID), scientificName (Alias: Nombre científico),

scientificNameAuthorship (Alias: Autor/es), scientificNameOccur (Alias: Nombre registrado), vernacularName (Alias: Nombre común), taxonRank, locality, decimalLatitude (Alias: Latitud), decimalLongitude (Alias: Longitud), Region (Alias: Región), Zona, eventYear (Alias: Año), eventDate (Alias: Fecha), museoColeccion (Alias: Museo/Colección), phylum, class, subclass, infraclass, order, infraorder, superfamily, family, subfamily, genus, species, conservation, importancia, habitatTaxon, refAuthor, refYear, refTitle, refJournal.

Leyenda: Visible, **Activa/Visible:** Sí

b2. Algas (polígonos)

Estilo: estilo simple, sin separar por atributo o categoría. Relleno color verde (#4CE600) con 25 % de transparencia, borde de color verde oscuro (#267300) de ancho 2 px y sin transparencia. Transparencia a todo el shape de 25 % (Overall).

Pop-Up: Deshabilitado, **Leyenda:** Oculta, **Activa/Visible:** No

b3. Peces (polígonos)

Estilo: estilo simple, sin separar por atributo o categoría. Relleno color purpura (#A900E6) con 25 % de transparencia, borde de color purpura oscuro (#4C0073) de ancho 2 px y sin transparencia. Transparencia a todo el shape de 25 % (Overall).

Pop-Up: Deshabilitado, **Leyenda:** Oculta, **Activa/Visible:** No

b4. Invertebrados (polígonos)

Estilo: estilo simple, sin separar por atributo o categoría. Relleno color naranja (#FFAA00) con 25 % de transparencia, borde de color naranja oscuro (#734C00) de ancho 2 px y sin transparencia. Transparencia a todo el shape de 25 % (Overall).

Pop-Up: Deshabilitado, **Leyenda:** Oculta, **Activa/Visible:** No

b5. Regiones y mar simple

Estilo: estilo simple, sin separar por atributo o categoría. Relleno color celeste (#4C81CD), transparencia 25 %, borde color negro (#000000) de ancho 1 px.

Pop-Up: Deshabilitado, **Leyenda:** Oculta, **Activa/Visible:** Sí

b6. Regiones tierra simplificado

Estilo: estilo simple, sin separar por atributo o categoría. Relleno color celeste (#4C81CD), transparencia 75 %, borde color gris (#999999) de ancho 1 px y transparencia 50 %.

Pop-Up: Deshabilitado, Leyenda: Oculta, Activa/Visible: Sí

7.4.1.3 Módulos individuales que conforman el aplicativo

El detalle de la configuración de cada uno de los módulos que componen el aplicativo se encuentra detallado en el Anexo XXX. La representación visual de la disposición de estos módulos está esquematizada a continuación, en la Fig. 42.

7.4.1.4 Interfaz de usuario del aplicativo de mapas dinámicos

La interfaz de usuario fue estructurada para funcionar en dispositivos con pantalla FullHD (1920x1080 px), en posición horizontal y ejecutada mediante navegador web. Debido a la capacidad de renderizado se recomienda utilizar un navegador basado en Chromium como Google Chrome v88.0 o Microsoft Edge v88.0. El detalle de la estructura visual de la interfaz de usuario (Fig. 42) permite entender la posición de cada elemento para ser replicado.

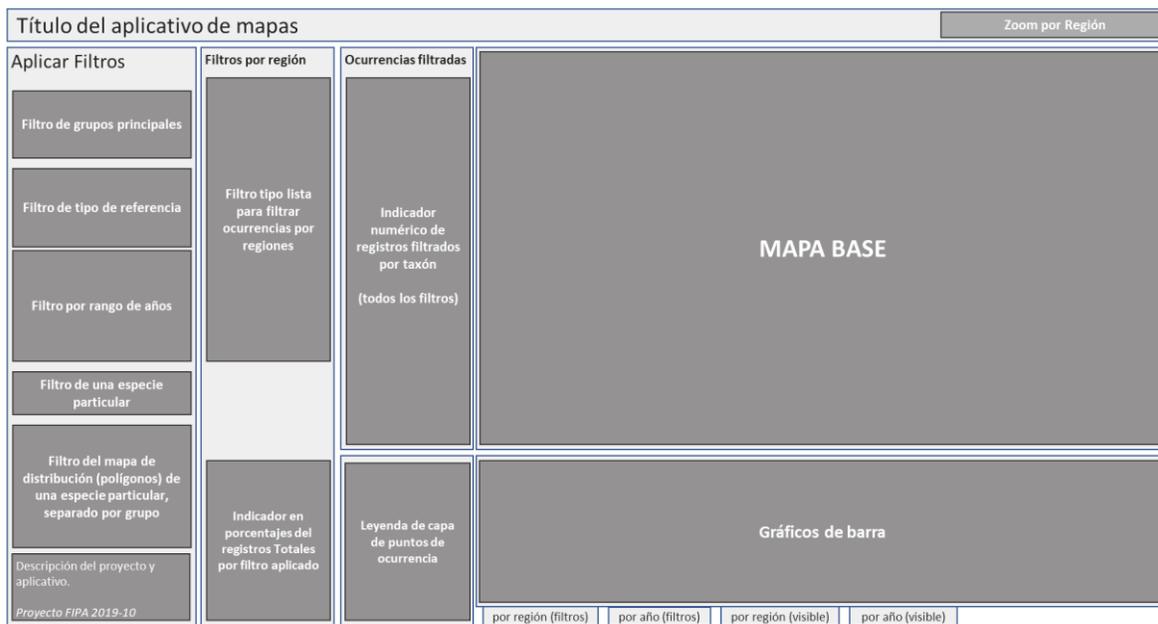


Figura 42: Diagrama de la interfaz de usuario del aplicativo de mapas dinámicos

7.5 objetivo 5.4

Realizar un análisis comparativo de las metodologías y protocolos de muestreo aplicados a las especies ícticas, flora y fauna acuática, de los proyectos que ingresan al SEIA en las Zonas Centro y Norte de Chile.

Los análisis de las matrices de similitud calculadas considerando los distintos grupos biológicos (Invertebrados, Vertebrados y Flora marina), y todos los criterios metodológicos

utilizados en los distintos proyectos evaluados (*i.e.* Número de Transecto/Estación, Unidad Muestral, Volumen/Cantidad y Número de Réplicas), indican que existe una gran disimilitud entre los proyectos en cuanto a la utilización de criterios de muestreo. Es decir, que existe mucha variabilidad en la metodología utilizada por cada uno de los proyectos (Fig. 8, y ver Anexo XXXII, Análisis de Cluster).

Los análisis presentados en este informe fueron expuestos en el Taller de Expertos que se llevó a cabo en diciembre de 2020. Las actividades desarrolladas en el taller, así como los resultados y conclusiones, se detallan en el Anexo XXXI.

7.5.1. Resultado por Criterio Metodológico

Al aplicar el Análisis de Escalamiento Multidimensional (NMDS), si bien existe variabilidad, se observó que los proyectos relacionados con los invertebrados utilizan un número de transectos o estaciones similar a los mencionados en la guía metodológica (*i.e.* 6 transectos o estaciones). Por otro lado, según lo evidenciado para los vertebrados (peces) y flora marina (algas), el valor del número de transectos utilizados no se acercó a lo indicado en la guía metodológica (Fig. 43).

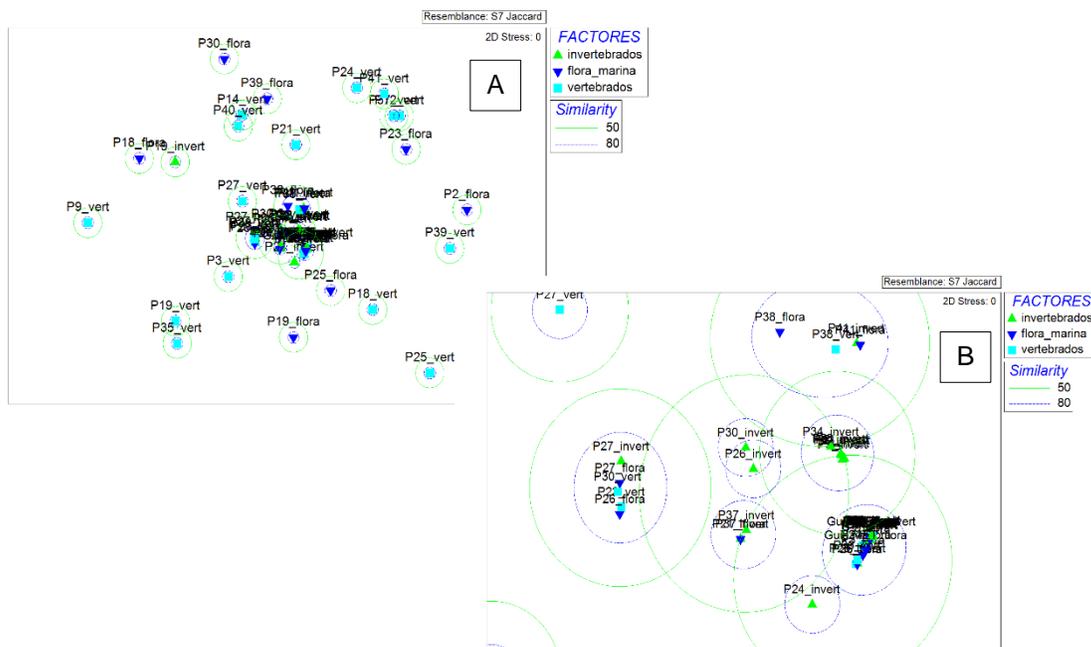


Figura 43. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet), para el criterio “Número de Transectos/Estación”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor.

Para el criterio metodológico “Técnica de Muestreo”, el NMDS reflejó que, si bien existe

variabilidad, se observa que los proyectos relacionados con los invertebrados y flora marina utilizan técnicas de muestreo similares a los mencionados en la guía metodológica (*i.e.* recuento, extracción o punto intercepto). Por otro lado, los vertebrados (peces) no se aproximan al valor indicado en la guía (Fig. 44), dado principalmente a que esta no considera metodologías de muestreo para los peces dentro de sus requisitos mínimos.

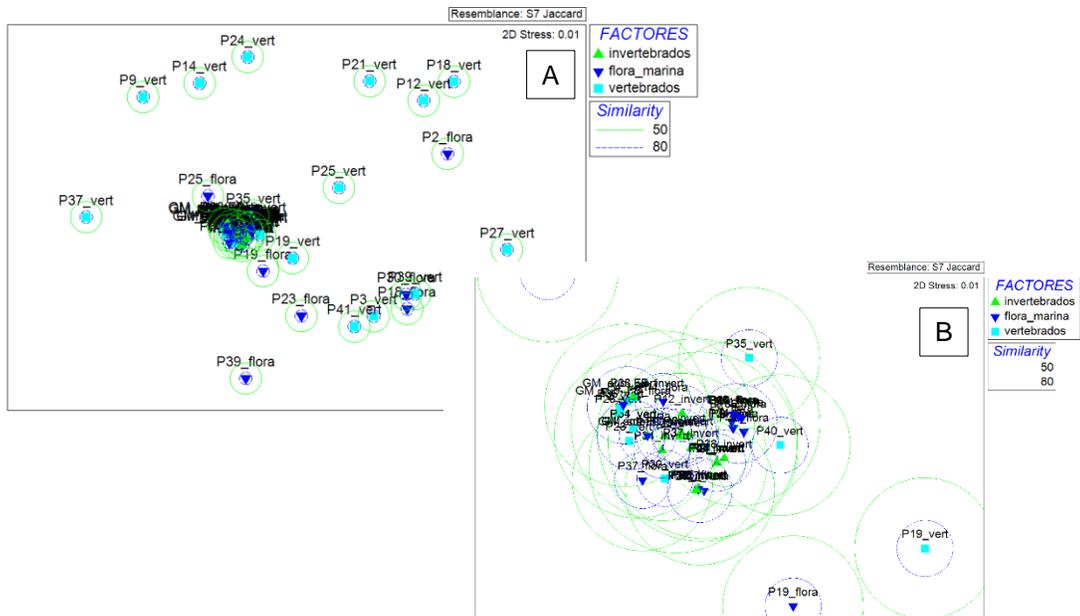


Figura 44. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invrt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet) para el criterio “**Técnica de Muestreo**”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor.

Para el criterio metodológico “Unidad de Muestreo”, el análisis de NMDS, mostró que existe variabilidad y se observa que los proyectos relacionados con los invertebrados y flora marina utilizan unidades de muestreo con mayor similitud a los mencionados en la guía metodológica (*i.e.* cuadrantes, dragas, corers o cámaras). Por otro lado, los vertebrados (ictiofauna) no se aproximan al valor indicado en la guía (Fig. 45), dado principalmente a que esta no considera metodologías de muestreo para los peces dentro de sus requisitos mínimos.

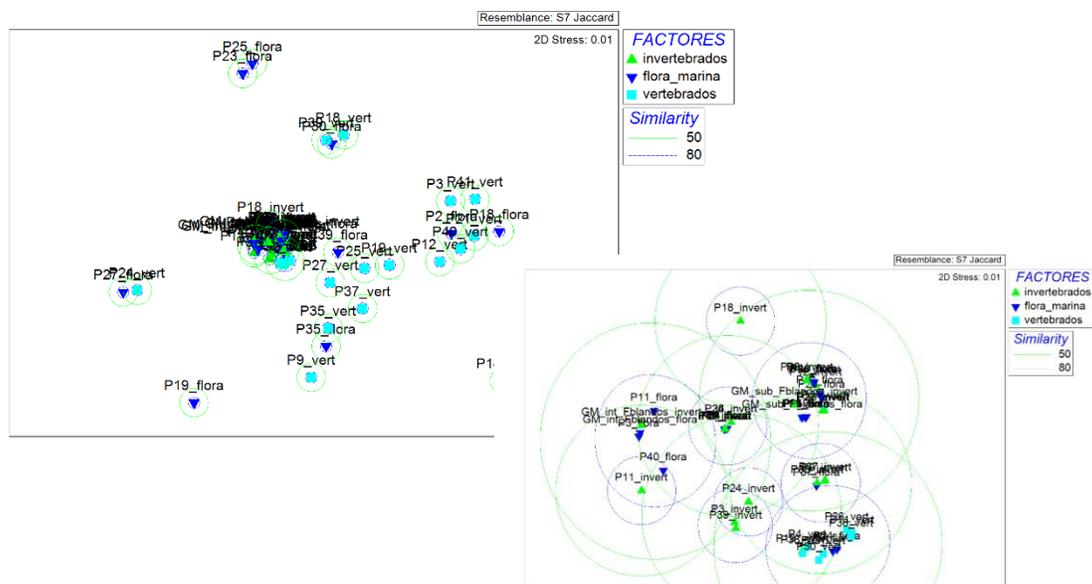


Figura 47. NMDS aplicado para analizar el agrupamiento entre los distintos proyectos según su grupo biológico (Invt-Vert-Flora) y la Guía Metodológica de la Armada de Chile (GuiaMet) para el criterio “Número de Réplicas”. En donde (A), muestra Análisis de escalamiento multidimensional y (B) un acercamiento a la agrupación mayor.

7.5.2 Análisis descriptivo de las metodologías utilizadas en los informes ingresados al SEIA

De un total de 41 proyectos EIA que cumplieron con las condiciones para ingresar al análisis comparativo, se evaluó el 60 % (n=24) de los trabajos y el 40 % (n=17) restante no fue incluido en el análisis, debido a que no se encontraban directamente en la costa o su actividad u propósito no reunía las condiciones para generar un estudio de impacto ambiental, línea base y/o sus actividades no generaban efectos directos sobre la zona costera adyacente a sus actividades.

En cuanto a la evaluación de los criterios metodológicos (12), la Tabla 19 muestra el resumen de los resultados que con mayor frecuencia se mencionan en los estudios ingresados al SEIA. Estos resultados están en términos de porcentaje para facilitar su análisis, así, el valor porcentual mostrado según corresponda se interpreta como el porcentaje de proyectos que consideran algún criterio metodológico determinado (ver detalle Tabla 19).

7.5.2.1 Intermareal Fondos Duros

Para los invertebrados, los invertebrados sésiles, móviles y flora marina, se ha considerado el uso de 6 transectos en la metodología de muestreo, lo que concuerda con lo que indica

la Guía Metodológica (6). Por otro lado, menos del 20 % de los informes incluyen en sus diseños de muestreo entre 11 a 15 transectos o de 0 a 5 transectos en sus estudios (Tabla 19).

La técnica de muestreo más utilizada en los informes de EIA para los invertebrados, invertebrados sésiles y flora marina, corresponde principalmente a la técnica de punto intercepto (% cobertura), mientras que para los móviles se utiliza comúnmente la técnica de extracción directa *in situ*. Lo que es coincidente con lo que menciona la Guía Metodológica, que recomienda la técnica de extracción destructiva y no destructiva, además de calcular el porcentaje de cobertura con punto intercepto (Tabla 19).

La unidad muestral más utilizada en los estudios corresponde al cuadrante tanto para Invertebrados y flora marina, lo cual también está descrito en las recomendaciones de la Guía metodológica (Fig. 7). Por otro lado, el volumen de extracción recomendado por la Guía es de un área de 0,25 m², y los estudios para los grupos de invertebrados y flora marina consideran en su mayor porcentaje desde 0,1 a 0,25 m² (Tabla 19).

En el número de réplicas, se observa que tanto para los invertebrados, invertebrados móviles, sésiles y flora marina, el mayor porcentaje de estudios considera en sus diseños entre 0 y 5 réplicas y menos del 20 % de ellos entre 6 a 10, que es lo que recomienda la Guía metodológica (10, Tabla 19).

En relación con el análisis de las muestras, la Guía Metodológica no recomienda ninguna acción o actividad, sin embargo, en la evaluación realizada, se registra que el 90 % de los estudios realiza *in situ* el análisis y/o identificación de las muestras tanto para invertebrados, invertebrados móviles, sésiles y flora marina (Tabla 19).

Tanto para la preservación y el protocolo de análisis de las muestras, los estudios y para todos los grupos biológicos no se indica o no se aplican técnicas de preservación y se utiliza el recuento o conteo de especies *in situ*, respectivamente (Tabla 19). La Guía Metodológica no recomienda ninguna acción respecto a estos ítems evaluados en los informes EIA. Por último, esta Guía Metodológica tampoco menciona o recomienda algún equipo específico para la identificación y/o conteo de las especies, cuando corresponda, mientras que la mayoría de los estudios identifica *in situ* las especies a ojo desnudo.

7.5.2.2 Intermareal Fondos Blandos

El número de transectos o estaciones recomendadas por la Guía metodológica corresponde a 6 y en los estudios evaluados se observó que tanto para invertebrados, invertebrados móviles, sésiles y flora marina se utiliza en la mayor parte de los estudios de 5 a 10 transectos o estaciones (Tabla 19).

La técnica de muestreo utilizada en los informes de EIA para los invertebrados sésiles y flora marina corresponde principalmente a la técnica de punto intercepto (% cobertura), mientras que para los móviles se utiliza comúnmente la técnica de extracción. Sin embargo, la Guía Metodológica, solo recomienda la estimación de porcentaje de cobertura no especificando entre grupos biológicos (Fig. 7).

En relación con la unidad muestral, la Guía recomienda el uso de un corer en esta matriz de muestreo, y en los estudios se pudo observar que se utiliza en un 100 % para invertebrados e invertebrados sésiles. Sin embargo, para los móviles, se encontró que el cuadrante es la técnica de muestreo que se utiliza en un 100 %, de la misma manera que para la flora marina se utiliza para el cálculo de porcentaje de cobertura (Tabla 19).

La Guía Metodológica recomienda el uso de corers de 50 a 100 m² de sección transversal y 15 cm de profundidad. Los estudios, en su mayor porcentaje utilizan corers de 0,1 a 0,25 m² de sección y entre 15 a 20 cm de profundidad para invertebrados móviles y sésiles, en tanto para la flora marina, se utiliza comúnmente cuadrantes de 0,25 m² de área de extracción. Sin embargo, la Guía no menciona ninguna recomendación al respecto para este grupo biológico (Tabla 19).

El número de réplicas que es utilizado en los estudios es de 0 a 5 para los invertebrados sésiles, móviles al igual que para la flora marina (Tabla 19). La Guía metodológica recomienda 10 réplicas, por lo que este criterio no se estaría cumpliendo en la mayoría de los estudios evaluados.

En cuanto al análisis de las muestras y preservación de estas, la Guía metodológica no recomienda un criterio en específico, sin embargo, en los estudios sí se considera la identificación *in situ* para los invertebrados sésiles y flora marina y para los invertebrados móviles se realiza a posteriori en laboratorio en la mayoría de los estudios. Como medio de preservación cuando los organismos son extraídos se utiliza alcohol a 70-90 % o formalina en concentraciones variables desde 4 a 10 % (Tabla 19).

Por último, como protocolo de análisis y equipo de identificación de los organismos, la Guía

tampoco indica algún criterio, sin embargo, en los estudios se observa que en algunos casos se utiliza una lupa estereoscópica para invertebrados sésiles o no se indica el protocolo usado (Tabla 19).

7.5.2.3 Submareal Fondos Duros

El número de transectos o estaciones usados en el muestreo del submareal de fondos duros tanto para invertebrados sésiles y móviles como para flora marina, cerca del ~80 % de estudios utilizaron entre 6 y 10 transectos, mientras que menos del 20 % emplearon de 11 a 15 transectos o estaciones. Lo anterior coincidió con lo descrito en la Guía Metodológica, la cual sugiere un valor de 6 transectos, por lo que los estudios estarían cumpliendo con esta recomendación.

Por otra parte, se observó una variabilidad en las técnicas de muestreo reportadas en los estudios, en donde La Guía Metodológica recomienda el conteo de especies, pero no menciona una técnica en particular. Por lo tanto, entre un 10 y 20 % de los estudios en invertebrados sésiles y flora marina son realizados con buceo. A diferencia de los trabajos desarrollados en invertebrados móviles, los cuales el 80 % correspondieron a muestreos con buceo. Adicionalmente, la técnica de cuadrante con punto intercepto se utilizó en un 90 % de los trabajos para invertebrados sésiles y flora marina. Finalmente, la técnica de grabación por cámara de video para evaluar invertebrados móviles y flora marina se usó entre un 10 y 20 % de los estudios (Tabla 19).

La unidad muestral mayormente utilizada en los estudios de invertebrados, invertebrados sésiles, móviles y flora marina correspondió al cuadrante. Sin embargo, La Guía Metodológica no indica una unidad muestral en específico (Tabla 19), pero si recomienda fotografía submarina o buceo. Para determinar el volumen de la muestra, la Guía metodológica no señala alguna recomendación en específico para invertebrados y flora marina. Sin embargo, en los trabajos se mencionaron áreas de extracción entre 0,1 a 0,25 m² e incluso mayores (Tabla 19).

El número de réplicas que se utiliza en el 50 % de los estudios evaluados es de 6 a 10. En menos del 20 % de 0 a 5 para todos los grupos biológicos. Sin embargo, en muchos casos sencillamente no se indica en los informes (Tabla 19). La Guía Metodológica recomienda 10 réplicas. Lo que indica que los estudios no estarían cumpliendo en su totalidad con esta recomendación.

Con relación al análisis de muestras, La Guía metodológica no recomienda usar algún

criterio. Mientras que en los estudios sí consideraron tanto la identificación *in situ* de los invertebrados sésiles y la flora marina, como también para los invertebrados móviles, en los cuales se realizó el análisis *a posteriori* en laboratorio. La preservación de las muestras por su parte, no se mencionó en ninguno de los estudios evaluados. Por último, con respecto al protocolo de análisis y equipo de identificación de los organismos, el mayor porcentaje de estudios realizó el conteo de especies *in situ*, además de usar en su mayoría como equipo de identificación la técnica de ojo desnudo (Tabla 19).

7.5.2.4 Submareal Fondos Blandos

Los trabajos de impacto ambiental analizados identificaron en su totalidad a los invertebrados como un solo grupo, utilizándose de 6 a 10 transectos (~55 %) en la mayoría de los estudios. Mientras que en menor porcentaje se usaron entre 11 y 15 (~25 %), y de 16 a 20 transectos en una proporción aún menor (~10 %, Tabla 19). Lo anterior coincidió con lo descrito en La Guía Metodológica, la cual sugiere usar al menos 6, por lo que este criterio estaría siendo respetado en la mayoría de los estudios. No obstante, en el caso particular de la flora marina el 100 % de los trabajos mencionaron de 0 a 5 transectos, lo cual no estaría cumpliendo con lo sugerido por la Guía Metodológica (Tabla 19).

Por otro lado, la técnica de muestreo descrita en la totalidad de estudios tanto para invertebrados como para la flora marina correspondió a la extracción por buceo. Por lo cual concuerda con lo sugerido en la Guía (Tabla 19). Los estudios utilizaron varios tipos de unidades muestrales, desde dragas no especificadas, tipo Van Veen y Ponnar hasta cores y cuadrantes. Mientras que la Guía metodológica sugiere específicamente el uso de dragas tipo Van veen y McIntyre, a diferencia de la flora marina, en la cual no menciona ningún método. No obstante, el 100 % de trabajos recopilados mencionaron al cuadrante como unidad muestral (Tabla 19).

Con relación al volumen de muestra extraído, el más utilizado por los estudios evaluados correspondió a un área de 0,1 a 0,25 m² e incluso menor (Tabla 19). A diferencia de la Guía Metodológica, que recomienda un área de 0,1 m² tanto para invertebrados como para flora marina. Además, el número de réplicas descrito en la mayoría de los trabajos fue de 0 a 5, lo cual concuerda con lo sugerido por la Guía (mínimo de 3 réplicas) y se estaría cumpliendo con los requisitos mínimos para este criterio metodológico (Tabla 19).

Respecto al análisis y preservación de las muestras, la Guía Metodológica no recomienda algún criterio relacionado. Sin embargo, los estudios recopilados consideraron la extracción

e identificación en laboratorio *a posteriori*, de las especies de invertebrados y flora marina, además del uso de formalina al 10 % como técnica de preservación (Tabla 19). Finalmente, como protocolo de análisis y equipo de identificación de los organismos, los trabajos indicaron el conteo en laboratorio utilizando tamices de haz de malla de 1 mm para invertebrados. Mientras que para la flora marina no se especificó la técnica utilizada (Tabla 19), en concordancia con la Guía Metodológica que, de igual manera, no indica algún criterio.

7.5.2.5 Ictiofauna

Específicamente para este grupo biológico, la Guía metodológica no indica un criterio mínimo de muestro, por lo que en esta sección se describieron únicamente los métodos registrados en los estudios de impacto ambiental. En estos trabajos, un alto porcentaje utilizó de 6 a 10 transectos y/o estaciones y en algunos casos de 0 a 5 o de 11 a 15 cuadrantes. La técnica de muestreo mayormente utilizada correspondió al buceo autónomo y recuento de especies a través de cámaras de video. Como unidad muestral se registró en el 70 % de los estudios el ojo desnudo, seguido del diámetro de ocular del sistema de captura en un 20 % de los trabajos y un 10 % que mencionó el cuadrante. Como criterio de volumen de muestra, en un mayor porcentaje de estudios se recorrieron transectos de 100 m de largo y en pocos casos se extrajeron ejemplares, o bien, se contabilizaron los organismos a través de cuadrantes de un área de 0,25 m². Por otra parte, el número de réplicas más utilizado fue de 0 a 5. Mientras que el análisis de las muestras se registró *in situ* o no se encuentra especificado. Por último, los trabajos recopilados no indicaron la técnica de preservación al momento de extraer el material biológico, o no aplicó este criterio en estudios relacionados a la identificación y recuento de las especies *in situ* a ojo desnudo (Tabla 19).

Tabla 19. Criterios metodológicos más utilizados en el diseño de muestreo por los estudios de impacto ambiental (EIA) en el norte y centro de Chile para muestrear invertebrados, flora marina e ictiofauna. Se indica, las matrices ambientales (zonas intermareal-submareal de fondos duros y blandos), los criterios metodológicos y el grupo biológico. NI-NA = No se indica o no aplica.

Matriz de Muestreo		Intermareal Fondos Duros				Intermareal Fondos Blandos				Submareal Fondos Duros				Submareal Fondos Blandos				ICTIOFAUNA
Criterio Metodológico		invertebrados	invertebrados sésiles	invertebrados móviles	Flora marina	invertebrados	invertebrados sésiles	invertebrados móviles	flora marina	invertebrados	invertebrados sésiles	invertebrados móviles	flora marina	invertebrados	invertebrados sésiles	invertebrados móviles	flora marina	
Número de Transecta/Estación	0 a 5	0	8	8	0	8	0	100	0	20	0	0	10	11	0	0	100	10
	6 a 10	100	75	75	89	92	100	0	100	80	83	83	80	54	0	0	0	80
	11 a 15	0	17	17	11	0	0	0	0	0	17	17	10	25	0	0	0	10
	16 a 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
	21 y mas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Técnica muestreo	Buceo	0	0	0	0	0	0	0	0	20	17	83	10	11	0	0	0	80
	Cámara vide	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	10	0	0	0	0	20
	Conteo	14	17	33	8	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0
	Extracción	14	0	67	8	0	0	100	0	0	0	0	20	89	0	0	100	0
	Punto interce	71	83	0	89	0	100	0	100	0	83	0	60	0	0	0	0	0
Unidad muestral	Cuadrante	100	100	92	100	0	100	0	100	40	100	83	80	4	0	0	100	10
	Corer	0	0	8	0	100	0	100	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0
	Draga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
	Draga Ponna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	Draga Van V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0
	Ocular	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	10	0	0	0	0	20
	Ojo desnudo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	70
	Red enmalle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NI-NA	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	10	4	0	0	0	0
Volumen/Cantidad de muestra	100 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
	< 0,05 m3	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	> 0,05 m3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	0,01-0,025 m	0	0	0	0	38	0	100	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0
	0,1-0,25 m2	71	100	100	89	0	100	0	100	20	83	67	60	50	0	0	100	0
	0,25 y mas m	29	0	0	11	8	0	0	0	0	17	17	20	4	0	0	0	10
	NI-NA	0	0	0	0	8	0	0	0	60	0	17	20	11	0	0	0	30
	1 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
40 min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
Número de Réplicas	0 a 5	57	83	83	72	23	100	100	100	0	17	17	20	75	0	0	100	40
	6 a 10	14	17	17	17	62	0	0	0	0	50	50	30	4	0	0	0	0
	11 a 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16 a 20	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	17	10	0	0	0	0	0
	21 y mas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	NI-NA	29	0	0	11	8	0	0	0	100	0	17	40	21	0	0	0	60
Análisis de las muestras	in situ	100	100	83	100	0	100	0	100	20	100	100	80	0	0	0	0	80
	Laboratorio	0	0	17	0	92	0	100	0	40	0	0	10	93	0	0	100	0
	NI-NA	0	0	0	0	8	0	0	0	40	0	0	10	7	0	0	0	20
Preservación de las muestras	Alcohol 70-96	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
	Formalina 4%	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	0	0
	Formalina 5%	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0
	Formalina 10%	0	0	8	0	15	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	100	0
	NI-NA	100	100	92	100	31	100	100	100	100	100	100	100	21	0	0	0	100
Protocolo análisis de las muestras	Conteo	100	92	92	94	15	0	0	0	80	100	67	100	14	0	0	0	100
	Tamiz 0,5mm	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
	Tamiz 1mm	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	43	0	0	100	0
	NI-NA	0	8	8	6	15	100	100	100	20	0	33	0	18	0	0	0	0
Equipo identificación de las especies	Lupa estereoc	0	0	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0
	Ojo desnudo	71	92	92	83	0	0	0	0	40	100	100	80	0	0	0	0	100
	NI-NA	29	8	8	17	23	100	100	100	60	0	0	20	36	0	0	100	0

8. DISCUSIÓN

En el contexto actual sobre altas tasas de pérdida de biodiversidad (Tollefson 2019), la actualización sobre la riqueza de especies y su distribución espacial es fundamental implementar medidas de manejo y conservación. En este contexto, información recopilada por este trabajo sobre la ocurrencia y distribución de especies de invertebrados, algas y peces bentónicas, tiene un rol fundamental para el desarrollo de políticas de manejo y conservación de la biodiversidad en el territorio nacional, así como fuente de información para futuras investigaciones.

8.1 Distribución de los registros de fauna y flora bentónica y especies ícticas

A partir de la información recopilada para los tres grandes grupos (invertebrados, algas y peces), se pudo observar una tendencia a lo largo del tiempo en el aumento de la información del registro de especies, observando que desde el año 2000 se generó un incremento substancial mantenido hasta el año 2020. Sin embargo, es importante mencionar que no se incluyeron palabras claves de grupos específicos como Polychaeta o Crustacea, por lo cual pudo generar una subrepresentación de la literatura encontrada para estos grupos. El grupo de organismos con el mayor número de registros fueron los invertebrados (n=369.147 ocurrencias), representando una proporción de 11 veces más registros de lo reportado en algas (n=32.467 ocurrencias) y 54 veces más de lo observado en peces (n= 6.921 ocurrencias). Particularmente dentro de los invertebrados, los grupos más representativos o dominantes fueron moluscos (n=160.977, 67 %) y crustáceos (n=50.160, 15 %), tal como lo reporta McLachlan & Brown (2006) y Martí *et al.* (2007). Específicamente en las costas chilenas, los moluscos son considerados como el grupo de mayor biodiversidad y, por tanto, el que mayor atención ha recibido por parte de los investigadores (Lancelloti & Vásquez 2000) y el sector pesquero.

La diferencia en el número de registros obtenidos en cada grupo podría ser explicada por la variabilidad entre los tipos de fuentes de información consultada. En este contexto, el mayor número de registros de invertebrados (n=339.959) y algas (n=29.011), se obtuvieron desde bases de datos internacionales (OBIS, GBIF) y nacionales (IFOP). Sin embargo, para los peces el mayor número de ocurrencias estuvo asociado a informes técnicos (n=4.884) y no se obtuvieron datos desde la base de datos de IFOP, la cual representó la mayor fuente información para invertebrados y algas (90 % del total de ocurrencias). Cabe destacar que el Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas (IFOP), no incluye entre sus

registros información de especies ícticas, lo cual disminuyó significativamente el número de ocurrencias para este grupo taxonómico.

Para los tres grupos gran parte de los registros de ocurrencias estuvieron claramente dirigidos hacia especies de importancia comercial. Entre ellos se pudo observar un sesgo dirigido a estudios pesqueros, los cuales estuvieron asociados al mayor número de ocurrencias (n=375.041), es decir más del 80 % de los registros totales.

De esta manera, por ejemplo, en el caso de los invertebrados la especie más representativa corresponde a *O. mimus* (51.397 registros) (phylum Mollusca), la cual se distribuye desde la costa norte de Perú (Tumbes) hasta el centro de Chile, siendo considerada como uno de los recursos bentónicos con mayor interés comercial en el país y de gran demanda internacional (SERNAPESCA 1999, Cardoso *et al.* 2004). Esta especie es extraída principalmente en la zona norte (Letelier *et al.* 2003), lo que coincide con el alto número de registros para la región de Arica y Parinacota (9.530 ocurrencias). No obstante, debido a los escasos estudios taxonómicos para el Pacífico suroriental esta especie fue confundida con *Octopus vulgaris* hasta el año de 1993, (Letelier *et al.* 2003, Cardoso *et al.* 2004), por lo cual pudo haber un sesgo en el número de registros para esta especie en la zona norte. Consecutivamente, *P. chilensis* se registró con un elevado número de ocurrencias (34.747 registros), siendo este un recurso de importancia comercial para el sector artesanal, desde el punto de vista extractivo y para el consumo del loco *Concholepas concholepas*, ya que *P. chilensis* es usado como alimento para esta especie, por lo tanto, concentra entre el 30 y 50 % de los desembarcos de los recursos bentónicos. Además de ser una especie clave que brinda sustrato y hábitat a otras especies (Tapia & Barahona 2007). Finalmente, es necesario aclarar que varios de los trabajos recopilados, estiman valores de biomasa total de la comunidad, por lo que no se reportan las especies encontradas. Esto puede repercutir al momento de realizar inventarios de la fauna bentónica y puede perderse información de la diversidad taxonómica.

Con respecto a las algas bentónicas, *L. berteriana* y *L. spicata* (ex *L. nigrescens*), *L. trabeculata* y *Macrocystis pyrifera*, todas del orden Laminariales, fueron las especies con mayor número de ocurrencias (n=29.786, 96.2 %). Estas son especies de importancia comercial y ecológica, puesto que son estructuradoras clave de los sistemas intermareales y submareales (Underwood 1981, Jones *et al.* 1994, Paine 1994, Castilla 2000, Thiel *et al.* 2007). En los últimos 30 años la cosecha de algas en Chile ha sobrepasado las 500 mil toneladas al año (Buschman 2001, Vásquez *et al.* 2008, Bixer & Porse 2011). La mitad de

esta producción incluye las especies de algas pardas con el mayor número de ocurrencias observadas en este estudio, *i.e.* huiro negro: *L. berteroa* y *L. spicata* (ex *L. nigrescens*), huiro palo: *L. trabeculata* y huiro flotador: *Macrocystis pyrifera*, y la otra mitad incluye especies de Rhodophyta (algas rojas), es decir, el segundo grupo con mayor número de registros (n=330) y riqueza de especies (n=19). Estas características hacen que estos dos grupos históricamente hayan recibido atención y acumulado mayor número de artículos científicos e informes técnicos, y por lo tanto un mayor número de ocurrencias a través del gradiente latitudinal estudiado. Cabe mencionar que, en un contexto productivo, se proyecta que en los próximos años estas especies sean objeto de altas presiones de cosecha para la producción de alginatos (Bixer & Porse 2011) y como fuente de alimento en el cultivo de abalones en la industria chilena (Ortiz 2003). Además, es importante continuar con el seguimiento destinado a comprender la dinámica regional de las poblaciones de algas para la aplicación de mejores políticas de manejo de estos ecosistemas (Krumhansl *et al.* 2016).

Por otro lado, en cuanto a especies ícticas, los resultados evidenciaron que hay 2 especies de peces que presentaron el mayor número de ocurrencias: *Merluccius gayi* y *Hippoglossina macrops*, representando el 20 % de todas las ocurrencias de especies registradas y presentes en las regiones de Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Valparaíso. La merluza común fue la especie más representativa, se concentra principalmente entre 100 y 200 m de profundidad y sustenta una pesquería de arrastre de fondo extremadamente importante en Chile (Guevara-Carrasco & Leonart 2008), donde existen mercados tanto locales como de exportación, de hecho, los desembarques anuales de *M. gayi* en Chile superaron históricamente las 100.000 toneladas (Giddings 1980). Si bien la merluza común es la especie con mayor número de registros, se pudo observar en la recopilación de la información una disminución en la ocurrencia de esta especie registrada en la literatura en los últimos años, ya que desde 1977 hasta 2009 hubo un aumento en los registros. Sin embargo, no hubo ningún reporte desde 2010 hasta 2013, y los años posteriores registran muy pocas ocurrencias asociadas a esta especie. Esto podría asociarse a la crisis que la pesquería merlucera presentó, reportando su nivel más bajo en el año 2010 (Arancibia *et al.* 2010). Dado lo anterior es una especie que ha recibido mucha atención considerando su importancia comercial, tanto nacional como internacional, y la situación del stock crítico caracterizada por la reducida biomasa por debajo de umbrales recomendables, por lo cual se pueden ver reflejados mayor número de estudios reportando todo lo concerniente a su distribución, biología, capturas, etc., con el fin de obtener información, dada su gran

relevancia para el sector pesquero. Finalmente, es interesante destacar que la especie *H. macrops* se registra como especie de escaso valor comercial; sin embargo, ha sido registrada como fauna acompañante de *M. gayi* por medio de la pesquería de redes de arrastre (SUBPESCA 2000), lo que podría estar explicando el gran porcentaje de ocurrencias reportadas en los informes como consecuencia de la pesca de Merluza común.

Probablemente los sesgos a nivel espacial también estén asociados a aspectos pesqueros o de importancia comercial, además de realizarse la mayoría de estudios en zonas cercanas a universidades con escuelas de biología marina y centros de investigaciones marinos, reflejándose estos sesgos en las curvas de rarefacción para los tres grupos taxonómicos (Figs 19, 27 y 36). Con respecto a este punto, la concentración de registros georreferenciados varía según el grupo de estudio. En invertebrados la mayor cantidad de georreferencias estuvo asociada a la región de Coquimbo (n=98.394), correspondiendo en su mayoría a *Mesodesma donacium* (n=18.058), *Romaleon setosum* (n=15.259), *Homalaspis plana* (n=8.583) y *P. chilensis* (n=8.134), siendo en su totalidad de importancia económica. Mientras que la mayor densidad de puntos estuvo asociada a la región de Arica y Parinacota (n=75.931, ver Fig. 5), particularmente a la localidad de Bernales (n=9.193), Isla Alacrán (n=76.421) y Zona Pesquera (n=5.817), la cual estaría dada por la importancia de *O. mimus* para la pesquería, mencionada anteriormente.

El mayor número y densidad de ocurrencias de algas bentónicas estuvieron asociadas a la región de Valparaíso (ver Fig.14), siendo las localidades con mayor densidad de puntos: Puerto Pichicuy (n=10.493), y Los Molles (n=1.072). La densidad de puntos podría estar explicada por el esfuerzo de muestreo en esa zona realizado por el Programa de Seguimiento de Pesquerías Bentónicas, IFOP (n=20.121). Cabe mencionar, que las especies registradas en esta región corresponden a: *L. spicata*, *L. trabeculata*, *M. pyrifera* y *D. antarctica*, es decir, especies de algas pardas de importancia comercial.

De forma similar, el mayor número de ocurrencias de especies ícticas estuvo agrupado en la región de Valparaíso (n=2.069, Fig. 22) donde las especies con mayor representación en toda la región fueron *M. gayi* y *H. macrops*, así mismo la mayor densidad de registros estuvo reflejada en las localidades de Las Cruces (n= 287), El Quisco (n= 145) y El Tabo (n=125). Las especies más representativas reportadas en esta región son de gran importancia comercial, específicamente por su interés pesquero, por lo cual fueron mayormente registradas en los informes técnicos, que se derivan principalmente desde informes FIPA de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

En general, los registros de ocurrencia se sitúan en las primeras 12 millas náuticas desde las costas de Arica y Parinacota hasta la región de Valparaíso. Sin embargo, existen núcleos de alta densidad de ocurrencia situados en zonas discretas, lo que puede revelar sesgos en los muestreos, fenómeno común en datos de biodiversidad (Yesson *et al.* 2007; Boakes *et al.* 2010), así como también errores en el proceso de georreferenciación (Roberts *et al.* 2016), como registros en tierra, Datum erróneo, o baja precisión de las coordenadas. Estos sesgos pueden afectar de manera importante la calidad de los productos derivados de estos datos (Roberts *et al.* 2016), por lo cual es necesario considerar este tipo de sesgo y minimizarlos o corregirlos, tanto durante la captura de información como durante el procesamiento y almacenamiento en las bases de datos.

Los resultados de este informe indicaron en particular un alto número de ocurrencias, sin embargo, al momento de generar polígonos de distribución un importante número de especies no contó con la cantidad mínima de ocurrencias (3) para la generación de polígonos convexos, figura geométrica utilizada como proxy del área de ocupación de una especie (Meyer *et al.* 2017). Igual situación ocurrió al generar los polígonos al 95 %, en donde se requirió un mayor número de ocurrencias. Ante esta falta de información, la opción más idónea es generar un buffer o zona de influencia circular alrededor de las ocurrencias, el cual puede ser considerado como un proxy de la distribución geográfica de las especies. Como una manera de disminuir el déficit en el conocimiento de la distribución geográfica de las especies hidrobiológicas, la generación de modelos de distribución de especies, mediante algoritmos que permiten estimar el nicho de una especie y consecuentemente su distribución geográfica, es a la fecha la aproximación más utilizada y con un fuerte sustento teórico y estadístico (Elith & Leathwick 2009; Peterson *et al.* 2011). Sin bien, existen algunas circunstancias en donde los modelos pueden sub o sobre estimar la distribución de un determinado taxa, nuestros modelos consideraron estrictos protocolos de depuración de datos (*i.e.* ocurrencias), y selección de variables ambientales mediante criterios estadísticos. Respecto a esto último, los modelos incorporan únicamente variables ambientales que representan el nicho ambiental (abiótico) de las especies, y por tanto no incorporan las interacciones bióticas, lo cual podría ser un sesgo de los modelos, asunto metodológico que a la fecha no ha podido ser incorporado en las predicciones a macroescala (Araújo & Luoto 2007). No obstante, la literatura ha señalado que la distribución de las especies puede ser aproximada recurriendo únicamente a factores ambientales prescindiendo de interacciones bióticas (Soberón 2010). Este último potencial

sesgo metodológico podría eventualmente ser incorporado en posteriores investigaciones mediante el uso de modelación conjunta de distribución de especies (Joint Species Distribution Modelling, JSMD), nueva aproximación metodológica que incorpora información como filogenias y rasgos la cual podría constituir una forma para aproximar las interacciones bióticas. Sin embargo, esta metodología no es aplicable por el momento en taxas marinos de Chile dado que no se encuentran disponible toda la información necesaria (*i.e.*, bases de datos filogenias y rasgos) para todos los taxas estudiados en nuestra investigación.

Finalmente, dejamos como nota de cautela que los modelos siempre deben interpretarse con cautela, pero construyen la aproximación más objetiva y robusta. Si bien, existen frases célebres como la del estadístico George E. P. Box “...todos los modelos están equivocados, pero algunos son útiles”, los modelos nos permiten a diferencia de las apreciaciones personales conocer, entender y predecir fenómenos como la distribución geográfica de una especie en base a evidencia empírica y la más actualizada a la fecha para el área de estudio contemplada en este informe.

Para invertebrados, de las 792 especies reportadas en la base de datos, destaca que en este grupo se reportó la mayor variación en cuanto a superficie calculada como estimador del rango de distribución (1 a 41 millones de Hectáreas). Independientemente del grupo estudiado, aquellas especies con una menor superficie y en consecuencia menor rango de distribución revelan potenciales endemismos locales (Platnick 1991). Esta situación podría denotar también bajos esfuerzos de muestreo y sesgos en los datos, los cuales con una adecuada planificación se podría incrementar el número de registros georreferenciados para las costas de Chile.

Para algas, nuestros resultados indicaron ser el grupo con menos polígonos de distribución, así como también modelos de nicho ecológico, lo cual revela la necesidad de dirigir mayores esfuerzos para este grupo taxonómico en cuanto a incrementar los registros georreferenciados. En relación con la distribución observada de peces, existen especies con un rango geográfico muy reducido (~1 Ha) y especies con más de 5 millones de hectáreas cuadradas, demostrando una alta variabilidad en los tamaños de los rangos geográficos. En cuanto a la distribución predicha, los modelos de nicho indicaron que, para un número importante de especies, el rango geográfico se extiende más allá del área de estudio (*i.e.* 18.3° a 33.9° S), por lo cual se recomienda extender la cobertura geográfica de la base de datos al resto de las regiones administrativas con el fin de conocer el rango de

distribución natural de estas especies, lo cual tendrá un impacto positivo en cuanto a manejo y conservación de recursos pesqueros.

Independientemente del grupo estudiado, los modelos de nicho ecológico revelaron que gran parte de la información disponible (ocurrencias) se encuentran sesgadas a ciertas áreas político/administrativas, así como a taxones de interés comercial. Así mismo, al depurar la base de datos, por ejemplo, eliminando registros duplicados o agrupados en cortas distancias geográficas, el número efectivo de ocurrencias disminuyen sustancialmente, revelando el carácter oportunista de las ocurrencias y que los futuros esfuerzos de colecta deberán estar dirigidos de manera sistemática en el tiempo y espacio, situación ya mencionada para otras regiones y sistemas marinos del Pacífico y Atlántico (Costello *et al.* 2010, Miloslavich *et al.* 2011).

Finalmente, conocer y disponer de información de ocurrencias georreferenciadas y siguiendo protocolos estandarizados como el Darwin Core, posibilitarán nuevos estudios para conocer y estudiar patrones a meso y macroescala, los cuales pueden contribuir al entendimiento de los factores (ambientales, antrópicos) que modulan o estructuran la distribución de las especies y consecuentemente hacer un efectivo uso y conservación la biodiversidad marina.

8.2 Comparación de las diferentes metodologías recopiladas de los informes SEIA

Luego del análisis de los resultados obtenidos, es evidente que existe una variabilidad en los distintos métodos de muestreo tanto en las matrices ambientales como en los grupos biológicos muestreados (Tabla 19).

Entre los proyectos evaluados, se evidencia que existen diferencias notables en las técnicas de muestreos, en el número de réplicas, la unidad muestral utilizada y el volumen de las muestras utilizadas entre proyectos (Tabla 19). Es importante destacar que gran parte de los proyectos revisados y aprobados por el SEIA, no incluían replicas en sus protocolos de muestreo, lo cual limitaría realizar comparaciones estadísticas rigurosas, y por ende las conclusiones obtenidas por esos informes no serían representativas de la dinámica del sistema natural estudiado. En este contexto, es importante incluir un criterio para determinar el tamaño o número de muestras (replicas), para lo cual se sugiere usar una prueba de poder idónea dependiendo de las pruebas estadísticas que se utilizarán, como el marco metodológico propuesto por Verma & Verma (2020).

Esto es probable que se deba a que la Guía metodológica desarrollada por la Armada de

Chile (Fig. 7), es específica a la matriz de muestreo, y depende del tipo de zonación estudiada (intermareal o submareal de fondos duros y blandos), y no sugiere requisitos mínimos de muestreo para grupos biológicos en particular, como invertebrados sésiles, móviles o flora marina, que presentan características biológicas y ecológicas distintas, de igual manera la guía no es específica en cuanto a la época de muestreo, intensidad del muestreo o frecuencia de este.

Cabe mencionar que la Guía no indica algún procedimiento estándar para el procesamiento de las muestras o su preservación y traslado. Por último, uno de los resultados más llamativos es la nula consideración de metodologías de muestreo de especies ícticas. De esta manera, se hace evidente la necesidad de generar un documento o protocolo estándar que indique requisitos mínimos de muestreo de acuerdo con la matriz ambiental y especies a muestrear. Además, de consideraciones espacio-temporales que son fundamentales en los procesos biológicos y ecológicos entre las distintas especies que componen las comunidades intermareales y submareales de la costa de Chile. Estos criterios metodológicos mínimos se encuentran resumidos en el Anexo XXXI, Tablas S5, S6 y S7.

8.3 Estado de conservación según la IUCN

Las especies de peces concentraron la mayor cantidad de categorías de conservación de la biodiversidad según la IUCN, cuyas amenazas van desde degradación del ecosistema por expansión de zonas urbanas y/o turismo, uso de recursos biológicos, como distintas presiones de pesca y cosecha de recursos acuáticos, hasta temas asociados a la dinámica poblacional y cambio climático. Por otra parte, para algunas especies de invertebrados la clasificación en Preocupación Menor obedece a falta de información de carácter biológico y/o ecológico de especies que están sujetas a distintas presiones de extracción durante el año (IUCN 2020).

Muchas de las especies registradas hasta la fecha en este trabajo no se encuentran incluidas en la lista de especies amenazadas de la IUCN, y por lo tanto no existe pronunciamiento sobre el estado de conservación de la biodiversidad. Sin embargo, gran parte de estas especies actualmente se encuentran bajo las categorías de sobreexplotación y colapso pesquero, debido a la presión ejercida sobre las poblaciones naturales de invertebrados, peces y algas de interés comercial. En este contexto, es importante la implementación de medidas de manejo y conservación, puesto que diversas especies de

macroalgas, cuyas poblaciones están sometidas a una cosecha intensiva, sirven a su vez de refugio, áreas de desove y alimento para diversas especies de invertebrados bentónicos y vertebrados (Castilla 2000). Por lo tanto, la generación y recopilación de información georreferenciada de la distribución espacial de las especies bentónicas en la costa chilena, podría ser utilizada por la IUCN para la implementación de estrategias de manejo y conservación de la biodiversidad marina.

9. CONCLUSIONES

Se pudo observar que, de la información obtenida, la mayoría de las ocurrencias estuvieron sesgadas a ciertos taxa de interés comercial, áreas con influencia pesquera, áreas cercanas a universidades y centros de investigación marina, además de la magnitud de ocurrencias obtenidas desde las bases de datos, lo cual se reflejó en especies con mayor densidad de ocurrencias en zonas específicas.

Los resultados de la búsqueda de registros de especies ícticas, flora y fauna bentónica, arrojaron un alto número de ocurrencias. Sin embargo, muchas de estas no se tuvieron en cuenta debido a la falta de georreferencias en los puntos de muestreo de las especies, lo cual denota la importancia y necesidad de un mayor esfuerzo y cuidado al momento de muestrear y registrar la biodiversidad marina. Además, al no incluir palabras claves de grupos específicos (*i.e.* Polychaeta y Crustacea) en la búsqueda bibliográfica, pudo generar una subrepresentación de estos taxa.

Las distribuciones geográficas observadas (áreas de influencia o buffer, polígonos convexos al 95 y 100%) para taxones invertebrados, algas y peces para la zona comprendida entre las regiones de Arica y Parinacota hasta Valparaíso, constituyen a la fecha la mayor base de datos espacial de las distribuciones geográficas para el área de estudio.

Respecto a las distribuciones predichas con base a modelos de nicho ecológico, estos representan las áreas de distribución más probables sustentadas en la base de datos de ocurrencias de especies más completa y exhaustivamente depurada existente a la fecha (>400.000 ocurrencias georreferenciadas), así como de mayor extensión geográfica para taxa de invertebrados algas y peces para la zona norte y centro norte del país.

Considerando los diferentes protocolos de muestreo registrados en los informes SEIA, se puede concluir la necesidad de generar un documento o protocolo que indique requisitos mínimos de muestreo de acuerdo con la matriz ambiental y especies a muestrear. Además,

de consideraciones espacio-temporales fundamentales en los procesos biológicos y ecológicos, entre las distintas especies que componen las comunidades intermareales y submareales de la costa de Chile.

Finalmente, conocer y disponer de información de ocurrencias georreferenciadas y siguiendo protocolos estandarizados como el Darwin Core, posibilitarán nuevos estudios para conocer y estudiar patrones a meso y macro escala, los cuales pueden contribuir al entendimiento de los factores (ambientales, antrópicos) que modulan o estructuran la distribución de las especies y consecuentemente hacer un efectivo uso y conservación la biodiversidad marina.

10. REFERENCIAS

- Anuario estadístico de pesca. 1999. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- Arancibia, H., Roa, R., Neira, S., Niklitschek, E., Barros, M. 2010. Informe Final Proyecto FIP 2009-22. Evaluación de estrategias de recuperación en la pesquería de merluza común. Universidad de Concepción, 302 p.
- Araújo, M.B. & Luoto, M. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 743-753. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00359.x>
- Assis, J., Tyberghein, L., Bosh, S., Verbruggen, H., Serrão, E.A., De Clerck, O. 2017. Bio- ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography* 27: 277-284. <https://doi.org/10.1111/geb.12693>.
- Basher, Z., Bowden, D.A., Costello, M.J. 2018. Global Marine Environment Datasets (GMED). World Wide Web electronic publication. Version 2.0 (Rev.02.2018). <http://gmed.auckland.ac.nz>.
- Bixer, H., Porse, H. 2011. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology* 23: 321-335.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45(1): 5-32. doi: 10.1023/A:1010933404324.
- Breiner, F.T., Guisan, A., Bergamini, A., Nobis, M.P. 2015. Overcoming limitations of modelling rare species by using ensembles of small models. *Methods in Ecology and Evolution* 6: 1210-1218.
- Breiner, F.T., Nobis, M.P., Bergamini, A., Guisan, A. 2018. Optimizing ensembles of small models for predicting the distribution of species with few occurrences. *Methods in Ecology and Evolution*. doi: 10.1111/2041-210X.12957.
- Boakes, E.H., McGowan P.J.K., Fuller, R.A., Chang-qing, D., Clark, N.E., O'Connor, K., Mace, G.M. 2010. Distorted views of biodiversity: spatial and temporal bias in species occurrence data. *PLoS Biology* 8(6): e1000385. doi: 10.1371/journal.pbio.1000385
- Cardoso, F., Villegas, P., Estrella, C. 2004. Observaciones sobre la biología de *Octopus*

- mimus* (Cephalopoda: Octopoda) en la costa peruana. *Rev. Peru. Biol.* 11(1): 45-50.
- Castilla, J.C. 2000. Roles of Experimental Marine Ecology in Coastal Management and Conservation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250: 3-21.
- Calenge, C. 2006. The package “adehabitat” for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling* 197(3-4): 516-519. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017>
- Costello, M.J., Coll, M., Danovaro, R., Halpin, P., Ojaveer, H., Miloslavich, P. 2010. A Census of Marine Biodiversity Knowledge, Resources, and Future Challenges. *PLoS ONE* 5(8): e12110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012110>.
- Di Cola, V., Broennimann, O., Petitpierre, B., Breiner, F.T., D'Amen, M., Randin, C., Engler, R., Pottier, J., Pio, D., Dubuis, A., Pellissier, L., Mateo, R.G., Hordijk, W., Salamin, N., Guisan, A. 2017. *ecospat*: an R package to support spatial analyses and modeling of species niches and distributions. *Ecography* 40: 774-787. doi: 10.1111/ecog.02671
- Elith, J & Leathwick, J.R. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40: 1, 677-697.
- ESRI. 2019. ArcGIS Version 10.8. Environmental Systems Research Institute (ESRI). Redlands, CA, USA.
- Gagné, T.O., Reygondeau, G., Jenkins, C.N., Sexton, J.O., Bograd, S.J., Hazen, E.L., *et al.* 2020. Towards a global understanding of the drivers of marine and terrestrial biodiversity. *PLoS ONE* 15(2): e0228065. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228065>.
- Guevara-Carrasco, R., Leonart, J. 2008. Dynamics and fishery of the Peruvian hake: between nature and man. *Journal of Marine Systems* 71: 249-259.
- Giddings, G. 1980. South American hakes: the resource and its utilization. *Marine Fisheries Review* 42: 8-11.
- Hijmans, R. 2020. raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.1-5. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

- Hsieh, T.C., Ma, K.H., Chao, A. 2016. iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution* 7: 1451-1456. doi:10.1111/2041-210X.12613.
- IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1. <https://www.iucnredlist.org>. Downloaded on March 19, 2020.
- Krumhansl, K., Okamoto, D.K., Rassweiler, A., Novak, M., Bolton, J.J., Cavanaugh, K.C. *et al.* 2016. Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *PNAS* 13785-13790.
- Lancellotti, D.A., Vásquez, J.A. 2000. Zoogeografía de macroinvertebrados bentónicos de la costa de Chile: contribución para la conservación marina. *Revista Chilena de Historia Natural* 73(1): 99-129.
- Letelier, S., Vega, M.A., Ramos, A.M., Carreño, E. 2003. Base de datos del Museo Nacional de Historia Natural: moluscos de Chile. *Revista de Biología Tropical* 51(3): 33-50.
- Martí, E., Torres-Gavilá, J., Tena, J., Rodilla, M., Sánchez-Arcilla, A., Mestres, M., Mösso, C. 2007. Temporal Changes in Mollusk and Polychaete Communities in the soft bottom of Cullera Bay (western Mediterranean). *Journal of Coastal Research* SI47: 76-83.
- McLachlan, A., Brown, A.C. 2006. *The Ecology of Sandy Shores*. Second edition. 351 pp.
- Meyer, L., Diniz-Filho, J.A. F., Lohmann, L.G. 2017. A comparison of hull methods for estimating species ranges and richness maps. *Plant Ecology & Diversity* 10(5-6): 389-401. doi: 10.1080/17550874.2018.1425505
- Mi, C., Huettmann, F., Guo, Y., Han, X., Wen, L. 2017. Why choose Random Forest to predict rare species distribution with few samples in large undersampled areas? Three Asian crane species models provide supporting Evidence. *PeerJ* 5: e2849. doi: 10.7717/peerj.2849.
- Miloslavich, P., Klein, E., Díaz, J.M., Hernández, C.E., Bigatti, G., *et al.* 2011. Marine Biodiversity in the Atlantic and Pacific Coasts of South America: Knowledge and Gaps. *PLoS ONE* 6(1): e14631. doi: 10.1371/journal.pone.0014631.
- Ortiz, M. 2003. Qualitative modelling of the kelp forest of *Lessonia nigrescens* Bory

(Laminariales: Phaeophyta) in eulittoral marine ecosystems of the south-east Pacific: an approach to management plan assessment. *Aquaculture* 220: 423-436.

Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Townsend Peterson, A. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 102-117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>

Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., *et al.* 2011. Ecological niches and geographic distributions: monographs in population biology. Princeton: Princeton University Press.

Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M.B. 2012. Ecological niches and geographic distributions. Princeton: Princeton University Press.

Platnick, N. 1991. On areas of endemism. *Australian Systematic Botany* 4 (preface).

Phillips, S.J., Anderson, R.P., Shapire, R.E. 2006. A maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.

Provoost, P., Bosch, S. 2018. obistools: Tools for data enhancement and quality control. Ocean Biogeographic Information System. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. <https://cran.r-project.org/package=obistools>.

Quinn, G.P., Keough, M.J. 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press, Cambridge, England.

R Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.

Robertson, M.P., Visser, V., Hui, C. 2016. Biogeo: an R package for assessing and improving data quality of occurrence record datasets. *Ecography* 39: 394-401. <https://doi.org/10.1111/ecog.02118>.

Sbrocco, E.J., Barber, P.H. 2013. MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology. *Ecology* 94: 979. doi: 10.1890/12-1358.1.

Soberón, J.M. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33: 159-167. <https://doi.org/10.1111/j.1600->

0587.2009.06074.x

- Tapia, C., Barahona, N. 2007. Pesquería de *Pyura chilensis* (Molina 1782) (Tunicata, Ascidiacea, Pyuridae). Informe Técnico.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Araújo, M.B. 2009. BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32: 369-373. doi: 10.1111/j.1600-0587.2008.05742.x
- Tyberghein, L., Verbruggen, H., Pauly, K., Troupin, C., Mineur, F., De Clerck, O. 2012. Bio- ORACLE: A global environmental dataset for marine species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography* 21: 272-281.
- Vásquez, J. 2008. Production, use and fate of Chilean brown seaweeds: re-sources for a sustainable fishery. *Journal of Applied Phycology* 20: 457-467.
- Verma JP., Verma, P. 2020. Determining Sample Size and Power in Research Studies. A Manual for Researchers. Springer. 138 pp. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-5204-5>.
- Wei, T., Simko, V. 2017. R package "corrplot": Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84). Available from: <https://github.com/taiyun/corr>
- Yesson, C., Brewer, P.W., Sutton, T., Caithness, N., Pahwa, J.S., *et al.* 2007. How Global Is the Global Biodiversity Information Facility? *PLoS ONE* 2(11): e1124. doi: 10.1371/journal.pone.0001124.