



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**REVISIÓN DEL ESTADO DE COMUNES
COSTEROS EN LA COMUNA DE LEBU ($37^{\circ}27'11''$
- $37^{\circ}46'00''S$ Y $73^{\circ}22'27''$ - $73^{\circ}44'06''W$), REGIÓN
DEL BIOBÍO, MEDIANTE ANÁLISIS DE
PARÁMETROS BIO-GEO-FÍSICOS EN
CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO: UNA
HERRAMIENTA PARA EL CO-DISEÑO DE
GOBERNANZA LOCAL**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Javier Hernán Sepúlveda Rivera

Profesor patrocinante: Dra. Verónica Laura Oliveros Clavijo

Profesional guía: Sr. Francisco Alonso Bastías Mercado

Profesores comisión: Dra. Noelia Gabriela Carrasco Henríquez
Dra. Javiera Paz Gerding González

Concepción, 2024

*“En un mundo de plástico y ruido,
yo quiero ser de barro y de silencio”*

– Galeano.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Introducción general.....	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Ubicación y Accesos	3
1.4	Agradecimientos.....	4
2	CONTEXTO AMBIENTAL.....	6
2.1	Geomorfología	6
2.1.1	Geomorfología regional	6
2.1.2	Geomorfología local	7
2.2	Marco geológico.....	10
2.2.1	Geología regional.....	10
2.2.2	Geología local.....	15
2.3	Hidrografía	17
2.3.1	Generalidades	17
2.3.2	Hidrografía local.....	19
2.4	Clima	21
2.4.1	Clima regional	21
2.4.2	Clima local	22
2.5	Edafología.....	23
2.5.1	Generalidades	23
2.5.2	Edafología local	26
2.6	Ecología terrestre y marina.....	32
2.6.1	Ecología regional general	32
2.6.2	Ecología terrestre y marina local	36
2.7	Contexto demográfico y asentamientos humanos.....	43
2.7.1	Generalidades	43
2.7.2	Demografía local	44
2.8	Contexto biocultural local	46
3	MARCO TEÓRICO.....	49
3.1	Cambio climático.....	49
3.1.1	Generalidades	49

3.1.2	Cambio climático vs. variabilidad climática	51
3.1.3	Causas del cambio climático	52
3.1.4	Riesgos e impactos regionales y locales del cambio climático	58
3.1.5	Adaptación al cambio climático	62
3.2	Comunes.....	64
3.2.1	Los bienes comunes naturales	65
3.3	Co-diseño y co-construcción.....	67
3.4	Gobernanza.....	68
4	METODOLOGIA.....	70
4.1	Etapa de gabinete 1	70
4.2	Etapa de terreno 1.....	70
4.3	Etapa de gabinete 2	70
4.4	Etapa de terreno 2.....	71
4.4.1	Análisis de pH del suelo	71
4.4.2	Taller de cartografía participativa.....	77
4.5	Etapa de gabinete 3	79
4.5.1	Cálculo de índices espectrales	80
4.5.2	Obtención de factores para USLE	84
5	RESULTADOS.....	88
5.1	Identificación de comunes	88
5.1.1	Contexto y clasificación general de comunes.....	88
5.1.2	Comunes marino-costeros	91
5.1.3	Comunes del bosque nativo	93
5.1.4	Comunes hídricos	96
5.1.5	Cartografía participativa (CP).....	98
5.2	Parámetros bio-geo-físicos	108
5.2.1	Parámetros climáticos/atmosféricos	109
5.2.2	Parámetros oceanográficos	131
5.2.3	Parámetros edafológicos	148
5.2.4	Parámetros hídricos	170
5.2.5	Parámetros geomorfológicos	186
5.2.6	Otro.....	196
6	DISCUSIÓN.....	200
6.1	Generalidades.....	200

6.2	Parámetros climáticos/atmosféricos e hídricos	201
6.3	Parámetros edafológicos e incendios forestales.....	205
6.4	Parámetros oceanográficos	209
6.5	Parámetros geomorfológicos.....	213
6.6	Recomendaciones	215
6.7	Limitaciones de la información y reflexiones finales	217
7	CONCLUSIONES.....	220
8	REFERENCIAS	223
	ANEXOS.....	232

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. 1. Mapa de ubicación y accesos al área de estudio	3
2. 1. Mapa geomorfológico de la región del Biobío	6
2. 2. Mapa de elevaciones y pendientes de la comuna de Lebu	9
2. 3. Mapa geológico de la región del Biobío	10
2. 4. Mapa de cuencas, subcuencas y subsubcuencas en la región del Biobío	18
2. 5. Subcuencas y subsubcuencas hidrográficas en la comuna de Lebu	19
2. 6. Mapa de tipos de clima presentes en la región del Biobío	21
2. 7. Precipitaciones acumuladas anuales 1980-2022 en la comuna Lebu	22
2. 8. Mapa de capacidad de usos de suelo (CUS) en la región del Biobío	25
2. 9. Mapa de capacidad de usos de suelo (CUS) en la comuna de Lebu	27
2. 10. Mapa regional de las principales series de suelo presentes en la VIII región del Biobío	29
2. 11. Mapa de principales usos de suelo en la comuna de Lebu	31
2. 12. Mapa de zonificación de ecosistemas marinos en la región del Biobío	35
3. 1. Concentraciones promedio mensual mundial para los tres GEI principales ...	55
3. 2. Distribución global de la Profundidad óptica de los aerosoles	57
3. 3. División geográfica macroregional de los países iberoamericanos	59
5. 1. Cartografía participativa de comunes marino-costeros y nalcas para el periodo “Antes de 1990”	99
5. 2. Cartografía participativa de comunes marino-costeros y frutos del bosque para el periodo “Antes de 1990”	100
5. 3. Cartografía participativa de comunes marino-costeros y nalcas para el periodo “1990-2010”	102
5. 4. Cartografía participativa de comunes marino-costeros y frutos del bosque para el periodo “1990-2010”	103
5. 5. Cartografía participativa de comunes marino-costeros y nalcas para el periodo “2010-Actualidad”	105
5. 6. Cartografía participativa de comunes marino-costeros y frutos del bosque para el periodo “2010-Actualidad”	106

5.	7.	Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de los parámetros climáticos/atmosféricos	109
5.	8.	Temperatura mensual (mínima y máxima) de la estación Carriel Sur, para el periodo 1967-2023	111
5.	9.	Temperaturas mensuales (mínimas y máximas) para el periodo 1979-2020 .	113
5.	10.	Temperaturas mensuales (mínimas y máximas) para los periodos 2019-2023	114
5.	11.	Mapa de temperatura media mínima en época de verano, para el periodo 1961-2021	115
5.	12.	Mapa de temperatura media máxima en época de verano, para el periodo 1961-2021	116
5.	13.	Precipitaciones mensuales de la estación Carriel Sur, para el periodo 1967-2023	117
5.	14.	Precipitaciones mensuales de la estación Río Curanilahue, para el periodo 1979-2020	118
5.	15.	Precipitaciones mensuales de la estación Estero Plegarias, para el periodo 1979-2020	119
5.	16.	Precipitaciones mensuales de la estación Río Lebu, para el periodo 1979-2020	120
5.	17.	Precipitaciones mensuales de la estación Cañete, para el periodo 1979-2020.	121
5.	18.	Precipitaciones mensuales para los periodos 2019-2023	123
5.	19.	Mapa de precipitaciones medias anuales, para el periodo 1961-2021	124
5.	20.	Humedad relativa del aire media anual de la estación Carriel Sur, para el periodo 1966-2023	125
5.	21.	Humedad relativa del aire mensual para los periodos 2019-2023	126
5.	22.	Mapa del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) acumulado en 36 meses para el periodo 1984-2023	128
5.	23.	Gráficos del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) vs. tiempo para el periodo 1984-2023	130
5.	24.	Ubicación geográfica de las estaciones CENDHOC y de los puntos de datos extraídos de Copernicus Marine Service para el análisis de los parámetros oceanográficos	131
5.	25.	Presión atmosférica mensual [mbar] para el periodo 2010-2022	133
5.	26.	Temperatura del aire mensual [°C] para el periodo 1999-2022	134
5.	27.	Temperatura superficial del mar mensual [°C] para los periodos 1949-2022	136
5.	28.	Nivel del mar promedio mensual [cm] para los periodos 1949-2022	137
5.	29.	Temperatura potencial del agua de mar [°C] para el periodo 1993-2020	138
5.	30.	Temperatura potencial del fondo marino [°C] para el periodo 1993-2020	139
5.	31.	Salinidad [psu] para el periodo 1993-2020	140
5.	32.	Clorofila [mg/m3] para el periodo 1993-2020	141
5.	33.	Biomasa [mg/m3] para el periodo 1993-2020	142
5.	34.	Fitoplancton [mmol/m3] para el periodo 1993-2020	143
5.	35.	Sílice [mmol/m3] para el periodo 1993-2020	143
5.	36.	Nitrato [mmol/m3] para el periodo 1993-2020	144
5.	37.	Fosfato [mmol/m3] para el periodo 1993-2020	145
5.	38.	Hierro [mmol/m3] para el periodo 1993-2020	146

5.	39.	Oxígeno disuelto [mmol/m ³] para el periodo 1993-2020	147
5.	40.	pH para el periodo 1993-2020	147
5.	41.	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de suelo visitados en terreno	149
5.	42.	Mediciones de pH vs. las tres metodologías empleadas en el análisis	154
5.	43.	Mediciones de pH según el uso de suelo	154
5.	44.	Mapas de los rangos de pH a partir de los resultados de los análisis de laboratorio	155
5.	45.	Mapa de coberturas boscosas en el área de estudio, para el periodo 2001-2019	157
5.	46.	Coberturas boscosas en el área de estudio expresadas en hectáreas vs. tiempo, para el periodo 2001-2019	158
5.	47.	Coberturas boscosas en el área de estudio expresadas en porcentajes vs. tiempo, para el periodo 2001-2019	158
5.	48.	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el área de estudio para el periodo 1986-2022	159
5.	49.	Gráfico del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) vs. tiempo en el área de estudio, para el periodo 1986-2022	160
5.	50.	Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) en el área de estudio para el periodo 1986-2022	161
5.	51.	Gráfico del índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) vs. tiempo en el área de estudio, para el periodo 1986-2022	162
5.	52.	Índice de temperatura superficial terrestre (LST) en el área de estudio, para el periodo 1986-2022	163
5.	53.	Gráfico del índice de temperatura superficial terrestre (LST) vs. tiempo en el área de estudio, para el periodo 1986-2022	164
5.	54.	Correlación LST-NDVI, LST-NDMI y NDVI-NDMI para los años 1986, 2006 y 2022	165
5.	55.	Mapa de erosión hídrica actual y potencial en el área de estudio	167
5.	56.	Caudal medio mensual para el periodo 2009-2021, estación Curanilahue y estero Plegarias	171
5.	57.	Caudal medio mensual [m ³ /s] de la estación Río Lebu, para el periodo 1963-2022	173
5.	58.	Mapa de distribución geográfica de DAA subterráneos y superficiales en el área de estudio	175
5.	59.	DAA en el área de estudio según la clasificación de la fuente	176
5.	60.	Distribución porcentual de propietarios de DAA con caudal anual \geq 500 L/s	179
5.	61.	Variables fisicoquímicas disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 2002-2020	181
5.	62.	Elementos mayoritarios [mg/L] disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 2002-2020	183
5.	63.	Sodio porcentual (Na%) de la estación Río Lebu, para el periodo 1984-2020	183
5.	64.	Concentraciones de los principales elementos traza disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 2002-2020	184
5.	65.	Ubicación del río Quiapo y de las costas frente a las principales localidades del área de estudio	186

5.	66.	Evolución de la morfología costera en el sector Quiapo para el periodo 2002-2022	187
5.	67.	Evolución de la morfología costera en el sector Villarrica para el periodo 2002-2022	188
5.	68.	Evolución de la morfología costera en el sector Millongue para el periodo 2002-2022	189
5.	69.	Evolución de la morfología costera en el sector Lebu para el periodo 2002-2022	190
5.	70.	Evolución de la morfología costera en el sector Mina Costa para el periodo 2002-2022	191
5.	71.	Evolución de la morfología costera en el sector Chimpe y Morhuilla para el periodo 2002-2022	192
5.	72.	Variaciones de la superficie expresada en hectáreas, de todas las costas frente a las principales localidades del área de estudio, para el periodo 2002-2022	193
5.	73.	Variaciones en la morfología del río Quiapo en zona cercana a la desembocadura, para el periodo 2002-2022	194
5.	74.	Gráfico de variaciones en la morfología del río Quiapo en zona cercana a la desembocadura, para el periodo 2002-2022	195
5.	75.	Densidad de incendios forestales en el área de estudio para el periodo 2010-2022	197
5.	76.	Número de incendios forestales en el área de estudio, para el periodo 2010-2022	199
5.	77.	Superficie afectada por incendios forestales en el área de estudio, para el periodo 2010-2022	199

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
4. 1. Ejemplo de algunas especies identificadas que fueron observadas durante el terreno	72
4. 2. Pasos durante la etapa de recolección de muestras y medición in situ	73
4. 3. Instrumentos de laboratorio utilizados durante los análisis	74
4. 4. Ejemplo de pasos seguidos durante el análisis de laboratorio	75
4. 5. Instrumentos utilizados durante etapa de preparación de las muestras para la medición en muestra seca	76
4. 6. Ejemplos del mapeo realizado durante el desarrollo de la CP	78
4. 7. Participantes del taller de CP exponiendo su trabajo	79
5. 1. Tiras indicadoras de pH MERCK utilizadas en las mediciones de terreno .	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
2. 1. Zonas Edáficas de Chile	23

2.	2.	Características generales de los órdenes de suelos presentes en la región del Biobío	24
2.	3.	Características generales de las Clases en la clasificación cualitativa de Capacidad de Uso de Suelo	24
2.	4.	Porcentajes de distribución de las Clases de suelo en la región del Biobío según clasificación CUS	26
2.	5.	Porcentajes de distribución de las Clases de suelo en la comuna de Lebu según clasificación CUS	27
2.	6.	Características generales de las series de suelo presentes en el área de estudio	28
2.	7.	Distribución de los principales usos de suelo en la comuna de Lebu	30
2.	8.	Especies animales terrestres con algún grado de vulnerabilidad relevante.... Resumen del desembarque total según tipo de especies marinas para le	33
2.	9.	región del Biobío	36
2.	10.	Principales especies de la flora presente en la comuna de Lebu	38
2.	11.	Principales especies de aves presentes en la comuna de Lebu	39
2.	12.	Principales especies de mamíferos terrestres presentes en la comuna de Lebu	40
2.	13.	Principales especies de anfibios y reptiles presentes en la comuna de Lebu...	41
2.	14.	Principales especies marinas presentes en la comuna de Lebu	42
2.	15.	Población total de la región del Biobío para los años 1992, 2002 y 2017.....	43
2.	16.	Población urbana y rural de la región del Biobío para el año 2017	44
2.	17.	Población total en la comuna de Lebu durante los años 1992, 2002 y 2017...	44
2.	18.	Población urbana y rural por distrito censal en la comuna de Lebu	45
2.	19.	Población rango etario en la comuna de Lebu	45
2.	20.	Proyección de población total para el año 2021 en la comuna de Lebu	46
2.	21.	Organizaciones sociales en la comuna de Lebu año 2021	47
3.	1.	Principales impactos del cambio climático en Chile	61
3.	2.	Propuestas nacionales de planes y estrategias de adaptación al cambio climático	63
5.	1.	Identificación preliminar y categorización de comunes en el área de estudio. Información principal de las estaciones meteorológicas consideradas en el	90
5.	2.	análisis de los parámetros climáticos/atmosféricos	110
5.	3.	Diferencia de temperaturas máximas y mínimas, en época de verano e invierno respectivamente, para las cuatro estaciones consideradas	112
5.	4.	Diferencia de precipitaciones acumuladas [mm], en meses de invierno entre los años 1966 y 2023 para la estación Carriel Sur	117
5.	5.	Modelos compilados en la base de datos CR2-CAMELS y sus respectivos rangos temporales	118
5.	6.	Diferencia de precipitaciones acumuladas máximas [mm], de los años 1981, 1987, 1997, 2003, 2005 y 2014 con respecto a 2019, en base a los datos del modelo CR2MET	122
5.	7.	Diferencia entre los valores de humedad relativa mínima y máxima, entre los años 2013 y 2022 para la estación Lebu	127
5.	8.	Escala de valores del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE)	127

5.	9.	Información principal de las estaciones CENDHOC utilizadas en el análisis de los parámetros oceanográficos	132
5.	10.	Coordenadas de los puntos utilizados para el análisis de los datos de los modelos de Copernicus Marine Service	132
5.	11.	Información principal de los modelos GOPR y GOBH de Copernicus Marine Service utilizados para el análisis de las variables oceanográficas....	132
5.	12.	Muestras recogidas en terreno con su respectivo uso de suelo, especies reconocidas y observaciones del lugar	150
5.	13.	Valores de pH en las muestras de suelo recopiladas, de acuerdo a las tres metodologías empleadas	152
5.	14.	Escala de pH para suelos	155
5.	15.	Clasificación del factor de erosividad de la lluvia (R)	166
5.	16.	Clasificación propuesta de la erosión [ton/ha*año] en el área de estudio	168
5.	17.	Información principal de las estaciones fluviométricas registradas en el repositorio de estadísticas de la Dirección General de Aguas	170
5.	18.	Comparación entre caudales máximos y mínimos en años iniciales y terminales de las series de tiempo de las estaciones: Río Curanilahue y Estero Plegarias	172
5.	19.	Comparación entre caudales mínimos y máximos en años iniciales y terminales de los periodos parciales: 1963-1971, 1976-1988 y 2014-2022 de la serie de tiempo de la estación Río Lebu	174
5.	20.	Diferencia entre los años de mayores caudales registrados con respecto a 2021	174
5.	21.	Distribución porcentual de los DAA en el área de estudio, según la clasificación de la fuente	176
5.	22.	Usos del agua de los DAA en el área de estudio	177
5.	23.	Propietarios de DAA en el área de estudio	177
5.	24.	DAA con caudal anual ≥ 10 L/s	178
5.	25.	Propietarios de DAA con caudal anual ≥ 500 L/s	178
5.	26.	Porcentaje de cumplimiento de normas NCh409 y NCh1333 de las variables disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 1984-2020....	180
5.	27.	Variaciones en la superficie de las costas frente a las principales localidades del área de estudio, para el periodo 2002-2022	193
5.	28.	Superficies en hectáreas, de las variaciones en la morfología del río Quiapo en zona cercana a la desembocadura, para el periodo 2002-2022.....	195
5.	29.	Superficie afectada por incendios forestales en el área de estudio, para el periodo 2010-2022	198
6.	1.	Resumen de los resultados obtenidos y posible influencia en los parámetros bio-geo-físicos	200
6.	2.	Principales efectos sobre los comunes del área de estudio derivados de las variaciones en los parámetros bio-geo-físicos analizados.....	215

RESUMEN

El presente trabajo realiza un análisis preliminar de la evolución espacio-temporal de un amplio número de parámetros bio-geo-físicos y examina los posibles vínculos que pudieran guardar estos sobre el estado de los comunes costeros inscritos en el territorio de Lebu y localidades aledañas en un contexto de cambio climático. Para ello, se realizó una exhaustiva búsqueda de fuentes de información bibliográfica existentes y recopilación acotada de datos de terreno. Además, se emplearon técnicas de diálogo intercientífico, que toman en cuenta las experiencias y percepciones de las comunidades locales que habitan el territorio y conocen su historia de forma directa.

La identificación de comunes encontró que los bienes de mayor interés dentro del territorio pueden agruparse fundamentalmente en tres grandes grupos: aquellos derivados del borde costero, donde se encuentran múltiples especies de mariscos, peces y crustáceos, y también especies de macro algas pardas y rojas; en segundo lugar, los derivados del bosque nativo, en el que es posible hallar una amplia diversidad de especies de frutos silvestres, hierbas medicinales, hongos y nalcas (*Gunnera tinctoria*), cobrando esta última, especial relevancia en el territorio; por último, el recurso hídrico, crítico sostén para el ecosistema terrestre, está representado principalmente por ríos y esteros.

Los resultados obtenidos, constatan variaciones relevantes en el tiempo, que pueden haber ocasionado en parte, el deterioro de los comunes costeros, cuyas poblaciones, han experimentado importantes bajas al menos en los últimos 20 años.

Respecto de los parámetros climáticos/atmosféricos, se constata un alza de las temperaturas, sobre todo en los periodos estivales, mientras que, tanto las precipitaciones como la humedad relativa del aire, han experimentado disminuciones. Además, el IPE-36, denota un aumento apreciable de los periodos de sequía, sobre todo en los últimos 10 años.

Los parámetros oceanográficos, denotan tendencias al alza para la mayor parte de las variables analizadas, tales como nivel medio del mar, temperatura del fondo marino o nutrientes, pudiendo estos últimos, constituir un indicio de proliferación de procesos de eutrofización en el área. Por su parte, también se observa una propensión a la desoxigenación y acidificación de las aguas marinas.

En cuanto a las variables edafológicas, se observan principalmente, cambios en el uso de los suelos, con un incremento de áreas ocupadas por plantaciones forestales y, el análisis de pH de los suelos de Lebu, expone un preocupante deterioro, encontrando suelos fuertemente ácidos.

En relación con el recurso hídrico, se evidencia una falta de información, con bases de datos desactualizadas o con importantes vacíos en sus registros. Por otro lado, se encuentran apreciables disminuciones en el caudal de ríos y esteros, incertidumbres respecto del correcto uso de los DAA y algunos incumplimientos de las normas NCh409 y NCh1333 que afectan la calidad del río Lebu, principal curso de agua dentro del territorio.

Los parámetros geomorfológicos, enfocados en la revisión de la evolución de la morfología costera, constató efectos ocasionados por el terremoto 8.8 Mw de 2010, donde el cambio más notable, lo constituye el ensanchamiento generalizado de playas y emersión de plataformas de abrasión y roqueríos.

Por su parte, la revisión de la densidad de incendios forestales, señala un notorio incremento tanto en el número de siniestros como en la intensidad de estos, afectando cada vez mayores superficies.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción general

El cambio climático representa un problema urgente y de carácter global y, como tal, nuestro país no queda exento de las agravantes que esta situación conlleva. Es por ello que para enfrentar este escenario, se requiere de propuestas y acciones en todo tipo de sectores del conocimiento, donde particularmente las ciencias ambientales y de la tierra pueden hacer un aporte sustantivo. En este contexto, mediante esta Memoria de Título se presenta un estudio preliminar de revisión del estado actual y pasado de los bienes comunes de mayor relevancia en las localidades costeras de la comuna de Lebu (Quiapo, Villarrica, Locobe, Huellaco, Lumure, Mina Costa, Chimpe, Rucaraqui, Morhuilla, Pehuén, Colhue, etc.) región del Biobío. Para tal fin, el trabajo centra sus esfuerzos en la identificación y análisis de los principales parámetros bio-geo-físicos que pudieren estar contribuyendo al deterioro de los bienes anteriormente mencionados.

Sobre el concepto de “bienes comunes” existen diversas acepciones y aproximaciones, no obstante, pueden entenderse a modo general, como aquellos bienes materiales e inmateriales que están fuera del mercado y algunos fuera del sector público, son limitados y como tales, requieren de cuidados para garantizar su vitalidad; y cuyo reconocimiento recae fundamentalmente en la comunidad que los considera (o deja de considerar) de gran relevancia biocultural. De esta forma, pueden ser presentados como comunes: peces, algas, plantas o frutos silvestres derivados de ellas, hongos, etc.

Una vez identificados los comunes específicos del área de estudio, se procede a la revisión de su estado actual y variación en el tiempo en un rango de hasta seis décadas hacia el pasado, por medio del análisis de los principales parámetros bio-geo-físicos que pudieran guardar relación con su evolución, entendiéndose bajo este término, aquellas variables de naturaleza física o química tales como: temperatura, pH, precipitaciones, salinidad, usos de suelo, etc. Este análisis, se lleva a cabo utilizando antecedentes bibliográficos de diversas fuentes (estudios, informes, tesis, bases de datos, etc.), complementado con datos actuales, de carácter geológico-ambiental (por ej: geomorfología, edafología, etc.) medidos/registrados en actividades de terreno. La información recabada es geoprocesada e integrada, y sienta las bases para el eventual diseño de una herramienta basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que sirva como aportación para el cuidado y co-diseño de una gobernanza local de los bienes comunes en el área de estudio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar parámetros bio-geo-físicos regionales y locales que afectan el estado de los principales comunes en la comuna de Lebu y sus localidades aledañas en contexto de cambio climático en un rango temporal de hasta seis décadas hacia el pasado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de la presente Memoria de Título son:

- Identificar los comunes costeros principales en la comuna de Lebu y sus localidades aledañas.
- Reconocer los parámetros bio-geo-físicos determinantes en el estado de cada común costero y su relación con el cambio climático.
- Realizar un análisis geológico simple del área de estudio en tres aspectos principales: hidrología, geomorfología costera y edafológica básica.
- Jerarquizar los parámetros considerados, según su orden de relevancia en el diseño de una gobernanza local que considere el cuidado de los bienes comunes afectados por el cambio climático.
- A raíz de los resultados obtenidos, sugerir nuevas formas de ampliar el análisis de los parámetros bio-geo-físicos a nivel local.
- Entregar los resultados obtenidos derivados de este trabajo a las distintas comunidades locales en un lenguaje accesible, claro y conciso.

1.3 Ubicación y Accesos

El área de estudio se ubica en la comuna de Lebu; capital de la provincia de Arauco, región del Biobío, Chile, entre las latitudes $37^{\circ}27'11''$ - $37^{\circ}46'00''$ S y longitudes $73^{\circ}22'27''$ - $73^{\circ}44'06''$ W, cubriendo la ciudad y localidades aledañas como: Quiapo, Villarrica, Locobe, Huellaco, Lumure, Mina Costa, Chimpe, Rucaraqui, Morhuilla, Pehuén, Colhue, Ranquilco, Pelahuenco, Sara de Lebu, Pangué, Quelihue, Cuyinco, entre otras (Figura 1.1).

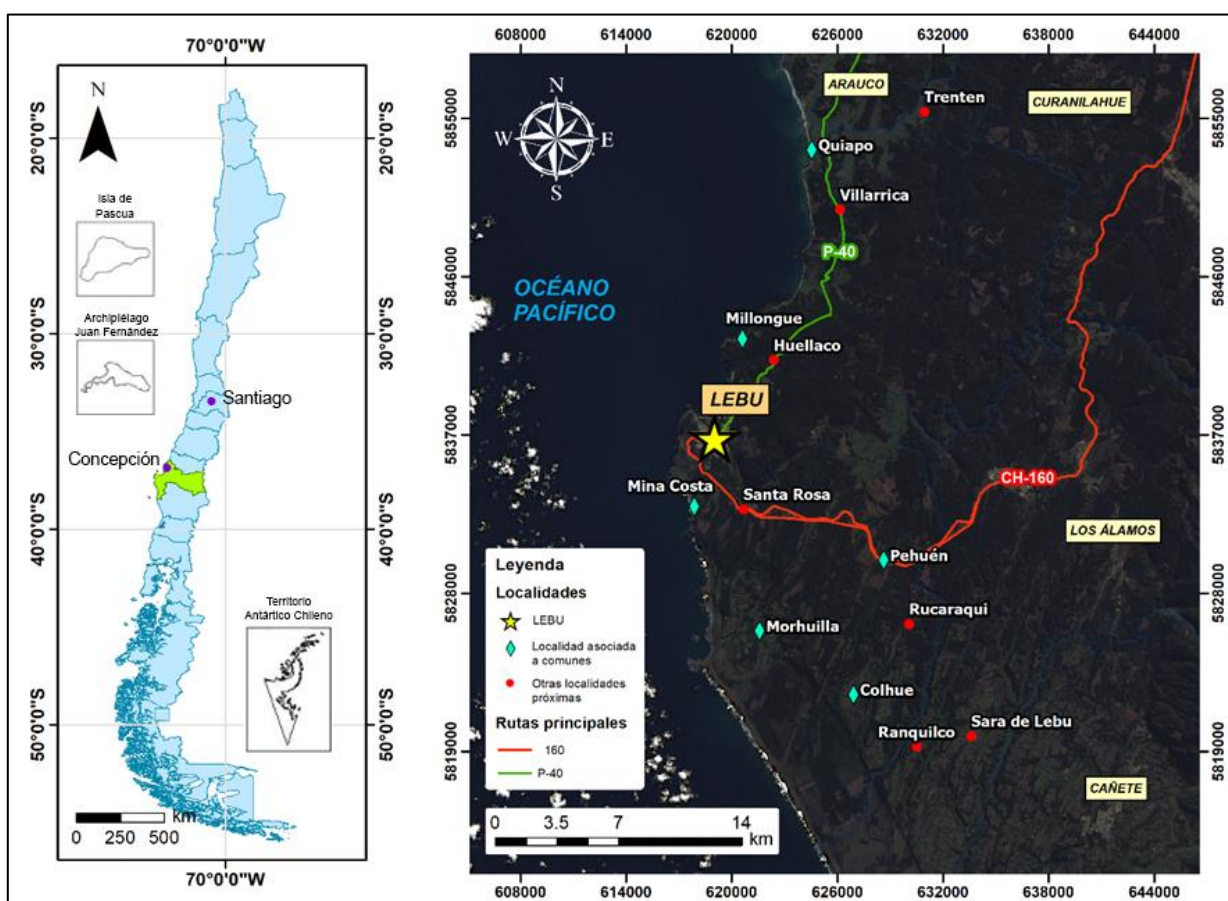


Figura. 1.1 Mapa de ubicación y accesos al área de estudio. Se destaca con una estrella amarilla la ciudad de Lebu, los rombos en cian corresponden a localidades aledañas principales y los puntos rojos a localidades secundarias.

La vía principal de acceso hasta la comuna de Lebu, corresponde a la ruta 160, que conecta desde la ciudad de Concepción en un tramo pavimentado de 145 km de viaje en dirección sur. Adicionalmente, esta ruta atraviesa por Pehuén, una de las localidades principales en el área de estudio, y bifurca en numerosas rutas rurales que sirven de aproximación hacia sectores del área sur, tales como: Mina Costa, Morhuilla, Chimpe, Rucaraqui, Colhue, Ranquilco, entre otras.

Hacia el sector norte de la comuna, existen algunas vías pavimentadas como la ruta P-40, que conecta con las localidades de Huellaco, Millongue, Villarrica, Quiapo, Locobe; y la ruta P-30 que actúa como camino de aproximación hacia sectores de recolección de algunos frutos silvestres relevantes de la zona. Sin embargo, a la mayor parte de estos sectores se accede por medio de caminos rurales.

1.4 Agradecimientos

El presente trabajo, ha sido posible por el respaldo del Proyecto Anillo ACT210037 "*Codesign Labs for climate change: commons governance and care in coastal areas in south-central Chile*", a cuyo equipo, agradezco la confianza depositada en mí como alumno de pregrado.

En segundo lugar, agradezco inmensamente a mi profesora guía, la Dra. Verónica Oliveros por toda su retroalimentación en el desarrollo de esta memoria, pero particularmente, por brindarme sin dudar, la oportunidad de realizar este trabajo.

Quisiera reconocer también a Francisco Bastías, a quien agradezco toda su compañía, consejos, sugerencias, su gran paciencia y serenidad durante todo este proceso.

También, agradezco a mis compañeras Carolina y Michelle, por toda su ayuda, por brindarme ánimos y por su gran humor, que sin lugar a dudas hicieron que todo el trabajo se tornase mucho más ameno.

Además, no quisiera dejar de agradecer a aquellos profesionales que, de forma amable y desinteresada, hicieron espacio en sus ocupaciones habituales y me ayudaron a esclarecer dudas respecto a cómo abordar la investigación en diversos aspectos; en particular, agradezco a Pamela Castillo, por su ayuda con la información referida a los suelos y cómo medirlos en terreno, a Violeta Tolorza y al proyecto TanDEM-X DEM_GEOL0845, por la facilitación del ráster TanDEM-X©DLR 2017, a Sebastián Vázquez, por su orientación en el análisis de variables climáticas y oceanográficas, y a Luis Vázquez, por su ayuda en la fase preliminar de búsqueda de información bibliográfica.

De manera muy especial, agradezco a todas las comunidades locales ligadas a las distintas labores de recolección de los comunes costeros, por brindarme siempre una cálida bienvenida en el territorio y por su genuino interés en todas las instancias de co-diseño.

Finalmente, quisiera reconocer a mi familia, agradeciendo a Mati y Tomi, por su infinita comprensión y atinados consejos ante la mirada de un hermano a veces “perdido”, a mis padres, por demostrarme que la educación vale completamente la pena y que este mundo está lleno de hermosos “misterios” que pueden ser comprendidos, y a mis abuelos, por enseñarme a creer en el valor del esfuerzo diario y constante.

2 CONTEXTO AMBIENTAL

2.1 Geomorfología

2.1.1 Geomorfología regional

De acuerdo con Börgel (1983) la región del Biobío, se subdivide en cinco unidades fisiográficas principales: Planicie marina y/o fluvio-marina, Cordillera de la Costa, Llano central fluvio-glacio-volcánico, Precordillera y Cordillera andina de retención crionival dispuestas paralelamente entre sí con orientación aproximadamente NE-SW (Figura. 2.1). Tales unidades, se encuentran a su vez inscritas dentro de cinco macroformas de relieve principales alineadas de forma paralela a lo largo de casi todo nuestro país; correspondiendo desde W a E a: planicies litorales, Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera y Cordillera de los Andes. A continuación, se describen brevemente cada una de estas unidades:

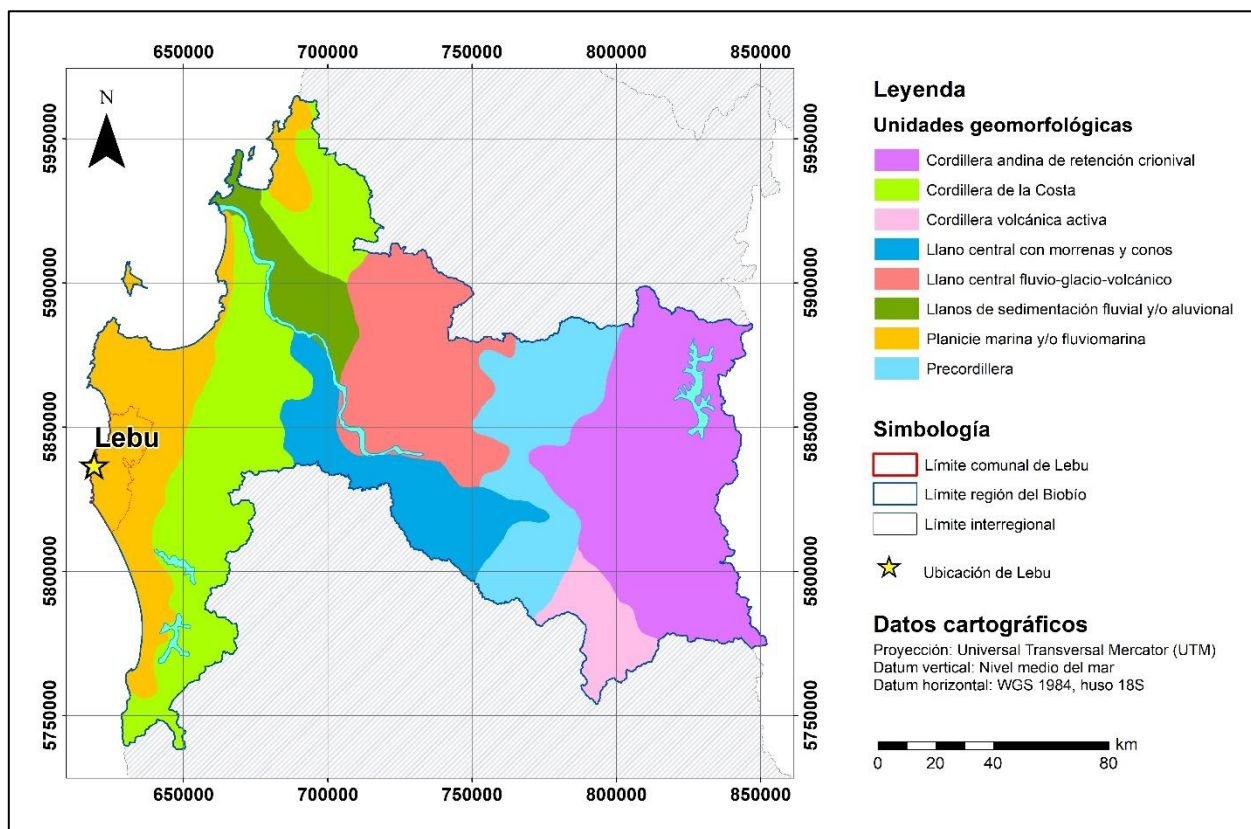


Figura. 2.1 Mapa geomorfológico de la región del Biobío. Modificado de Borgel (1983). Se destaca el límite comunal de Lebu con línea roja y la ubicación de la ciudad con estrella amarilla.

- Planicies litorales: delimitadas al W por el océano Pacífico y al E por la Cordillera de la Costa, se extienden desde el Norte Grande hasta la isla de Chiloé al sur del país. Hacia la Zona Central se presentan interrumpidas por acantilados y regionalmente aparecen reducidas hacia el norte del río Biobío, pero con mayor extensión hacia el sur. Estas formas del relieve son el resultado de procesos de abrasión y sedimentación marina o fluviomarina que se encuentran vinculados a ciclos de regresión-transgresión.
- Cordillera de la Costa: conforma un elevado y continuo cordón montañoso en el norte, confundiendo con encadenamientos transversales. En la Zona Central de Chile se presenta longitudinalmente y con baja altitud; reapareciendo en el Biobío bajo la denominación de Cordillera de Nahuelbuta, caracterizada por colinas atenuadas al norte y serranías con cumbres desgastadas, pero de mayor elevación hacia el sur.
- Depresión Central: localizada entre la Cordillera de la Costa (hacia el oeste) y la Cordillera de los Andes (hacia el este), corresponde a una vasta planicie y suavemente ondulada, con cuencas de origen tectónico y relleno sedimentario fluvio-glacio-volcánico, además de depositación lacustre.
- Precordillera: corresponde a una unidad transicional entre la Depresión Central y la Cordillera de los Andes. Es de origen sedimentario y constituye una acumulación de materiales glaciares, volcánicos y fluviales. Se caracteriza por laderas abruptas y ríos fuertemente encajonados y sedimentos de tamaño arcilla hasta bolones, debido a la interacción de sistemas glacio-volcánicos con abanicos aluviales.
- Cordillera de los Andes: extendida a lo largo de todo el territorio nacional, constituye la macroforma principal dentro del país. Es una cordillera activa, caracterizada por formas voluminosas, con pocos relieves agudos, y por volcanes activos y depósitos glaciares.

2.1.2 Geomorfología local

A escala local, la comuna de Lebu se encuentra inserta dentro del dominio fisiográfico de planicies litorales, aunque ahondando un poco más a detalle, cabe mencionar que esta localidad, se emplaza en la parte baja de la Cordillera de Nahuelbuta, pudiendo distinguirse en su territorio dos sub-zonas, claramente diferenciadas por condiciones topográficas: meseta norte y meseta sur, separadas por el río Lebu, principal curso hídrico del sector. En primer lugar, la meseta norte, se distingue por presentar un territorio homogéneo y lomajes suaves hacia el territorio interior. Por su parte, la

meseta al sur del río posee una estructura más compleja, a causa de la presencia de múltiples quebradas que la atraviesan, de norte a sur, y que acaban desembocando en un extenso territorio de dunas severamente erosionado. Además, el borde costero presenta acantilados y extensas playas (CRUBC, 2015).

En suma con lo anterior, cabe destacar que la comuna de Lebu está caracterizada por cuatro geoformas principales:

- Terrazas marinas: presentes a lo largo de gran parte del borde costero de la zona, constituyen relieves compuestos por sedimentos arenosos marinos, caracterizados por una morfología de plataformas, resultantes tanto de cambios tectónicos (alzamiento y subsidencia) como de variaciones de esustatismo.
- Planicies costeras: denominadas también llanos marinos o fluviomarinos, debido a su origen sedimentario, corresponden a planos topográficos que se restringen en el área de estudio hacia el extremo sur, con elevaciones que no superan los 50 m s. n. m.
- Río Lebu: curso de 30 m de ancho promedio, posee uno de los caudales de mayor relevancia en la zona (Pérez y Valenzuela, 2010) y corresponde a la principal arteria hídrica; además, marca una importante división natural, produciendo una separación entre norte y sur de la ciudad.
- Cerros: elevaciones caracterizadas por lomajes suavizados y de baja altitud con cotas que oscilan en general entre los 105 a 120 m (Pérez y Valenzuela, 2010).

2.1.2.1 Descripción de elevaciones y pendientes

Como se anticipaba anteriormente, el relieve de la zona estudiada, se caracteriza por ser de carácter más bien plano y de bajas elevaciones. A fin de caracterizar mejor y más detalladamente la geomorfología local, se confeccionaron mapas de elevación y pendiente, elaborados a partir de un modelo de elevación digital (DEM) y que se describen a continuación:

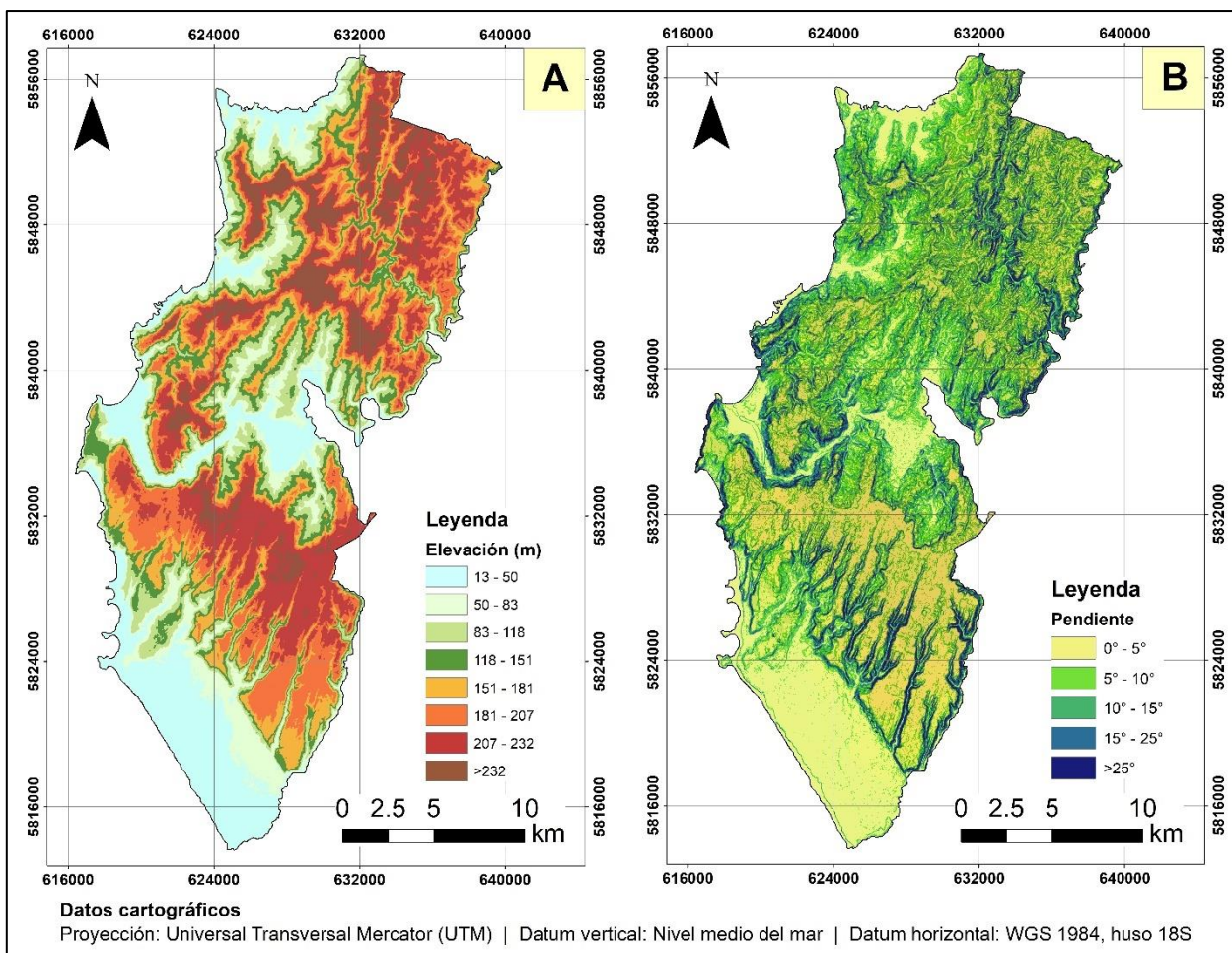


Figura. 2.2 Mapa de elevaciones y pendientes de la comuna de Lebu. En A) Elevaciones, en B) Pendientes. Fuente: elaboración propia.

- **Elevaciones:** en primer lugar, y de manera general, a partir de la Figura. 2.2 queda en evidencia la morfología de mesetas norte y sur presentes en el área de estudio. Estas se caracterizan por elevaciones bajas de entre 150 a ~230 m s. n. m. (tonalidades anaranjadas-rojizas), alcanzando sólo en algunos sectores centrales cotas superiores a los 232 m (café pálido). Por su parte, el borde costero, representado en tonos azules y verdosos pálidos, corresponden a las morfologías de planicies costeras y niveles aterrizados, que oscilan en su mayoría entre 13 a 50 m de altura; logrando sólo en los márgenes inmediatamente adyacentes a los lomajes del sector alcanzar hasta los 83 m de cota.
- **Pendientes:** guardan directa relación con el desarrollo de las distintas morfologías del relieve del área, caracterizándose ampliamente por inclinaciones bajas que no superan los 15° (tonalidades verdosas). No obstante, algunos sectores acotados, que representan las laderas de

los cerros, poseen en su mayoría inclinaciones de entre 15° a 25° , pudiendo incluso superar esta última cifra, por ejemplo, por el borde del río Lebu en su zona próxima a la desembocadura, o las laderas con morfología de incisiones subparalelas cercanas al llano costero, típicamente desarrolladas por efectos erosivos.

2.2 Marco geológico

2.2.1 Geología regional

Sobre una escala regional, cabe mencionar la presencia de emplazamientos representantes de todos los tipos de litologías, pudiendo encontrar rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias; así como también, secuencias volcanosedimentarias y depósitos de sedimentos recientes. De acuerdo con el Mapa Geológico de Chile a escala 1:1.000.000 en su versión digital (Figura. 2.3), publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) en el año 2003, en la región del Biobío se reconoce una abundante cantidad de unidades litoestratigráficas, las cuales se ordenan según su origen y temporalidad. A continuación, se describen de manera generalizada las unidades aflorantes:

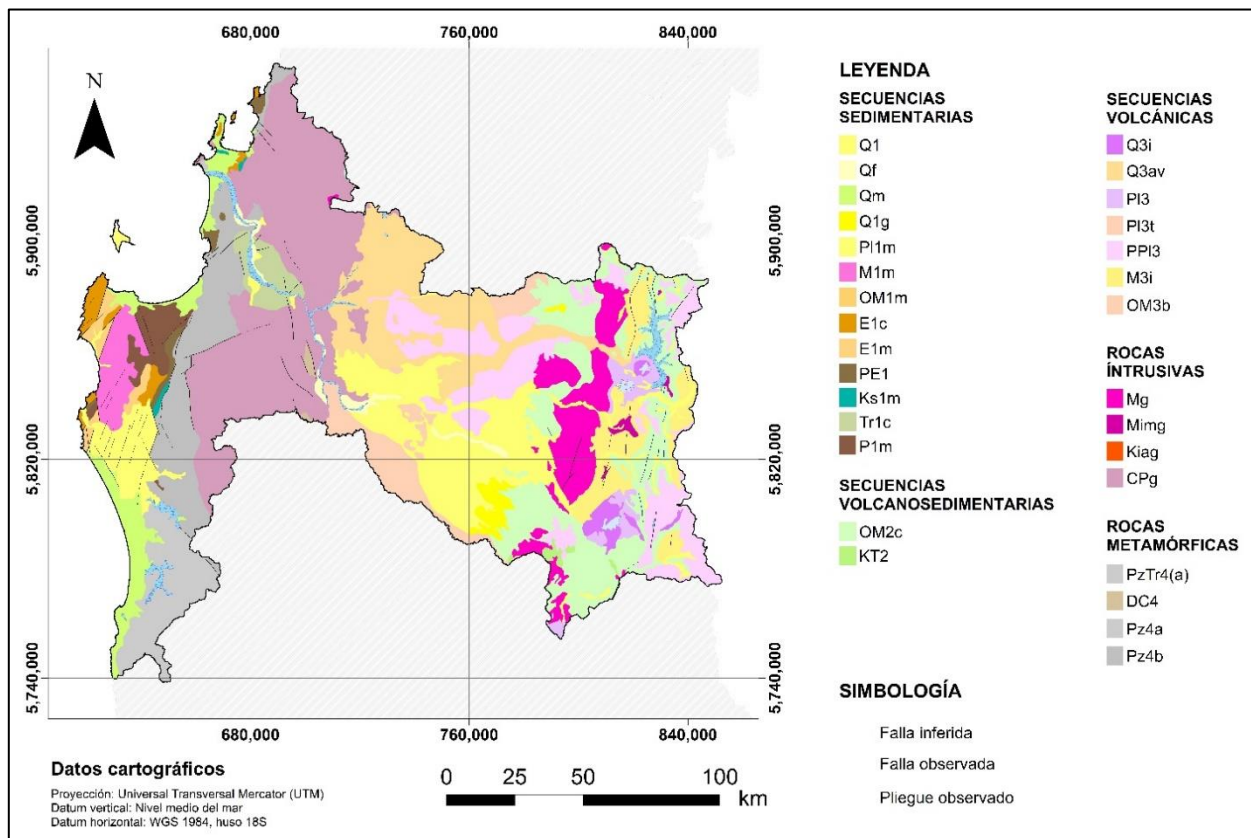


Figura. 2.3 Mapa geológico de la región del Biobío. Modificado de SERNAGEOMIN (2003).

2.2.1.1 Rocas metamórficas:

Las rocas metamórficas paleozoicas, son las litologías más antiguas reconocidas en la región y se distribuyen principalmente en el sector occidental de la Cordillera de Nahuelbuta. En primer lugar están las unidades Pz4b y Pz4a (Silúrico?-Carbonífero), que en conjunto forman el cinturón pareado denominado Basamento Metamórfico (Miyashiro, 1961). La unidad Pz4b está conformada por metarenitas y filitas, que forman parte de los acantilados que descienden de la Cordillera de la Costa. Estas rocas pertenecen a la Serie Oriental y se caracterizan por poseer un metamorfismo de baja P/T (Aguirre y otros, 1972). En cuanto a la unidad Pz4a, esta representa las rocas de la Serie Occidental de alto P/T, que comprende un metamorfismo de facies esquistos verdes hasta facies esquistos azules (Hervé et al., 1988; Glodny et al., 2005) y se compone fundamentalmente de micaesquistos, metacherts, metabasitas y serpentinitas (Hervé et al., 1988).

Por otra parte, la unidad DC4 del Devónico-Carbonífero aflorante en zonas muy acotadas del sector oriental y suroriental de Nacimiento, corresponde principalmente a metarenitas, filitas y metaconglomerados. Finalmente, esquistos con protolitos pelíticos, representan rocas como metapelitas, metacherts, metabasitas, neises y rocas ultramáficas, que conforman la unidad PzTr4(a) de edad Paleozoico-Triásico, las cuales se emplazan hacia el extremo sur de la provincia de Arauco, en la hoya hídrica del río Tirúa, donde se han desarrollado íntegramente rocas paleozoicas, características de un amplio sector de la costa centro-sur de Chile (Niemeyer, 1980 en CIREN, 2021).

2.2.1.2 Rocas intrusivas:

A lo largo de la Cordillera de la Costa del centro-sur de Chile desde los 32°30' hasta los 38° S aflora de manera continua una franja elongada de dirección NNE-SSW, un enorme cuerpo intrusivo denominado Batolito Costero del Sur (BCS), definido por Hervé y otros (1987); y ubicado al este de las rocas metamórficas paleozoicas (Hervé y otros, 1987 en Creixell, 2001), entre los 36°30' y 38° de latitud S. Corresponde al mayor representante intrusivo de la región y lo conforman litologías graníticas, granodioríticas, tonalíticas y dioríticas de hornblenda y biotita principalmente, y en menor medida de muscovita (unidad CPg). Adicionalmente, la clasificación propuesta por Creixell (2001), separa al BCS en tres unidades intrusivas denominadas de N a S como: Granitoides de Concepción, Tonalitas de Santa Juana y Granitoides de Nahuelbuta. Tales litologías guardan

una relación de contacto por inconformidad con las series sedimentarias y volcanosedimentarias del Triásico.

Durante el Cretácico Inferior-Cretácico Superior, alrededor de los 123-85 Ma, tiene lugar el emplazamiento de rocas dioríticas y monzodioríticas de piroxeno y hornblenda, así como también granodioritas y monzogranitos de hornblenda y biotita. Estas litologías representan la unidad Kiag y se encuentran aflorando localmente en el sector oriental de la comuna de Florida, en el límite con la región de Ñuble (CIREN, 2019) a modo de una pequeña franja en dirección general NNE-SSW y representan altos topográficos, que sobresalen del nivel promedio del resto de las rocas graníticas del BCS (Aquaterra Ingenieros Ltda., 2011).

Posteriormente, en el Mioceno inferior-Mioceno medio, entre los 22-16 Ma, aparece la unidad Mimg conformada fundamentalmente por granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, monzonitas y dioritas de biotita y hornblenda. Afloran localmente en territorio de la Cordillera de los Andes en el extremo oriental de la región. Finalmente, también durante del Mioceno, entre los 18-6 Ma, tiene lugar el asentamiento de prominentes cuerpos plutónicos de tipo ‘stock’ de coloración gris claro y se encuentran en contacto por intrusión con rocas de las formaciones Cura-Mallín y Trapa-Trapa en territorio de la Cordillera de los Andes (Aquaterra Ingenieros Ltda., 2011). La composición petrográfica de estas litologías corresponde fundamentalmente a dioritas, dioritas cuarcíferas y granodioritas.

2.2.1.3 Rocas volcánicas:

Representadas en la región por rocas cenozoicas que abarcan desde el Oligoceno hasta el Holoceno. La primera unidad reconocible corresponde a Om3b (Oligoceno-Mioceno), conformada por secuencias de lavas, brechas y rocas piroclásticas, derivadas de centros volcánicos básicos. Durante el Mioceno inferior-Mioceno medio, ocurre la depositación de secuencias de domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas, correspondientes a la unidad M3i, presente en la cordillera andina a modo de una elongada franja discontinua que abarca los territorios de las comunas de Antuco y Alto Biobío (CIREN, 2019).

Luego, en el Plio-Pleistoceno (unidad PPI3), secuencias provenientes de centros volcánicos parcialmente erosionados, conformadas por lavas basálticas intercaladas con tobas y conglomerados, se distribuyen en amplios afloramientos desde la Depresión Central, pasando por localidades precordilleranas y reapareciendo como una franja en el extremo más oriental de la región, en sectores de la Cordillera de los Andes que pueden llegar a superar los 2200 m s. n. m. Tales litologías forman parte de las formaciones Malleco y Cola de Zorro; de esta última, cabe destacar que según IIG-MMAJ (1979), también posee ignimbritas dacíticas y andecíticas grises y, ubicadas estratigráficamente en su parte alta y geográficamente, en el sector norte de los afloramientos. Posteriormente, en el Pleistoceno se depositan las unidades PI3t y PI3, que representan en general depósitos piroclásticos riolíticos de caldera, y secuencias de lavas y piroclastos de composición básicas a intermedias.

En el Cuaternario, las unidades Q3av y Q3i representan a depósitos de avalancha volcánica, asociados a colapso parcial de edificios volcánicos, además de secuencias ligadas a ambientes de estratovolcanes y complejos como el Callaqui, Copahue y Antuco, conformados por lavas básicas a ácidas, domos y depósitos piroclásticos andesítico-basálticos de coloración gris oscura a gris rojizas, además de algunas dacitas. Sobreyacen en discordancia erosiva a la Formación Cola de Zorro (Aquaterra Ingenieros, 2011).

2.2.1.4 Secuencias volcanosedimentarias:

Están conformadas por depósitos del Cretácico Superior-Cenozoico inferior (unidad KT2) con volcanitas, areniscas, paraconglomerados, algunas lavas andesíticas y dacíticas, intercalaciones de ignimbritas, limolitas y calizas, restringidas a afloramientos locales en el extremo sureste de Mulchén. Por otra parte, en una época considerablemente más tardía, se deposita la unidad OM2c en el Oligoceno-Mioceno, perteneciente a la Formación Cura-Mallín, definida por González-Ferran y Vergara (1962) como una secuencia de rocas piroclásticas, sedimentitas clásticas, tobas, brechas con areniscas subordinadas, conglomerados, lutitas y coladas de lava pardo-rojizas, violáceas y verdes, de composición intermedia. Aflora hacia la parte oriental de la región, cuyo principal afloramiento se presenta en la Cordillera de los Andes, dentro de la cuenca del río Bío-Bío.

2.2.1.5 Secuencias sedimentarias:

Las rocas sedimentarias de la región del Biobío, están representadas por diversas unidades, que pueden clasificarse temporalmente en las dos eras que las contienen: Mesozoico y Cenozoico. En primer lugar, durante el Mesozoico, tienen lugar diversos episodios de sedimentación, que ocasionan la formación de unidades estratificadas sobreyacentes en inconformidad a las rocas paleozoicas. Tales unidades corresponden, por un lado a Tr1c, definida bajo el nombre de Formación Santa Juana por Ferraris (1981), de edad Triásico Superior y conformada por secuencias fosilíferas continentales aluviales, fluviales y lacustres, en parte transicionales de conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas. Por otra parte la unidad Ks1m, del Cretácico Superior, concretamente de edad Maastrichtiense, corresponde a la Formación Quiriquina definida por Biró-Bagóczy (1982) y que tiene como localidad tipo la Bahía Las Tablas, en la Isla Quiriquina y como localidad paratipo a Caleta Cocholgüe, ubicada al norte de Tomé. Estas rocas se describen como capas fosilíferas marinas de plataforma, litorales o transicionales de areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, y sucesiones turbidíticas. Se encuentra infrayaciendo en paraconformidad a rocas sedimentarias terciarias de la Formación Cosmito, Formación Cerro Alto y a los depósitos cuaternarios (Salazar, 2004).

Posteriormente, en el Cenozoico, sucede la sedimentación de nuevas unidades estratificadas paleógenas y neógenas, definidas por diversos autores, tales como las Formaciones: Pilpilco, Curanilahue, Cerro Alto, Cosmito, Boca-Lebu, Trihueco, Millongue, Ranquil y la unidad Estratos Molino El Sol. Estas formaciones están representadas por: PE1 del Paleoceno-Eoceno como secuencias sedimentarias marinas y transicionales de areniscas, limolitas calcáreas y algunos mantos de carbón; las unidades E1m y E1c del Eoceno, conformadas por areniscas y lutitas marinas principalmente; la unidad OM1m, de edad Oligoceno-Mioceno, correspondiente a bancos de areniscas y algunas coquinas; y la unidad miocena M1m, representada por rocas sedimentarias marinas transgresivas plataformales como areniscas finas, arcillolitas y limolitas.

Finalmente, durante el Cuaternario tiene lugar la deposición de los sedimentos que originan las unidades pleistocenas y holocenas como: P11m (Pleistoceno), correspondiente a secuencias sedimentarias marinas litorales o fluviales estuarinas de coquinas, conglomerados coquináceos, areniscas y conglomerados dispuestos en niveles aterrazados emergidos; y las unidades Q1g, Qm,

Qf y Q1 del Pleistoceno-Holoceno, que corresponden a los depósitos más modernos de la región, con litologías que abarcan limolitas, arcillolitas, areniscas; depósitos arenosos y gravosos de playas actuales, depósitos fluviales del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanos de inundación, así como también depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; y en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados.

2.2.2 Geología local

De acuerdo con Pineda (1983), en el área de estudio las unidades litológicas reconocibles corresponden en su totalidad a formaciones y secuencias cenozoicas que se describen brevemente, en orden de temporalidad, a continuación:

- Formación Boca Lebu (Eoceno inferior): inicialmente definida por Tavera (1942) como Piso Boca Lebu y, posteriormente, redefinida por Muñoz-Cristi (1956) formalmente como Formación. Su localidad tipo se encuentra hacia el lado sur de la desembocadura del río Lebu, en sector Boca Lebu, sin embargo en este sitio solo se hallan afloramientos de su sección superior. Se compone de una secuencia transgresiva con facies de plataforma hasta facies costeras con mayor influencia continental (Pineda, 1983), y posee litologías de limolitas y areniscas muy finas, arcillosas y fosilíferas, caracterizada por la presencia de fósiles, con concreciones calcáreas con pinzas y caparzones de moluscos crustáceos. Se encuentra sobreyaciendo en paraconformidad con la Formación Quiriquina, es concordante a la Formación Curanilahue e infrayace también concordantemente a la Formación Trihueco. Según Muñoz-Cristi (1956) posee un espesor que ronda los 510 m en el margen de la cuenca de Arauco y de 680 m a lo largo de la costa de Lebu.
- Formación Trihueco (Eoceno medio): fue definida en 1956 por Muñoz-Cristi y debe su nombre a su localidad tipo que se encuentra en los alrededores de la antigua mina Trihueco. Está conformada por una secuencia continental con intercalaciones marinas; de areniscas de grano fino a conglomerádicas con intercalaciones de lutita carbonosa y portadora de algunos mantos de carbón (García, 1968; Pineda 1983), sobre su ambiente de depositación, Le Roux y Elgueta (1997) indican un margen de plataforma que se habría depositado durante un ciclo de regresión y transgresión marina. Los afloramientos de esta unidad forman una franja paralela a la Formación Boca Lebu, a la cual sobreyace de manera concordante, e infrayace de la misma

manera a la Formación Millongue. Según Oestemer, 1966) la secuencia posee una potencia general de 290 m.

- Formación Millongue (Eoceno medio – superior): descrita en un comienzo como Piso Millongue por Tavera (1942) y Muñoz-Cristi (1946), pero luego definida formalmente como formación por Muñoz-Cristi (1956). Su localidad tipo se encuentra en la costa norte de Lebu en la zona norte del sector Millongue, aunque posee múltiples afloramientos en localidades como los ríos Albarrada, Curanilahue, Trongol, Pilpilco, Cupaño, Lebu; en las quebradas Tique y Ranquenco, parte oriental de la península de Lavapié hasta Punta Carnero y desde Locobe hasta la desembocadura del río Quiapo (Muñoz-Cristi, 1946; Pineda, 1983). Corresponde a una secuencia sedimentaria marina formada por una transgresión importante, que tuvo lugar posteriormente a la depositación de la Formación Trihueco (Muñoz-Cristi, 1946) y está representada principalmente por conglomerados, areniscas glauconíticas, arcillas con bancos tobáceos, abundante presencia de restos vegetales carbonosos, pelecípodos y foraminíferos (García, 1968). Esta unidad se dispone en contacto concordante y gradacional sobre la Formación Trihueco y en discordancia angular bajo Ranquil, (Tavera, 1942; Martínez, 1968).
- Formación Ranquil (Mioceno): fue descrita como Piso Ranquil por Tavera (1942) y posteriormente, definida por García (1968) con su localidad tipo en los alrededores de caleta Ranquil a 11 km al N de Lebu. Corresponde a una secuencia transgresiva constituida por bancos de conglomerados finos, arenosos de color gris claro que se alternan con bancos de areniscas cuarzo-feldespáticas y fangolitas. En la parte superior, se detectan niveles fosilíferos y el tamaño de grano de los sedimentos disminuye de areniscas finas a limolitas. Sobreyace concordante a las formaciones del Eoceno e infrayace en discordancia angular a la Formación Tubul. Posee fósiles de moluscos como *Dentalium lebuensis*, *Venus volckmanni*, *Tellina lebuensis*, *Anatina Araucana* y de equinoideos como *Micraster Valdivianum* (Pineda, 1983).
- Formación Tubul (Plioceno): definida por García (1968), cuya localidad tipo fue establecida en la costa sur de la bahía de Arauco, en las cercanías de la desembocadura del río Tubul. Vargas (2019) sobre la base de características litológicas, estructuras sedimentarias y análisis de concentración de fósiles indica que se habría formado en un ambiente de sedimentación de zona costera dominada por el oleaje, específicamente al *shoreface* inferior. Está compuesta hacia su parte inferior por areniscas muy finas, escasamente calcáreas y muy fosilíferas, con

presencia de géneros fósiles como *Chlamys*, *Pecten* y *Venus*, además de impresiones vegetales de *Nothofagus sp.* La parte superior de la unidad la componen fundamentalmente areniscas limosas con escasos fósiles. Sobre su espesor y disposición, Pineda (1983) señala en primer lugar que la potencia máxima hallada en la Formación es de 373 m, y que se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular a la Formación Ranquil y a las formaciones del Eoceno e infrayaciendo concordante a depósitos pleistocénicos.

- Sedimentos antiguos (Pleistoceno): conformados por una secuencia de sedimentos costeros asociados a terrazas marinas, con espesores entre los 20 a 50 m; están representados por areniscas con estratificación cruzada, areniscas medias masivas que poseen laminación fina y paleosuelos (Jara y otros, 2015). Se encuentran en discordancia con las unidades estratificadas precuaternarias, con excepción de la Formación Tubul, a la que sobryace de manera concordante; además, se encuentran interdigitados con los depósitos fluviales, aluviales, coluviales y de marismas (Erices, 2018).
- Sedimentos recientes (Holoceno): corresponden a los depósitos más modernos del área y están conformados por acumulaciones de sedimentos arenosos fluviales y de playas. Distribuidos por las costas de Lebu, con afloramientos extensos cercanos a Morhuilla, donde es posible encontrar dunas y abundantes ondulitas eólicas sobre la arena suelta. También es posible encontrarlos a lo largo del cauce del río Lebu hasta su desembocadura en el sector Boca Lebu.

2.3 Hidrografía

2.3.1 Generalidades

La región del Biobío se caracteriza actualmente por un total de 6 cuencas, a su vez divididas en subcuencas y subsubcuencas (CIREN, 2014) (Figura 2.4). En esta jerarquización existe un sistema hidrográfico principal de carácter mixto (DGA, 2013), representado actualmente por la Cuenca del Río Biobío y, además, un conjunto de cuencas descritas en la zona costera de la región que corresponden a cuencas que se definen a partir de las zonas de interacción entre las cuencas antes mencionadas y el océano (DCPRH, 2019). Cabe destacar que la caracterización hídrica actual se realiza con base en “Redefinición de la clasificación red hidrográfica a nivel Nacional”, llevada a cabo por CIREN el año 2014, utilizando conceptos de hidrología de superficie y de geomática para todo el territorio nacional.

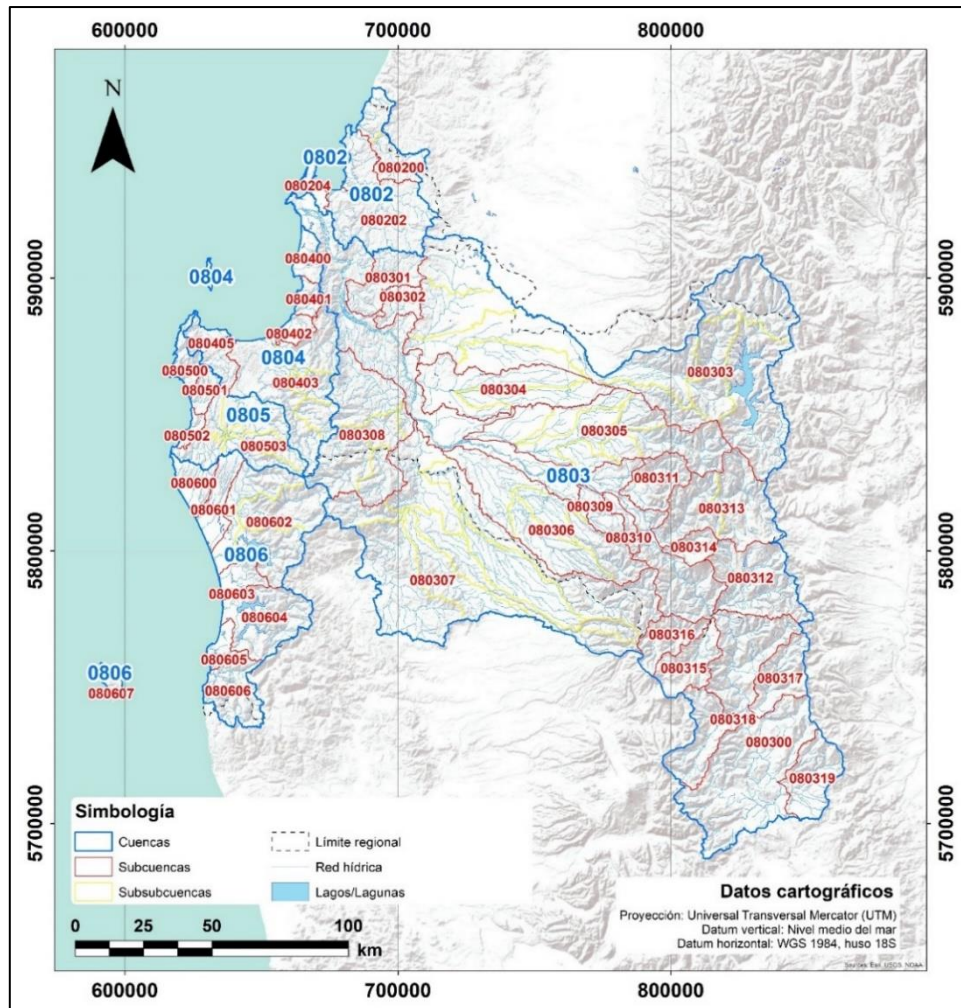


Figura. 2.4 Mapa de cuencas, subcuencas y subsubcuencas en la región del Biobío.
Basado en CIREN (2014) y capas vectoriales de IDE y BCN.

La cuenca del río Biobío, se emplaza geográficamente entre los paralelos $36^{\circ}45'$ – 39° de latitud sur y es una de las cuencas de mayor superficie del país (24.260 km^2) (Valdivinos & Parra, 2006) y a su vez, posee uno de los mayores caudales de Chile, con alrededor de $960 \text{ m}^3/\text{s}$ de promedio anual en su desembocadura (Figueroa et al., 2020). Se extiende parcialmente por territorios de tres regiones: Ñuble (al norte), Biobío (centro y mayor parte de la cuenca, pasando por Concepción, Biobío y Arauco) y la Araucanía (en su extremo sur) (CIREN, 2014).

Esta cuenca, se subdivide en 20 subcuencas menores (CIREN, 2014), que se encuentran sometidas a la influencia de distintos ambientes y factores geográficos, lo que le otorga al sistema hídrico, una dinámica muy variable desde el nacimiento de su curso hasta su desembocadura. De estas subcuencas, las principales corresponden a las del Alto Biobío y las de los ríos Duqueco, Bureo,

Vergara y Laja. El régimen hidrológico de la hoya en el alto Biobío es más bien nival, pero ya en el curso medio recibe aportes pluviales importantes que la hace tener un régimen mixto (Figuroa et al., 2020).

2.3.2 Hidrografía local

A escala local y de acuerdo con la reclasificación de cuencas hidrográficas de CIREN, 2014, el área de estudio se encuentra inscrita dentro de dos del grupo de las cuencas costeras de la región, ambas de tipo exorreico y origen pluvial, por una parte está la cuenca denominada “Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu” designada con el código identificador “0805” y que reúne otras cuatro subcuencas, de las cuales tres abarcan parte del área de estudio: subcuenca Río Quiapo, subcuenca Costeras entre río Quiapo y río Lebu y subcuenca Río Lebu, subdividiéndose esta última en cinco pequeñas subsubcuencas, de las cuales 3 se encuentran parcialmente dentro del área de estudio y las otras 2 limitan con el borde oriental del área. La Figura. 2.5 da cuenta de toda la distribución hidrográfica en el área de estudio.

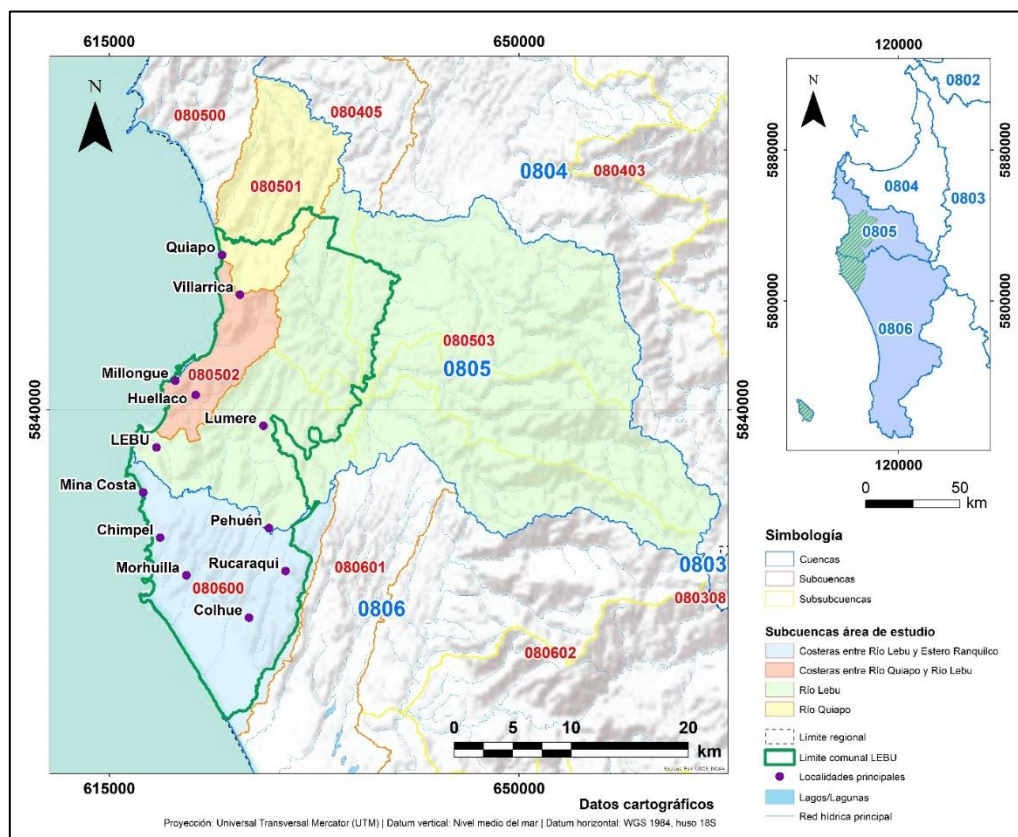


Figura. 2.5 Subcuencas y subsubcuencas hidrográficas en la comuna de Lebu. Se destaca con puntos morados las principales localidades aledañas. Mapa esquina superior derecha: 0805 = Cuenca Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu; 0806 = Cuenca Costeras entre Lebu y Tirúa. Basado en CIREN (2014) y capas vectoriales de IDE y BCN.

En segundo lugar y hacia el sur del área de estudio, se encuentra la cuenca “Costeras entre Lebu y Tirúa” designada con el identificador “0806”, la cual se extiende aproximadamente desde Pehuén hasta más al sur de la localidad de Tirúa; posee una red de drenaje dendrítica, que produce lagos como el Lleu-Lleu, formado por la confluencia de los ríos Mahuilque, Huilingo y los esteros Coihueco y Medihueco (Aqualogy Medioambiente Chile S. A., 2013). Esta hoya hídrica reúne un total de 7 subcuencas, de las cuales sólo una, en su extremo noroccidental se encuentra dentro de los límites de la comuna de Lebu. Esta subcuenca, nombrada como “Costeras entre río Lebu y estero Ranquilco” no posee otras subdivisiones de menor orden.

2.3.2.1 Cuenca Costeras entre Punta Lavapié y Río Lebu

Subcuenca Río Quiapo: posee una red de drenaje que muestra direcciones preferenciales aproximadamente norte y sur, las que representan la geomorfología del sector (Aqualogy Medioambiente Chile S. A., 2013). Su extensión superficial de 125,4 km², y su temperatura oscila entre 5.1° a 23°C, con una media anual de 12.5°C; su precipitación anual es de 1399.5 mm y carece de estaciones tanto fluviométricas como pluviométricas que la monitoreen directamente.

Subcuenca Costeras entre río Quiapo y río Lebu: posee una extensión superficial de tan solo 63.0 km², siendo la más pequeña dentro del grupo de subcuencas en el área de estudio; su temperatura oscila entre 4.9° a 22.9°C, con una media anual de 12.3°C; su precipitación anual es de 1488.6 mm y carece de estaciones tanto fluviométricas como pluviométricas que la monitoreen directamente.

Subcuenca Río Lebu: posee una extensión superficial de 160.4 km² (la segunda de mayor tamaño dentro del área de estudio) y su temperatura oscila entre 4.8° a 23.3°C, con una media anual de 12.4°C; su precipitación anual es de 1556.0 mm. Esta subcuenca cobra especial relevancia dentro del área, dado que por ella fluye en dirección oeste el río que le da nombre, el cual corresponde al principal curso de agua en la comuna; por ello, históricamente ha presentado un mayor monitoreo directo, contando con una estación fluviométrica.

2.3.2.2 Cuenca Costeras entre Lebu y Tirúa

Subcuenca Costeras entre río Lebu y estero Ranquilco: es la subcuenca de mayor extensión en el área, con una superficie de 207.9 km², posee en general una red de drenaje de tipo dendrítico

subparalelo, dominada por la geomorfología imperante; su temperatura oscila entre 4.7° a 23.3°C, con una media anual de 12.3°C; su precipitación anual es de 1563.2 mm.

2.4 Clima

2.4.1 Clima regional

Respecto del clima de la zona, a nivel regional, se marca la transición entre climas templados secos de la zona central de Chile y climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Biobío. De acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger (1936), se identifican ocho tipos de clima (Figura. 2.6), comenzando por el extremo occidental, en el borde costero en sectores altos y ladera occidental de la Cordillera de la Costa, se presenta un clima Csb (i), caracterizado por ser mediterráneo de lluvia invernal con influencia costera y templado húmedo, con una humedad constante por precipitaciones que fluctúan entre 1200 mm y 2000 mm anuales de norte a sur de la región.

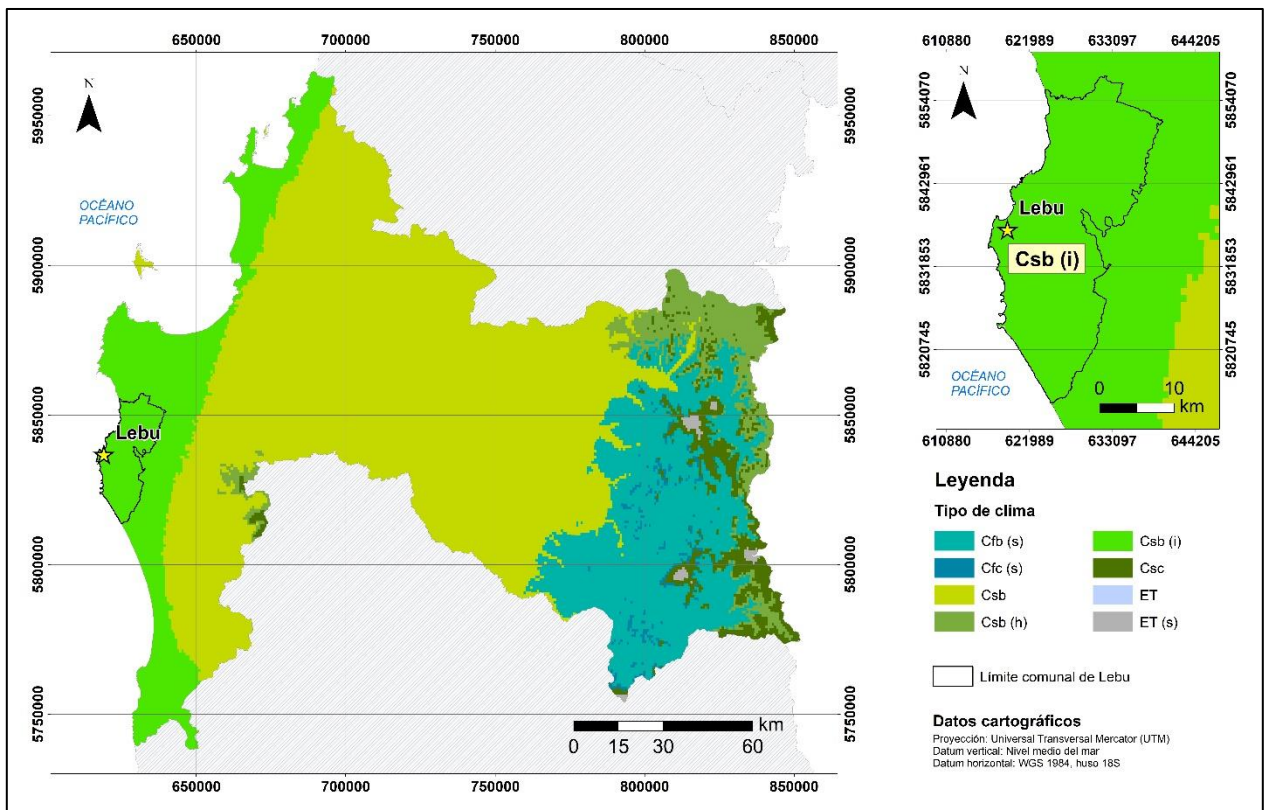


Figura. 2.6 Mapa de tipos de clima presentes en la región del Biobío. Basado en la clasificación de Köppen-Geiger (1936).

Hacia el interior el clima pasa a ser tipo Csb, mediterráneo de lluvia invernal, cubriendo la mayor parte de la región, abarcando toda la zona intermedia, bordes orientales de la Cordillera de la Costa y los sectores más bajos de la Precordillera. Adentrándose en el sector oriental de la región, entre Precordillera y Cordillera de Los Andes, el clima Csb (h), mediterráneo de lluvia invernal y el clima Csc, mediterráneo frío de lluvia invernal, dominan hacia el extremo NE, mientras que los climas Cfb (s), templado lluvioso con leve sequedad estival y, Cfc (s), templado lluvioso frío con influencia mediterránea, cubren gran parte como una franja aproximadamente NE-SW. Finalmente, hacia las zonas más altas de la Cordillera Andina, imperan climas de tundra invernal tipo ET y ET (s), caracterizados por ser fríos con presencia de nieves permanentes y abundantes precipitaciones que superan los 2000 mm anuales.

2.4.2 Clima local

A nivel local, la comuna de Lebu se encuentra inscrita completamente dentro del clima tipo Csb (i) de la clasificación de Köppen-Geiger (1936), presentando las características de un clima templado lluvioso, típico de la Cordillera de la Costa. Durante el año, se manifiestan de manera perceptible, las cuatro estaciones, con una temporada invernal larga, de alta nubosidad y lluviosa, con precipitaciones que rondan los 600-2.000 mm anuales (Figura. 2.7) y donde el mes de junio puede ser el más lluvioso; pero los veranos son de corta duración (EBP, 2017) y, en general, está ventoso la mayor parte del año. En cuanto a las temperaturas, estas son moderadas, oscilando entre 16° a 19°C de temperatura media durante el mes de enero (más caluroso), una media de entre 9° a 11°C en julio (mes más frío) y una amplitud térmica de entre 6° a 7°C (Ulloa, 2007).

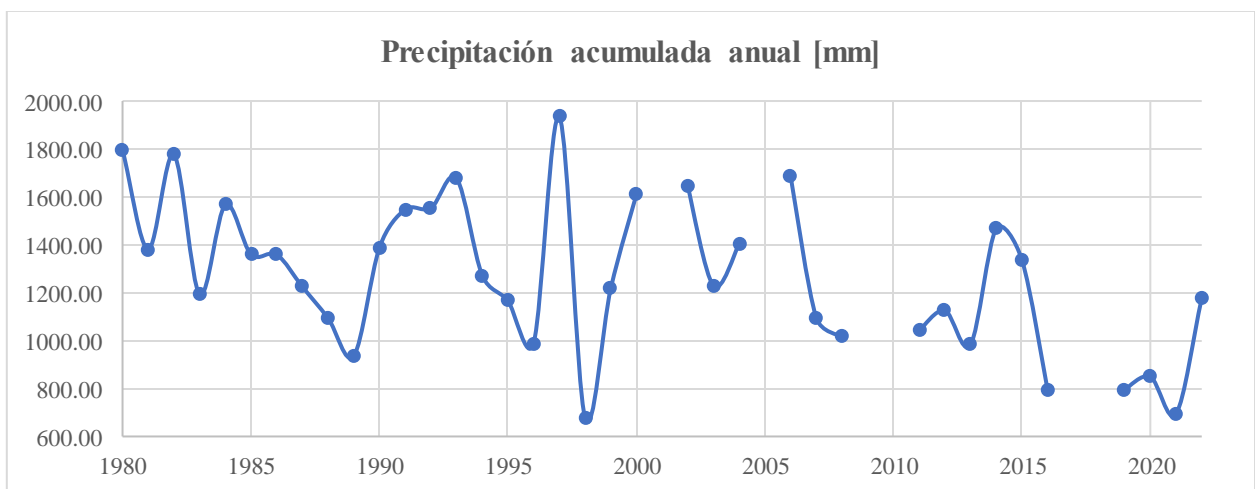


Figura. 2.7 Precipitaciones acumuladas anuales 1980-2022 en la comuna Lebu. Fuente: extraído de Dirección Meteorológica de Chile.

2.5 Edafología

2.5.1 Generalidades

La edafología, aquella parte de las ciencias de la tierra que se encarga de estudiar el suelo desde todos los puntos de vista tales como su morfología, composición, propiedades, formación y evolución, taxonomía y distribución, utilidad, recuperación y conservación, etc; constituye una de herramienta fundamental a la hora de describir el medio de producción y el medio donde se desenvuelven todos los factores relacionados con los recursos naturales.

A nivel nacional, Chile cuenta con una gran diversidad de suelos, contando con diez de los doce órdenes hasta ahora descritos por la taxonomía de suelos. A grandes rasgos, dos factores son claves para entender los suelos de Chile: el gradiente climático existente de norte a sur y reflejado principalmente en las precipitaciones; y la particular fisiografía del país, cuyo emplazamiento en un contexto de margen tectónico de convergencia de placas, crea macrounidades fisiográficas que van paralelas a la línea de costa (Universidad de Chile, 2018).

De acuerdo con la clasificación de los suelos de Chile en distintas Zonas Edáficas propuesta por Luzio (2010) (Tabla 2.1), la región del Biobío se encuentra dentro de la categoría C. Suelos de la Zona Mediterránea Árida que abarca desde los 32°00' hasta los 37°45' de latitud sur.

Tabla 2.1 Zonas Edáficas de Chile. Extraído de Luzio (2010).

Letra	Zona Edáfica	Desde	Hasta
A	Suelos de la Zona Desértica	18°00'S	29°00'S
B	Suelos de la Zona Árida y Semiárida	29°00'S	32°00'S
C	Suelos de la Zona Mediterránea Árida	32°00'S	37°45'S
D	Suelos de la Zona Mediterránea Húmeda	37°45'S	43°00'S
E	Suelos de la Zona Húmeda	43°00'S	50°00'S
F	Suelos de la Zona de Magallanes	50°00S	55°00'S
G	Suelos de la Zona Antártica	62°00S	63°00'S
H	Suelos de la Isla de Pascua y de Juan Fernández	-	-

Referente a los tipos de suelo según su orden en la clasificación taxonómica USDA, Luzio y Casanova, 2006 en su trabajo *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*, reeditado en el año 2020, indican que en la región del Biobío se caracteriza por la presencia de suelos Inceptisols, Alfisols, Mollisols, Andisols, Entisols, Ultisols y Vertisols, cuyas características principales se indican en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Características generales de los órdenes de suelos presentes en la región del Biobío. Basado en Luzio y Casanova, 2006 y CIREN, 2014.

Orden	Descripción
Alfisols	Suelos cuya característica esencial es poseer un horizonte B con incremento de arcilla en relación al horizonte A. Adecuadamente manejados, llegan a ser muy productivos ya que presentan un buen nivel de elementos nutrientes.
Andisols	Suelos derivados de cenizas volcánicas; en Chile corresponden a los trumaos y los ñadis; poseen excelentes condiciones físicas y morfológicas por lo cual se pueden cultivar con facilidad.
Entisols	Suelos de desarrollo muy limitado, que provienen de depósitos a luviales recientes, o son suelos muy delgados sobre roca, o suelos delgados en pendientes fuertes, o dunas estabilizadas con escasa acumulación de materia orgánica.
Inceptisols	Son suelos con mayor grado de desarrollo que los Entisols, ya que presentan un horizonte B bien definido; incluso pueden tener un horizonte superficial negro con alto contenido de materia orgánica.
Mollisols	Suelos profundos, con un horizonte superficial negro, rico en materia orgánica, formados en condiciones de estepa o de pradera. Son suelos fértiles con elevado potencial de rendimiento.
Ultisols	Suelos que, al igual que los Alfisols tienen un horizonte B bien expresado a causa de un incremento de la arcilla en relación con el horizonte A. Sin embargo, estos suelos son muy lixiviados y por lo tanto tienen bajos niveles de elementos nutrientes.
Vertisols	Suelos muy homogéneos con alto contenido de arcilla, más de 30%, de la cual la mayor parte debe ser del tipo expandible, por esta razón, al secarse se agrietan fácilmente.

Otra clasificación de suelos en la región del Biobío, corresponde a la presentada en el *Estudio agrológico Región del Biobío* realizado por CIREN en el año 2014 que compila información de estudios similares realizados entre los años 1972 a 1998, y presenta un mapa de capacidad de usos de suelo, que consituye una técnica interpretativa, basada en los efectos combinados del clima y sus características permanentes, con el objeto de ordenar los suelos para determinar su uso y señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos propios de una zona, como también indicar las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos. Las clases convencionales para definir la CUS se designan con números romanos del I al VIII, ordenadas de acuerdo a sus crecientes limitaciones y riesgos en el uso (Zelada y Maquire, 2005). La Tabla 2.3. Reúne las características generales de las clases definidas para la clasificación por Capacidad de Uso de Suelo.

Tabla 2.3 Características generales de las Clases en la clasificación cualitativa de Capacidad de Uso de Suelo. Modificado de CIREN (2014).

Nº Clase	Descripción
I	Suelos con pocas limitaciones que restrinjan su uso; casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, con buena capacidad de retención de humedad y la fertilidad natural es buena o responden en muy buena forma a las aplicaciones de fertilizantes.
II	Presentan algunas limitaciones que reducen la elección de los cultivos o requieren moderadas prácticas de conservación. Corresponden a suelos planos con ligeras pendientes; son profundos o moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje, con texturas favorables, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que los de Clase I.
III	Con moderadas limitaciones en su uso y restringen la elección de cultivos, aunque pueden ser buenos para ciertos cultivos. Tienen severas limitaciones que reducen la elección de plantas o

	requieren de prácticas especiales de conservación o de ambas. Los suelos de esta Clase requieren prácticas moderadas de conservación y manejo.
IV	Suelos con severas limitaciones de uso que restringen la elección de cultivos, requiriendo cuidadosas prácticas de manejo y de conservación, más difíciles de aplicar y mantener que las de la Clase III. Los suelos Clase IV pueden usarse para cultivos, praderas, frutales, praderas de secano, etc.
V	Tienen escaso o ningún riesgo de erosión, aunque presentan otras limitaciones que no pueden removerse en forma práctica y que limitan su uso a empastadas, praderas naturales de secano (range) o forestales. Los suelos de esta Clase son casi planos, demasiado húmedos o pedregosos y/o rocosos para ser cultivados.
VI	Corresponden a suelos inadecuados para cultivos y su uso está limitado a pastos y forestales; tienen limitaciones continuas que no pueden ser corregidas, tales como: pendientes pronunciadas, susceptibles a severa erosión; efectos de erosión antigua, pedregosidad excesiva, zona radicular poco profunda, excesiva humedad o anegamientos, clima severo, baja retención de humedad, alto contenido de sales o sodio.
VII	Poseen limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos. Su uso fundamental es pastoreo y forestal. Las restricciones de suelos son más severas que en la Clase VI por una o más de las limitaciones siguientes que no pueden corregirse: pendientes muy pronunciadas, erosión, suelo delgado, piedras, humedad, sales o sodio, clima no favorable, etc.
VIII	Corresponde a suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas.

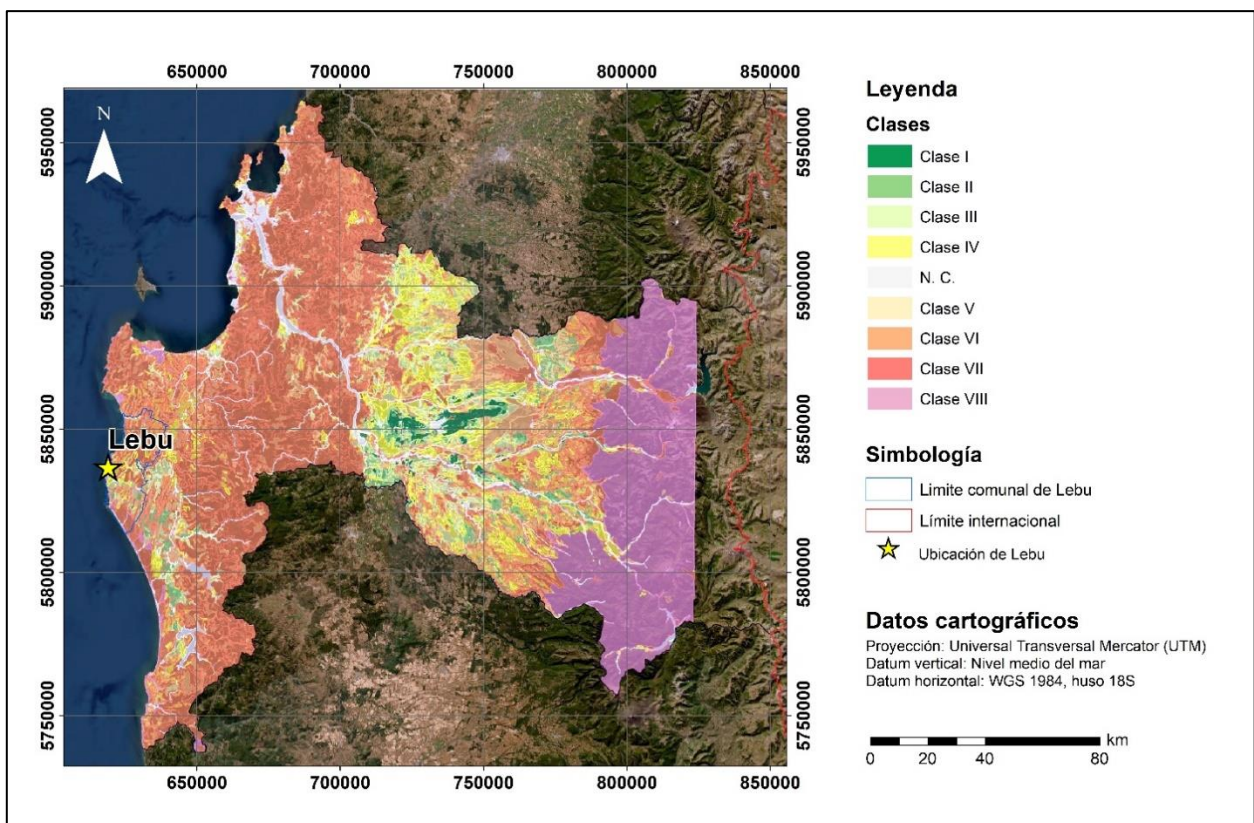


Figura. 2.8 Mapa de capacidad de usos de suelo (CUS) en la región del Biobío. Basado en capas vectoriales de SIMEF.

El mapa de la Figura 2.8, muestra la distribución de las capacidades de uso de suelo en la región y, de acuerdo con la información de CIREN (2014), de los 2.389 millones de hectáreas, un 41.99%

está representado por la Clase VII (mayor porcentaje) con un amplio desarrollo en el sector occidental de la región, y un 1.04% lo ocupa la Clase I (menor porcentaje), cuya presencia dominante se ubica en la comuna de Los Ángeles y cercanías de Nacimiento; además, en la región no se reporta presencia de suelos de Clase V. En la Tabla 2.4 se desglosan todos los porcentajes de distribución de CUS en la región del Biobío.

Tabla 2.4 Porcentajes de distribución de las Clases de suelo en la región del Biobío según clasificación CUS.
Extraído de visualizador virtual de SIMEF, basado en CIREN (2014).

Nº Clase	Porcentaje	Superficie (ha)
I	1,04%	24.845,6
II	4,29%	102.488,1
III	8,20%	195.898,0
IV	11,47%	274.018,3
N. C.	3,39%	80.987,1
VI	10,11%	241.527,9
VII	41,99%	1.003.141,1
VIII	19,50%	465.855,0

2.5.2 Edafología local

A escala local, de acuerdo con CIREN (2014), en la comuna de Lebu se reportan seis de las ocho clases de capacidad de uso de suelo (Figura. 2.9), estando la Clases I y V ausentes en el área. Respecto a la Clase VII, mayoritaria en el área de estudio, se tiene que esta ocupa un 54.62% de distribución en hectáreas (~30745.6 ha). Por su parte, las Clases VIII y II, corresponden a las clases con menor presencia en hectáreas de superficie, ocupando tan solo un 1.41% (~793.7 ha) y 2.31% (~1300.3 ha) del área de la comuna respectivamente. En la Tabla 2.5 se presentan todos los porcentajes de distribución de cada clase de capacidad de uso de suelo en la comuna de Lebu.

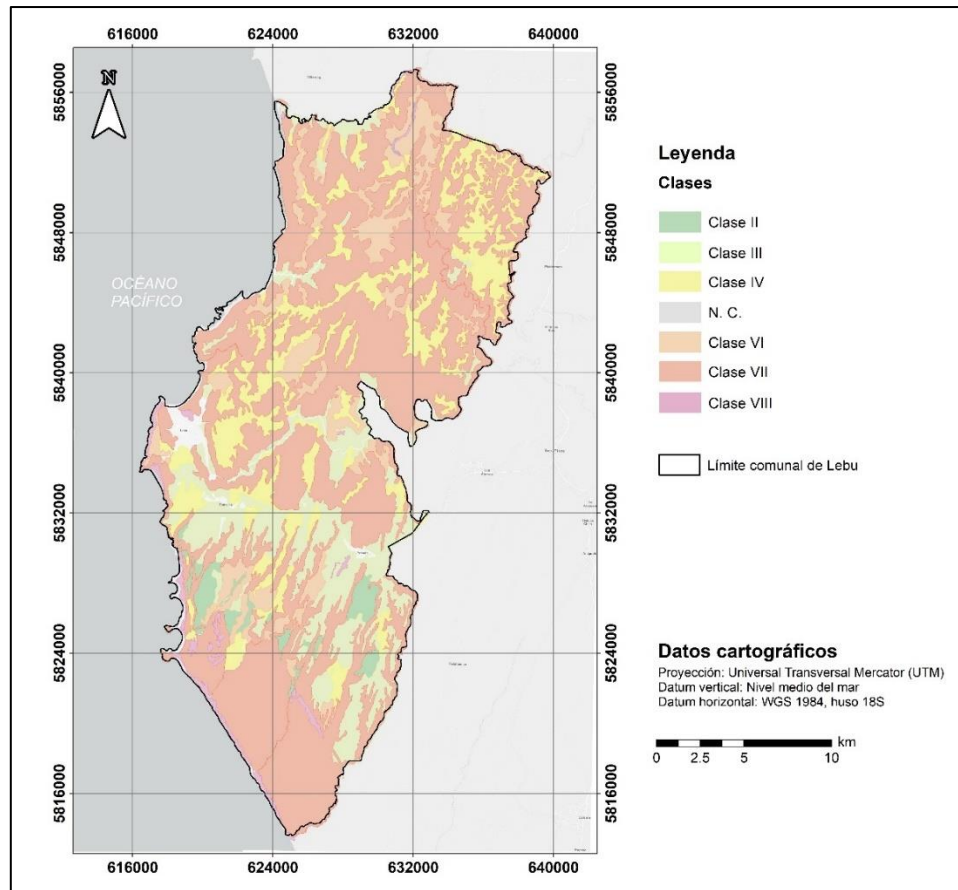


Figura. 2.9 Mapa de capacidad de usos de suelo (CUS) en la comuna de Lebu. Basado en capas vectoriales de SIMEF.

Tabla 2.5 Porcentajes de distribución de las Clases de suelo en la comuna de Lebu según clasificación CUS. Extraído de visualizador virtual de SIMEF, basado en CIREN (2014).

Nº Clase	Porcentaje	Superficie (ha)
II	2,31%	1.300,299
III	14,66%	8.252,114
IV	15,56%	8.758,724
N. C.	1,86%	1.046,994
VI	9,58%	5.392,582
VII	54,62%	30.745,598
VIII	1,41%	793,689

2.5.2.1 Series de uso de suelo

En la zona costera de la región del Biobío, dominio fisiográfico en el que se emplaza el área de estudio en su totalidad; los suelos que se han formado a partir de la evolución de los sedimentos marinos, forman extensas plataformas a lo largo de todo el borde del litoral. En varios sectores las terrazas marinas han sido afectadas por procesos de erosión geológica, resultando en pendientes

plana a fuertemente ondulada. Generalmente, estos suelos son moderadamente profundos a profundos, con moderado a buen drenaje. El contenido de materia orgánica fluctúa entre 3 a 6% en la superficie y las texturas varían entre franco limosa a arcillosa en la superficie, y franco arcillo limosa a arcillosa en el subsuelo (Stolpe, 2011).

Las Series de suelo en la comuna de Lebu, están representadas principalmente por suelos en posición de terrazas marinas y dunas costeras, particularmente por las series Caripilún, Merilupo, Antihuala, Paicaví y Dunas continentales (Stolpe, 2005). La Tabla 2.6 reúne las características generales de cada una de estas series de suelo.

Tabla 2.6 Características generales de las series de suelo presentes en el área de estudio. Modificado de Stolpe (2005) y CIREN (2014).

Serie	Textura	Descripción
Caripilún	Franco arcillosa	Miembro de la Familia arcillosa, mixta, isomésica de los Inceptisols. Son suelos delgados a moderadamente profundos y formados a partir de arenisca de grano fino. Poseen textura franco arcillosa, de color pardo rojizo oscuro en la superficie y textura franco arcillo limosa, de color pardo a pardo oscuro en profundidad. Ocupan una posición de cerros, con pendientes abruptas.
Merilupo	Franco arcillosa	Miembro de la Familia muy fina, mixta, isomésica de los Alfisols. Suelos profundos, formados a partir de sedimentos marinos, de textura franco arcillosa de color pardo rojizo oscuro en la superficie y texturas franco arcillosa y arcillosa, de color pardo rojizo oscuro y pardo rojizo en profundidad. Ocupa una posición de terraza marina alta.
Antihuala	Franco arcillo-limosa	Miembro de la Familia muy fina, mixta, mésica de los Alfisols. Suelo sedimentario profundo, en posición de terrazas marinas; posee textura superficial franco arcillosa a limosa, de color pardo rojizo oscuro; y en profundidad, posee texturas arcillosas y franco arcillo limosa, de colores pardo rojizo oscuro. Ocupa una posición de terraza marina suavemente ondulada y disectada por profundas quebradas que se orientan de Norte a Sur y conectadas con las que atraviesan la Serie Paicaví.
Paicaví	Franca, franco-limosa	Parte de la Familia medial, isomésica de los Andisols. Son suelos sedimentarios, profundos, formados a partir de cenizas volcánicas holocénicas, de textura franca a franco limosa, de color pardo oscuro en la superficie y textura franco arenosa muy fina, de color pardo a pardo oscuro en profundidad. Presenta características físicas típicas de los “trumaos”, muy suelto en seco y de baja densidad. Ocupan una posición de terraza plana a suavemente ondulada.
Dunas continentales	-	Pertenecen al Grupo de los suelos arenosos, que tienen bajo contenido de materia orgánica y colores oscuros por la composición mineralógica (andesítica-basáltica) del material generador. Generalmente, tienen texturas arenosas con o sin grava, estructura de grano simple y bajo contenido de agua aprovechable para cultivos. Corresponde a terrenos litorales, constituidos por arenas sueltas, sin vegetación y de topografía ondulada.

Espacialmente, las series en el área de estudio se distribuyen en “dos grupos” separados por el río Lebu (Figura. 2.10). Al norte del territorio de la comuna se distribuyen los suelos de la serie

Caripilún a modo de una elongada franja de orientación prácticamente N-S desde Arauco hasta Lebu, contigua a ella un poco más hacia el este, se encuentra la serie Merilupo con una distribución mucho más amplia, extendiéndose hasta conectar con dominios de la Cordillera de Nahuelbuta.

Por su parte, hacia el sur de Lebu, se distribuyen los suelos de las series Antihuala y Paicaví de forma amplia e interconectada, extendiéndose hasta más al sur de la comuna de Cañete. Adicionalmente también ocupan un área importante, los suelos de Dunas continentales a lo largo del borde costero, en una estrecha franja recorriendo localidades como Mina Costa, Morhuilla, y abarcando hasta más al sur de Tirúa.

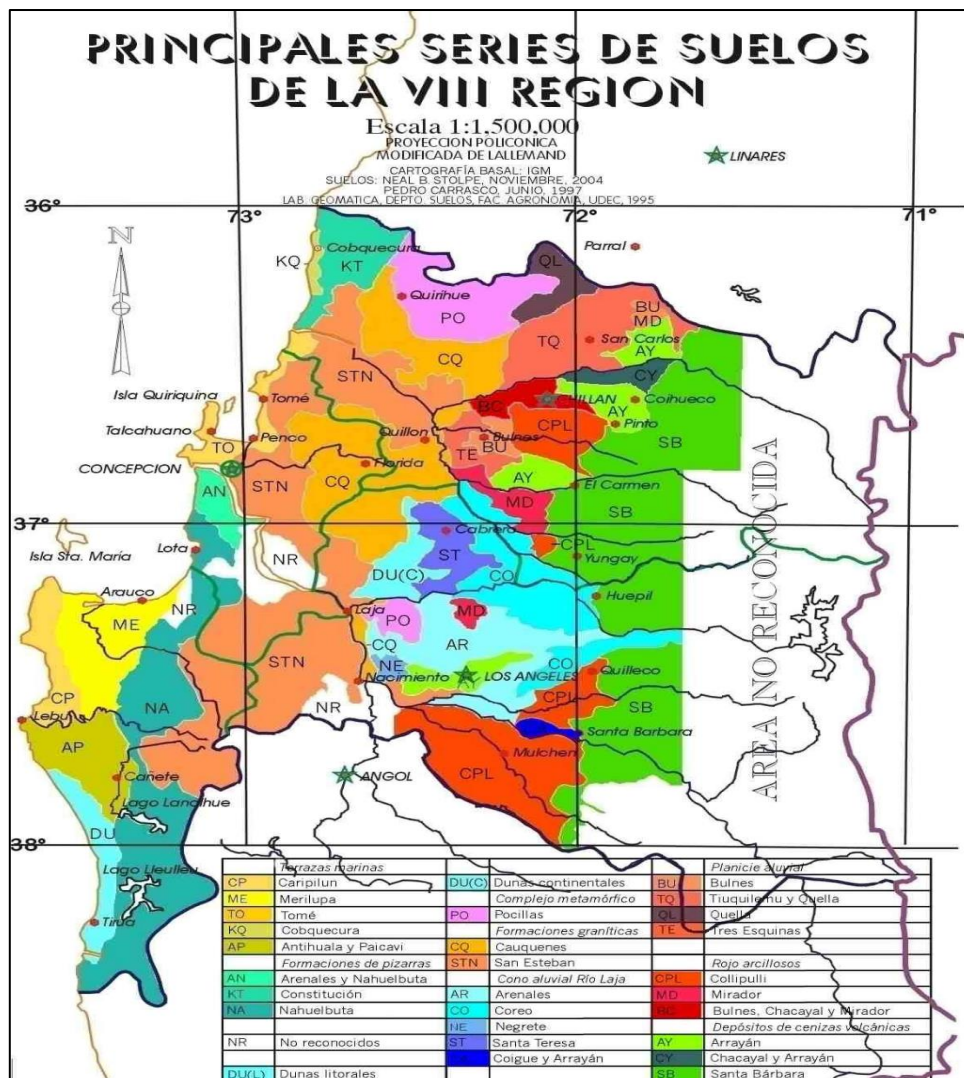


Figura. 2.10 Mapa regional de las principales series de suelo presentes en la VIII región del Biobío. Extraído de Stolpe (2005).

2.5.2.2 Tipos de uso de suelo

De acuerdo con la información proporcionada por el Sistema de Información Territorial de CONAF actualizada el año 2015 y publicada en 2017 (Figura 2.11), la distribución de los tipos de uso de suelo en la comuna de Lebu considera una superficie total de 55957.7 ha, de las cuales un 67.2 % (37603.3 ha) está ocupada por Bosques, correspondiendo al uso de suelo mayoritario en el área; un 21.78 % corresponde a Praderas y Matorrales, 7.16 % a Terrenos Agrícolas, 2.28 % a Áreas sin Vegetación, 0.78 % a Áreas Urbanas e Industriales, 0.43 % a Humedales y vegas, y finalmente, un 0.37 % a Otros Cuerpos de Agua. En la Tabla 2.7 se desglosan en mayor detalle la distribución de usos de suelo en el área.

Tabla 2.7 Distribución de los principales usos de suelo en la comuna de Lebu. Basado en datos del Sistema de Información Territorial de CONAF, actualizado el año 2015.

Uso	Sub uso	Porcentaje total	Porcentaje sub-uso	Superficie total (ha)	Superficie sub-uso (ha)
Bosques	Plantaciones forestales	67,2%	54,49 %	37.603,3	30.490,6
	Bosque mixto		2,07 %		1.159,4
	Bosque nativo		10,64 %		5.953,3
Praderas y Matorrales	Praderas	21,78%	8,21 %	12.187,7	4.592,4
	Praderas-Matorrales		1,39 %		778,6
	Matorrales		12,18 %		6.816,7
Terrenos Agrícolas	-	7,16%	7,16%	4.008,3	4.008,3
Áreas sin Vegetación	Áreas desprovistas de vegetación	2,28%	0,34 %	1.274,9	186,85
	Playas y Dunas		1,94 %		1.088,05
Áreas Urbanas e Industriales	-	0,78%	0,78%	435,5	435,5
Humedales y vegas	-	0,43%	0,43%	243,2	243,2
Otros Cuerpos de Agua	Lagos, Lagunas, Embalses, Tranques	0,37%	0,37%	204,8	204,8

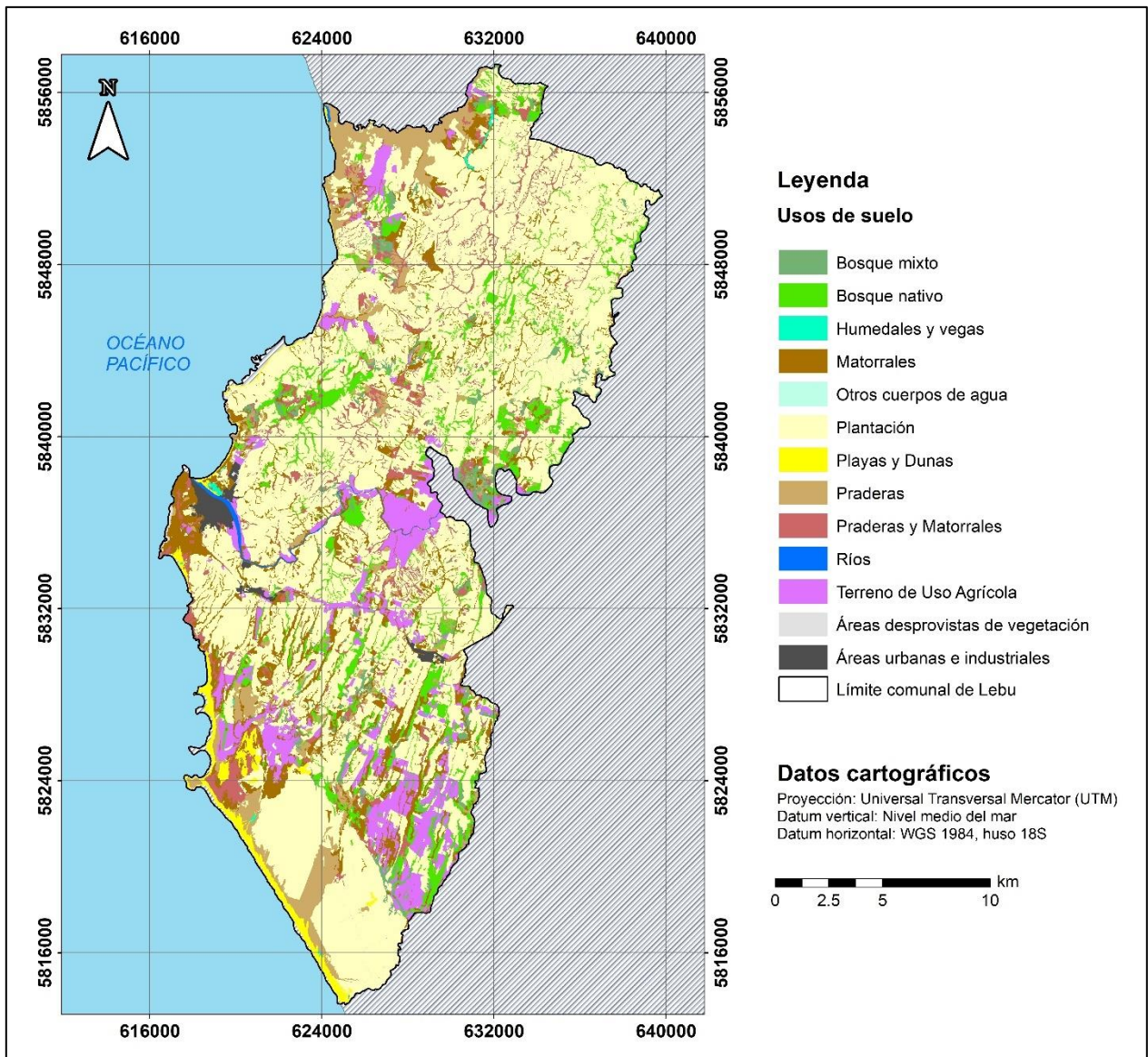


Figura. 2.11 Mapa de principales usos de suelo en la comuna de Lebu. Basado en capas vectoriales del Sistema de Información Territorial (SIT) de CONAF, actualizada el año 2015.

2.6 Ecología terrestre y marina

2.6.1 Ecología regional general

La Región del Biobío forma parte de uno de los 35 puntos críticos de diversidad o “hotspots” mundiales de biodiversidad, debido a la riqueza de especies y endemismo (Myers et al. 2000 en Pellet y Cornejo, 2021). Además, se inserta en una zona de transición biogeográfica (ecotono) entre el bosque esclerófilo de la zona central (bosque y matorral mediterráneo) y el bosque templado valdiviano, confluyendo elementos florísticos y faunísticos que contribuyen a aumentar y mantener una alta biodiversidad en la zona (SEREMI del Medio Ambiente región del Biobío, 2017).

De acuerdo con la información del portal web de CONAF, la gran biodiversidad tanto vegetal como faunística de la región, se ve reflejada en buena parte, por las importantes reservas ecológicas nacionales presentes como: Reserva Nacional Ralco, Reserva Nacional Isla Mocha, Reserva Nacional Laguna del Laja, Parque Nacional Nonguén o la Reserva Nacional Pemehue, en las que se pueden hallar especies animales como el puma, la vizcacha, monito del monte en el Parque Nonguén, el zorro chilla y culpeo, pudú, representantes anfibios como ranita de Darwin y aves como fardela blanca (endémica de Isla Mocha), búhos, chucaos, bandurrias, cóndor, etc. En cuanto a flora, destacan la lenga, ñirre, michay, roble, liuto amarillo, ciprés de la cordillera y araucarias (en Laguna del Laja), entre otras.

Sobre la vegetación en el área, CONAF (2020) indica que las regiones del Biobío, Maule, la Araucanía y Ñuble presentan la mayor superficie del subuso de suelo Plantaciones Forestales (81%), donde Biobío y Maule, se alzan como las regiones con mayor superficie de subuso Plantaciones Forestales que de Bosque Nativo y, en particular, en la VIII región se registran 875.178 ha de subuso Plantaciones y 597.572,7 ha de bosque nativo; donde *Pinus radiata* corresponde a la principal especie plantada.

Por otra parte, de acuerdo con el Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de la Región de Biobío publicado por CONAF el año 2017, las principales especies exóticas presentes en la región corresponden a *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, las que alcanzan el 95 % del subuso plantaciones forestales. Adicionalmente, en el mismo catastro también se informa que la superficie de bosque nativo en la región está clasificada en ocho tipos y quince subtipos

forestales, donde el tipo dominante corresponde a roble-raulí-coihue (*Nothofagus obliqua*, *Nothofagus dombeyi* y *Nothofagus alpina* respectivamente) con 514.058,9 hectáreas, representando el 60,8 % de la superficie de bosque nativo, seguido por el tipo forestal lenga con 147.616,2 ha (17,5 %) y el tipo forestal coihue-raulí-tepa con 52.095,6 ha correspondiente al 6,2% del bosque nativo regional.

Sobre la fauna terrestre dentro de la región, hasta el décimo tercer proceso de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente y evaluadas según el Reglamento de Clasificación de Especies, se han identificado 28 especies que poseen algún grado considerable de vulnerabilidad en su conservación. De estas, 5 especies se encuentran en estado Peligro Crítico (CR), 2 especies de anfibios: Sapo de Pecho Espinoso de Malleco (*Alsodes vittatus*) y ranita (*Rhinoderma rufum*); y 3 de reptiles: tortuga laúd, lagartija de Herman Núñez y matuasto del Laja (*Dermochelys coriácea*, *Liolaemus hermannunezi* y *Phymaturus vociferator* respectivamente); 10 especies están En Peligro (EN), encontrando especies emblemáticas como el Huemul (*Hippocamelus bisulcus*), la Ranita de Darwin (*Rhinoderma darwini*), Fardela Blanca (*Puffinus creatopus*), Sapo de Nahuelbuta (*Eupsophus nahuelbutensis*), entre otros. Para la categoría VU, algunas especies que están en esta categoría corresponden a la Rana chilena (*Calyptocephalella gayi*), güiña (*Leopardus guigna*), chungungo (*Lontra felina*) o el pudú (*Pudu puda*) (SEREMI del Medio Ambiente región del Biobío, 2017).

Tabla 2.8 Especies animales terrestres con algún grado de vulnerabilidad relevante. VU = Vulnerable, EN = En Peligro, CR = Peligro Crítico. Modificado de SEREMI del Medio Ambiente región del Biobío, 2017.

Nombre Común	Especie	Conservación	Clase	Orden
sapo de Barros	<i>Alsodes barrioi</i>	EN-R	Amphibia	Anura
sapo de pecho espinoso de Malleco	<i>Alsodes vittatus</i>	CR	Amphibia	Anura
playero ártico	<i>Calidris canutus</i>	EN	Ave	Charadriiformes
rana chilena	<i>Calyptocephalella gayi</i>	VU	Anfibio	Anura
ratón topo del matorral	<i>Chelemys megalonyx</i>	VU	Mammalia	Rodentia
tortuga verde, tortuga negra	<i>Chelonia mydas</i>	EN	Reptilia	Testudines
tortuga laúd, baula	<i>Dermochelys coriacea</i>	CR	Reptilia	Testudines
sapo de Contulmo	<i>Eupsophus contulmoensis</i>	EN	Amphibia	Anura
sapo de Isla Mocha	<i>Eupsophus insularis</i>	EN-R	Amphibia	Anura
sapo de Nahuelbuta	<i>Eupsophus nahuelbutensis</i>	EN-R	Amphibia	Anura

sapo	<i>Eupsophus roseus</i>	VU	Amphibia	Anura
huemul	<i>Hippocamelus bisulcus</i>	EN	Mammalia	Artiodactyla
güiña	<i>Leopardus guigna</i>	VU, NT	Mammalia	Carnivora
tortuga olivácea	<i>Lepidochelys olivacea</i>	VU	Reptilia	Testudines
lagartija de la Araucanía	<i>Liolaemus araucaniensis</i>	VU	Reptilia	Squamata
lagartija de Herman Núñez	<i>Liolaemus hermannunezi</i>	CR	Reptilia	Squamata
lagartija de Schröeder	<i>Liolaemus schroederi</i>	VU	Reptilia	Squamata
chungungo	<i>Lontra felina</i>	VU	Mammalia	Carnivora
matuasto del Laja, matuasto vociferador	<i>Phymaturus vociferator</i>	CR	Reptilia	Squamata
gruñidor del sur, lagarto de corbata	<i>Pristidactylus torquatus</i>	VU	Reptilia	Squamata
puđú	<i>Pudu puda</i>	VU	Mammalia	Artiodactyla
fardela blanca	<i>Puffinus creatopus</i>	EN	Aves	Procellariiformes
sapo de rulo	<i>Rhinella arunco</i>	VU	Amphibia	Anura
sapo	<i>Rhinella rubropunctata</i>	VU	Amphibia	Anura
ranita de Darwin	<i>Rhinoderma darwinii</i>	EN	Amphibia	Anura
ranita	<i>Rhinoderma rufum</i>	CR	Amphibia	Anura
pingüino de Humboldt	<i>Spheniscus humboldti</i>	VU	Aves	Sphenisciformes
sapo hermoso	<i>Telmatobufo venustus</i>	EN	Amphibia	Anura

Por otra parte, respecto de la ecología marina y, de acuerdo a la clasificación de ecosistemas marinos realizado por el Ministerio del Medio Ambiente (2016), la Región del Biobío posee 3 ecorregiones marinas: la ecorregión Pacífico Sudeste, Chile Central y Centro Sur. Dentro de la ecorregión Pacífico Sudeste, existen los ecosistemas Abisal-Pacífico Sudeste; Batibentónico-Pacífico Sudeste, y Mesobentónico-Pacífico Sudeste. Es decir 3 ecosistemas marinos oceánicos. La ecorregión Chile Central, presenta varios ecosistemas desde poniente hacia el continente, denominados Epibentónico Blando-Chile Central, Epibentónico Duro-Chile Central, Litoral Blando-Chile Central, Litoral Duro-Chile Central y la Zona de Surgencia-Chile Central. En tercer lugar, está la ecorregión Centro Sur, con los ecosistemas Epibentónico Blando-Centro Sur, Epibentónico Duro-Centro Sur, Litoral Duro-Centro Sur, Mesobentónico-Centro Sur y Litoral Blando-Centro Sur, todos ecosistemas marinos costeros. Además de lo anterior, se suman 5 macroecosistemas marinos, que atraviesan todos los anteriores: Litoral, Epipelágico, Mesopelágico, Batipelágico y Abisal. El mapa de la Figura. 2.12 resume visualmente la zonificación de todos los ecosistemas marinos presentes en la región del Biobío.

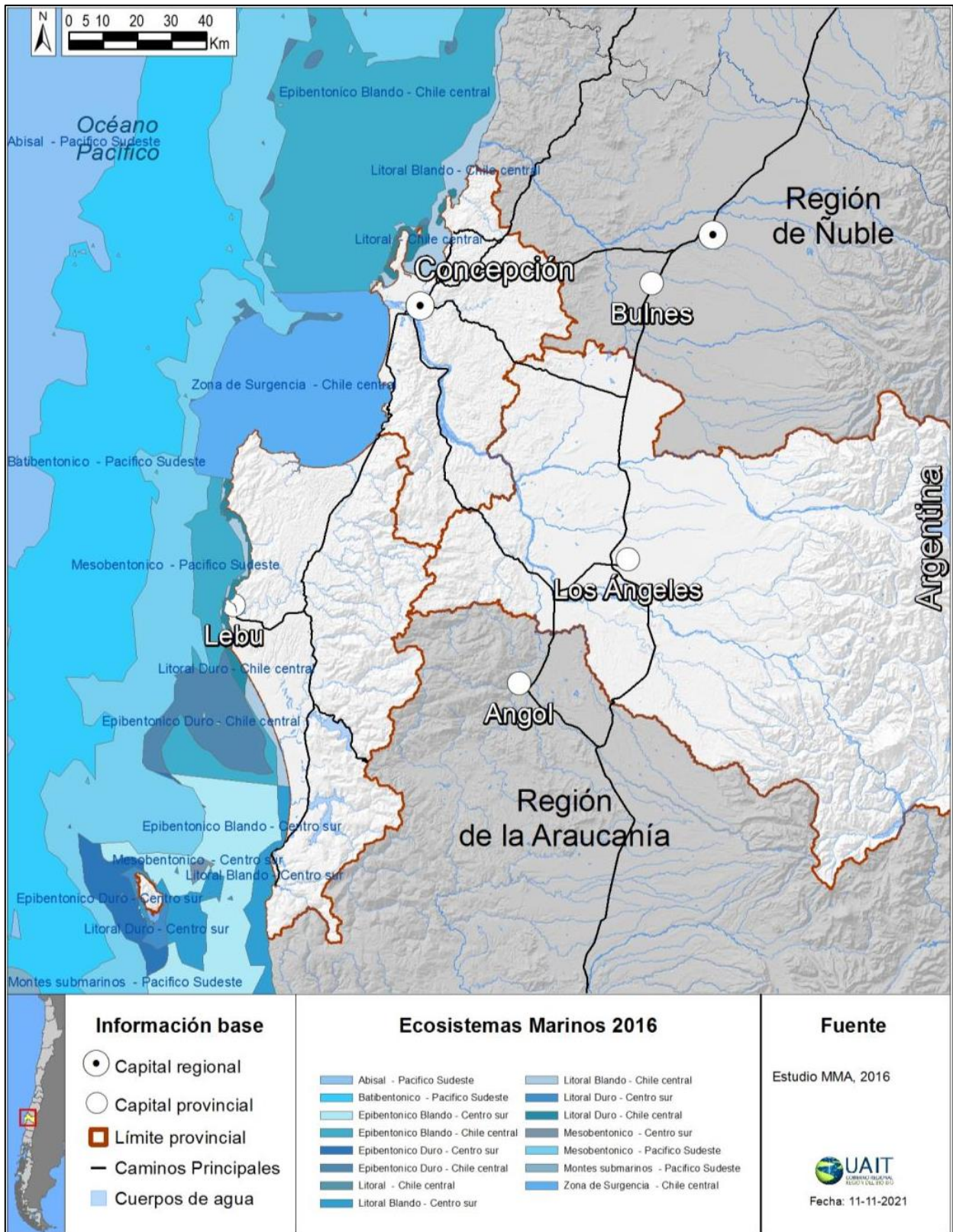


Figura. 2.12 Mapa de zonificación de ecosistemas marinos en la región del Biobío. Extraído de (SEREMI del Medio Ambiente, 2022).

Pese a toda la categorización en ecorregiones y ecosistemas marinos, el estado actual de los ecosistemas marinos y sus recursos marinos asociados continúa siendo ampliamente desconocido. No obstante, el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), recopila en sus Anuarios Estadísticos el detalle de la extracción total por toneladas de especies extraídas, en los subsectores de pesca industrial, artesanal y acuicultural. Destacan en la región del Biobío, la extracción de peces, con un 95.33% del total de toneladas extraídas, con jurel (*Trachurus murphyi*), sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) como las especies mayoritarias. En cuanto a moluscos y crustáceos, destacan la jibia (*Dosidicus gigas*) y langostinos amarillo y colorado (*Cervimunida Johni* y *Pleuroncodes monodon* respectivamente) principalmente. Adicionalmente también se registra la extracción de piures (*Pyura chilensis*) y pepinos de mar (*Athyonidium chilensis*), aunque solo como especies menores. Por su lado, las algas ocupan el tercer lugar en representación de especies marinas extraídas, con luga negra y luga cuchara o corta (*Sarcothalia crispata* y *Mazzaella laminaroides* respectivamente), cochayuyo (*Durvillaea antarctica*), pelillo (*Agarophyton chilensis*) y huiro negro (*Lessonia berteorana*) como los principales ejemplares dominantes. La Tabla 2.9 resume los totales de desembarque para la región del Biobío correspondientes al año 2021.

Tabla 2.9 Resumen del desembarque total según tipo de especies marinas para la región del Biobío, año 2021. Modificado de SERNAPESCA (2021).

Tipo	Desembarque (ton)	Porcentaje	Especies principales
Algas	14.419	1,30%	<i>Sarcothalia crispata</i> , <i>Mazzaella laminaroides</i> , <i>Durvillaea antártica</i> , <i>Agarophyton chilensis</i> , <i>Lessonia berteorana</i>
Peces	1.054.332	95,33%	<i>Trachurus murphyi</i> , <i>Strangomera bentincki</i> , <i>Engraulis ringens</i>
Moluscos	30.252	2,74%	<i>Dosidicus gigas</i>
Crustáceos	6.892	0,62%	<i>Cervimunida Johni</i> , <i>Pleuroncodes monodon</i>
Especies menores	73	0,01%	<i>Pyura chilensis</i> , <i>Athyonidium chilensis</i>

2.6.2 Ecología terrestre y marina local

A escala local a lo largo de todo su territorio, la comuna de Lebu también cuenta con una gran biodiversidad ecológica, representada por una amplia variedad de especies nativas e introducidas, entre plantas y grandes árboles que conforman amplios bosques recubriendo gran parte del área, y animales terrestres entre mamíferos, anfibios, reptiles, aves que se desplazan, buscan refugio y desarrollan su vida por los distintos hábitats del lugar como humedales, vegas, cerros, playas y

dunas, praderas, bosque nativo, etc. Adicionalmente, también se registran algunos representantes del reino fungi que se adosan al sustrato del suelo o a las distintas plantas.

Por otra parte, la ecología marina del área se caracteriza principalmente por la gran cantidad de peces que habitan el borde costero, además de algunas especies de algas, moluscos y crustáceos que son de gran interés económico para las actividades de pesca y acuicultura de Lebu. Adicionalmente, cabe mencionar también, la presencia de algunas especies de aves costeras que pululan recurrentemente el litoral de la comuna.

2.6.2.1 Vegetación

Respecto de la vegetación, el área de estudio registra 726 unidades de plantación en toda su superficie, la cual corresponde a 55.506,5 ha. De tales unidades, el 65,2% corresponde a Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el 32,4% corresponde a Pino insigne (*Pinus radiata*), el 0,8% corresponde a Eucalipto brillante (*Eucalyptus nitens*), el 0,2% corresponde a Castaño (*Castanea sativa*), el 0,1% corresponde a Gomero gigante (*Eucalyptus regnans*), el 0,1% corresponde a Eucalipto blanco (*Eucalyptus viminalis*) y, el 1,2% restante se denomina la plantación de “otras especies”, con 9 unidades de plantaciones (INFOR, 2013 en SIMEF, 2018).

Por otra parte, CONAF (2008) en su “Catastro de uso de suelo y vegetación”, indica que en el uso “bosque”, la superficie que corresponde al sub-uso bosque nativo es 11,4%, el cual se encuentra en los bordes norte y centro de la comuna. Este bosque nativo, se compone de tres tipos forestales: el tipo forestal siempreverde, forestal esclerófilo y forestal roble-raulí-coihue. Respecto del tipo forestal siempreverde, este cubre un 58,2% del total de este sub-uso, posicionándose como el tipo forestal dominante respecto al bosque nativo del área; y las principales especies representativas corresponden al Olivillo (*Aextoxicon punctatum*), seguido de la Luma (*Amomyrtus luma*). Por su parte, el tipo forestal esclerófilo cubre un 25,3% del total y, el tipo forestal roble-raulí-coihue un 16,5% del total.

Adicionalmente a lo anterior, en Lebu también se registran especies conocidas comúnmente como: Nalca (*Gunnera tinctoria*), que destaca por su relevancia económica en el área; Huantata, Junquillo, Boldo, Choncho, Hinojo, Maqui, Natre, Chupalla, Michay, Costilla de Vaca, Chupón, Rabanito (Municipalidad de Lebu, 2021), además de avellanos, acompañados por arrayanes de gran tamaño

y regeneración de notro y avellanillo, una buena cantidad de especies de arbustos y flores nativas tales como chilco, copihue, murta, tabaco del diablo, entre otras (Parque Eólico Lebu-Toro, 2023). La Tabla 2.10, reúne las principales especies florales presentes en la comuna de Lebu.

Tabla 2.10 Principales especies de la flora presente en la comuna de Lebu. Basado en Municipalidad de Lebu (2021) e información web del Parque Eólico Lebu-Toro (2023).

Nombre Común	Especie	Origen	Nombre Común	Especie	Origen
Hualtata	<i>Alisma lanceolatum</i>	Exótica	Tupa o tabaco del diablo	<i>Lobelia tupa</i>	Nativa
Junquillo	<i>Juncus sp.</i>	No aplica	Rigid hornwort	<i>Ceratophyllum demersum</i>	Exótica
Boldo	<i>Peumus boldus</i>	Nativa	Ciprés	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Exótica
Choncho	<i>Lupinus arboreus</i>	Exótica	Batro	<i>Schoenoplectus americanus</i>	Nativa
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i>	Exótica	Espinillo	<i>Ulex europaeus</i>	Exótica
Maqui	<i>Aristotelia chilensis</i>	Nativa	Aromo australiano	<i>Acacia melanoxylon</i>	Exótica
Natre	<i>Solanum crispum</i>	Nativa	Nalca	<i>Gunnera tinctoria</i>	Nativa
Rabanito	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Exótica	Lahue	<i>Herbertia lahue</i>	Nativa
Retamilla	<i>Teline monspessulana</i>	Exótica	Arrayán	<i>Luma apiculata</i>	Nativa
Sombrillita de agua	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Exótica	Chilco	<i>Fuchsia magellanica</i>	Nativa
Trébol	<i>Trifolium repens</i>	Exótica	Avellano	<i>Gervuina avellana</i>	Nativa
Voqui colorado	<i>Cissus striata</i>	Nativa	Notro	<i>Embothrium coccineum</i>	Nativa
Zarzamora	<i>Rubus ulmifolius</i>	Exótica	Palo negro	<i>Lomatia dentata</i>	Nativa
Olivillo	<i>Aextoxicon punctum</i>	Nativa	Copihue	<i>Lapageria rosea</i>	Nativa
Chupalla	<i>Eryngium paniculatum</i>	Nativa	Murtilla	<i>Ugni molinae</i>	Nativa
Michay	<i>Berberis microphylla</i>	Nativa	Sauco del diablo	<i>Raukaua laetevirens</i>	Nativa
Costilla de Vaca	<i>Blechnum chilense</i>	Nativa	Maitén	<i>Maytenus boaria</i>	Nativa
Chupón	<i>Greigia sphacelata</i>	Nativa			

2.6.2.2 Fauna terrestre

Respecto de los animales terrestres, en Lebu es posible hallar registros de diversas especies animales, representados principalmente por aves (Tabla 2.11) y pequeños mamíferos (Tabla 2.12).

La avifauna presenta la mayor diversidad en número de especies presentes en el área, pudiendo hallar más de un centenar de especies diferentes (Pellet y Cornejo, 2021), entre las que destacan aves comúnmente conocidas como: Chucao, Churrín, Hued-hued, Tijeral, Rayadito, Cachudito

(Parque Eólico Lebu-Toro, 2023), así como también Jote de cabeza colorada, Chincol, Loica, Siete colores, Zorzal, Rara, entre otras (Navarro-Moena, 2018).

Tabla 2.11 Principales especies de aves presentes en la comuna de Lebu. Basado en Navarro-Moena, 2018; Municipalidad de Lebu, 2021 y Parque Eólico Lebu-Toro, 2023.

Nombre común	Especie	Nombre común	Especie
Codomiz	<i>Callipepla californica</i>	Tijeral	<i>Leptasthenura aegithaloides</i>
Yeco	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Colilarga	<i>Sylviothorhynchus desmursii</i>
Garza chica	<i>Egretta thula</i>	Mero	<i>Agriornis livida</i>
Garza grande	<i>Ardea alba</i>	Colegial	<i>Lessonia rufa</i>
Bandurria	<i>Theristicus melanpis</i>	Fio-fio	<i>Elaenia albiceps</i>
Cuervo de pantano	<i>Plegadis chihi</i>	Diucón	<i>Pyrope</i>
Jote de cabeza negra	<i>Coragyps atratus</i>	Siete colore	<i>Tachuris rubrigastra</i>
Jote de cabeza colorada	<i>Cathartes aura</i>	Run-run	<i>Hymenops perspicillata</i>
Bailarín	<i>Elanus leucurus</i>	Viudita	<i>Colorhamphus parvirostris</i>
Vari	<i>Circus cinereus</i>	Dormilona tontita	<i>Muscisaxicola macloviana</i>
Peuco	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Cachudito	<i>Anairetes parulus</i>
Aguilucho común	<i>Buteo polyosoma</i>	Rara	<i>Phytotoma rara</i>
Carnícalo	<i>Falco sparverius</i>	Golondrina chilena	<i>Tachycineta meyeni</i>
Halcón perdiguero	<i>Falco femoralis</i>	Golondrina de dorso negro	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>
Halcón peregrinus	<i>Falco peregrinus</i>	Chercán	<i>Troglodytes aedon</i>
Tiuque	<i>Milvago chimango</i>	Chercán de las vegas	<i>Cistothorus platensis</i>
Queltehue	<i>Vanellus chilensis</i>	Zorzal	<i>Turdus falcklandii</i>
Becacina	<i>Gallinago paraguayae</i>	Tenca	<i>Mimus thenca</i>
Torcaza	<i>Columba araucana</i>	Chincol	<i>Zonotrichia capensis</i>
Paloma	<i>Columba livia</i>	Cometocino patagónico	<i>Phrygilus patagonicus</i>
Tórtola	<i>Zenaida auriculata</i>	Chirihue	<i>Sicalis luteola</i>
Tortolita cuyana	<i>Columbina picui</i>	Diuca	<i>Diuca diuca</i>
Lechuza	<i>Tyto alba</i>	Yal	<i>Phrygilus fruticeti</i>
Tucúquere	<i>Bubo magellanicus</i>	Tordo	<i>Curaeus</i>
Concón	<i>Strix rufipes</i>	Mirlo	<i>Molothrus bonariensis</i>
Nuco	<i>Asio flammeus</i>	Trile	<i>Agelaius thilius</i>
Pequén	<i>Athene cunicularia</i>	Loica	<i>Sturnella loyca</i>
Chuncho	<i>Glaucidium nanum</i>	Jilguero	<i>Sporagra barbata</i>
Picaflor	<i>Sephanoides</i>	Gorrión	<i>Passer domesticus</i>
Carpintero	<i>Picodes lignarius</i>	Chucao	<i>Scelorchilus rubecula</i>
Pitío	<i>Colaptes pitius</i>	Turca	<i>Pteroptochos megapodius</i>
Churrete	<i>Cinclodes patagonicus</i>	Hued-hued	<i>Pteroptochos tarnii</i>
Churrete chico	<i>Cinclodes fuscus</i>	Gaviota dominicana	<i>Larus dominicanus</i>
Churrete acanelado	<i>Cinclodes fuscus</i>	Tagua	<i>Fulica armillata</i>
Trabajador	<i>Phleocryptes melanops</i>	Zampullín picogruoso	<i>Podilymbus podiceps</i>
Bandurrilla	<i>Upucerthia dumetaria</i>	Zarapito de pico curvo	<i>Numenius phaeopus</i>

Respecto de los mamíferos, dentro del área de estudio es posible hallar ejemplares de los órdenes taxonómicos: *Rodentia*, *Microbiotheria*, *Chiroptera*, *Carnivora* y *Artiodactyla*, entre los que destacan el Coipo (*Myocastor coypus*), Monito del Monte (*Dromiciops gliroides*), Puma (*Puma concolor*), Pudú (*Pudu puda*) y Güiña (*Leopardus guigna*). (Iriarte, 2008; Navarro-Moena, 2018).

Tabla 2.12 Principales especies de mamíferos terrestres presentes en la comuna de Lebu. Basado en Iriarte, 2008; Navarro-Moena, 2018 y Municipalidad de Lebu, 2021.

Nombre común	Especie	Orden
Ratón topo del matorral	<i>Chelemys megalonyx</i>	<i>Rodentia</i>
Monito del monte	<i>Dromiciops gliroides</i>	<i>Microbiotheria</i>
Murciélago cola de ratón	<i>Tadarida brasiliensis</i>	<i>Chiroptera</i>
Murciélago orejas de ratón	<i>Myotis chiloensis</i>	<i>Chiroptera</i>
Murciélago orejudo mayor	<i>Histiotus macrotus</i>	<i>Chiroptera</i>
Murciélago orejudo menor	<i>Histiotus montanus</i>	<i>Chiroptera</i>
Ratón oliváceo	<i>Abrothrix olivaceus</i>	<i>Rodentia</i>
Ratón lanudo	<i>Abrothrix longipilis</i>	<i>Rodentia</i>
Lauchón orejudo de Darwin	<i>Phyllotis darwini</i>	<i>Rodentia</i>
Zorro culpeo	<i>Lycalopex culpaeus</i>	<i>Carnivora</i>
Ratón de cola larga	<i>Oligoryzomys longicaudatus</i>	<i>Rodentia</i>
Coipo	<i>Myocastor coypus</i>	<i>Rodentia</i>
Pudú	<i>Pudu puda</i>	<i>Artiodactyla</i>
Güiña	<i>Leopardus guigna</i>	<i>Carnivora</i>
Puma	<i>Puma concolor</i>	<i>Carnivora</i>
Chungungo	<i>Lontra felina</i>	<i>Carnivora</i>
Laucha doméstica	<i>Mus musculus</i>	<i>Rodentia</i>
Guarén	<i>Rattus norvegicus</i>	<i>Rodentia</i>
Chingue	<i>Conepatus chinga</i>	<i>Carnivora</i>
Quique	<i>Galactis cuja</i>	<i>Carnivora</i>

Adicionalmente, en Lebu también se registran algunas especies de anfibios y reptiles (Tabla 2.13) entre las que destacan, aquellas conocidas comúnmente como: Lagartija lemniscata (*Liolaemus lemniscatus*), Lagarto chileno (*Liolaemus chiliensis*), Rana chilena (*Calyptocephalella gayi*), Sapo de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*), Sapito de antifaz (*Bathachyla taeniata*), Culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*), entre otras (Navarro-Moena, 2018).

Tabla 2.13 Principales especies de anfibios y reptiles presentes en la comuna de Lebu. Basado en Navarro-Moena, 2018 y Municipalidad de Lebu, 2021.

Nombre común	Especie	Orden
Sapo arriero	<i>Alsodes nodosus</i>	Amphibia
Rana chilena	<i>Calyptocephalella gayi</i>	Amphibia
Sapito de antifaz	<i>Bathachyla taeniata</i>	Amphibia
Sapito de cuatro ojos	<i>Pleurodema thaul</i>	Amphibia
Culebra de cola larga	<i>Philodryas chamissonis</i>	Reptilia
Culebra de cola corta	<i>Tachymenis chilensis</i>	Reptilia
Sapo de Contulmo	<i>Eupsophus contulmoensis</i>	Amphibia
Sapo de rulo	<i>Rhinella arunco</i>	Amphibia
Lagartija lemniscata	<i>Liolaemus lemniscatus</i>	Reptilia
Lagarto chileno	<i>Liolaemus chiliensis</i>	Reptilia
Lagartija de las paredes	<i>Liolaemus tenuis</i>	Reptilia
Lagarto nítido	<i>Liolaemus nitidus</i>	Reptilia
Lagartija valdiviana	<i>Liolaemus cyanogaster</i>	Reptilia

2.6.2.3 Ecología marina

Como se mencionó anteriormente, existen diversos ecosistemas marinos en las costas de la región del Biobío. Particularmente, frente al borde costero de la comuna de Lebu se reconocen los ecosistemas Litoral Duro-Chile central, Litoral Duro-Chile central, Epibentónico Duro-Chile central y Mesobentónico Pacífico Sudeste, principalmente. Inmersos en estas regiones marítimas es posible hallar especies de peces, además de algas, moluscos y crustáceos. La Tabla 2.14, resume las principales especies marinas presentes en las costas del área de estudio, de acuerdo con SERNAPESCA (2021). Adicionalmente, cabe destacar la presencia de diversas aves costeras como: Tordo, Chincol, Chirihue, Jote, Churrín, Zarapito de pico curvo, Gaviotas dominicanas, Pilpilenes, entre otras (Ver Tabla 2.11); y la especie mamífera costera *Otaria flavescens*, correspondiente al lobo marino común, muy recurrente en la zona.

Tabla 2.14 Principales especies marinas presentes en la comuna de Lebu. Basado en SERNAPESCA (2021); Olgún y Bernal (2018) y Osorio (2002).

Tipo	Desembarque (ton)	Porcentaje	Especies principales	Especie
Algas	3.945	7,28%	Cochayuyo Huiro negro Huiro palo Luche Luga cuchara o corta Luga negra o crespá	<i>Durvillaea antarctica</i> <i>Lessonia berteorana</i> <i>Lessonia trabeculata</i> <i>Porphyra columbina</i> <i>Mazzaella laminarioides</i> <i>Sarcothalia crispata</i>
Peces	28.404	52,39%	Albacora Atún aleta amarilla Atún aleta larga Atún chauchera Atún ojos grandes Bacalao de profundidad Cojinoba del sur o azul Congrio colorado Congrio dorado Congrio negro Corvina Jurel Lenguado Merluza común Pejegallo Pez sol Raya espinosa Raya volantín Reineta Sierra Tiburón fume Tiburón marrajo Tiburón sardinero Tollo Trucha arcoíris	<i>Xiphias gladius</i> <i>Thunnus albacares</i> <i>Thunnus alalunga</i> <i>Gasterochisma melampus</i> <i>Thunnus obesus</i> <i>Dissostichus elegendoides</i> <i>Serirolella caerulea</i> <i>Genypterus chilensis</i> <i>Genypterus blacodes</i> <i>Genypterus maculatus</i> <i>Cilus gilberti</i> <i>Trachurus murphyi</i> <i>Paralichthys adspersus</i> <i>Merluccius gayi gayi</i> <i>Callorhynchus callorhynchus</i> <i>Lampris guttatus</i> <i>Dipturus trachyderma</i> <i>Zearaja chilensis</i> <i>Brama australis</i> <i>Thyrsites atun</i> <i>Hexanchus griseus</i> <i>Isurus oxyrinchus</i> <i>Lamna nasus</i> <i>Mustelus mento</i> <i>Oncorhynchus mykiss</i>
Moluscos	21.814	40,24%	Almeja Caracol tegula Caracol trumulco Choro zapato Jibia Lapa negra Lapa picta Taquilla	<i>Venus antiqua</i> <i>Tegula atra</i> <i>Chorus giganteus</i> <i>Choromytilus chorus</i> <i>Dosidicus gigas</i> <i>Fissurella latimarginata</i> <i>Fissurella picta</i> <i>Mulinia edulis</i>
Crustáceos	49	0,09%	Jaiba limón Jaiba marmola Jaiba mora Jaiba pancora Jaiba reina Jaiba remadora	<i>Cancer porteri</i> <i>Metacarcinus edwardsii</i> <i>Homalaspis plana</i> <i>Aegla laevis talcahuano</i> <i>Cancer plebejus</i> <i>Ovalipes trimaculatus</i>
Especies menores	1	<0,002%	Pepino de mar Piure	<i>Athyonidium chilensis</i> <i>Pyura chilensis</i>

2.7 Contexto demográfico y asentamientos humanos

2.7.1 Generalidades

De acuerdo con la información que entregan los Censos de Población y Viviendas, realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), desde 1992 a 2017, la población de Chile ha experimentado un drástico cambio en su constitución demográfica. Esto queda marcado por una tendencia continua al envejecimiento; una población que migra para radicarse en los centros poblados, que cuenten con los servicios de salud, educación, vivienda, alcantarillado, agua potable, energía, comunicación con otros centros poblados, incrementándose de esta manera la población urbana, constituyéndose una red de asentamientos de diversos tamaños de población, con organizaciones diferentes, con un dominio territorial diferenciado y con una estructura social y económica funcional a sus labores individuales (Universidad de Chile, 2019).

A escala regional, el Biobío es una de las divisiones administrativas más importantes en el país. Luego de Santiago y la región de Valparaíso, el área metropolitana del Gran Concepción es el tercer conglomerado urbano del país. Anterior al año 2018, la región contaba también con el territorio de Ñuble como una cuarta provincia, por lo que las estadísticas censales de ese entonces deben revisarse con mayor detenimiento si se desea conocer únicamente aquellos datos correspondientes al Biobío; la Tabla 2.15 presenta un resumen de la población regional para los años 1992, 2002 y 2017, según la división administrativa actual.

Tabla 2.15 Población total de la región del Biobío para los años 1992, 2002 y 2017. Basado en los resultados censales oficiales del INE

Año	Mujeres	Hombres	Total
1992	666.231	648.825	1.315.056
2002	629.990	667.097	1.297.087
2017	806.075	750.730	1.556.805

Luego de la separación administrativa que dio paso a la nueva región de Ñuble en el periodo 2017-2018, la superficie del Biobío pasó a ser de 24.021 km², representando el 3.2% del territorio nacional y, según los datos del último censo, la población total al año 2017 (Tabla 2.16), fue de 1.556.805 habitantes, de los cuales el 51,7% son mujeres y el 48,3% por ciento son hombres, alcanzando una densidad de 64,8 habitantes por kilómetro cuadrado. Los grandes grupos etarios

que predominan en la región corresponden en un 20,1% a menores de quince años, un 67,7% entre 15 y 64 años y un 12,3% de 65 años o más; siendo la edad promedio 36 años. En relación con la distribución de la población regional, el 88,6% y el 11,4% es rural.

Tabla 2.16 Población urbana y rural de la región del Biobío para el año 2017. Basado en los resultados censales oficiales del INE.

Población			Viviendas		
Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
1.379.015	177.790	1.556.805	494.790	78.782	573.572

2.7.2 Demografía local

Respecto de la demografía en el área de estudio, se presentan en primer lugar, las cifras totales para la población durante los años 1992, 2002 y 2017 (Tabla 2.17), de acuerdo con los resultados oficial presentados por el INE.

Tabla 2.17 Población total en la comuna de Lebu durante los años 1992, 2002 y 2017. Basado en los resultados censales oficiales del INE.

Censo	Mujeres	Hombres	Total
1992	12.336	12.421	24.757
2002	11.859	11.547	23.406
2017	13.081	12.441	25.522

Particularmente, de acuerdo con el último censo nacional, los resultados indican que alrededor de los 562,9 km² de superficie de la comuna, se distribuyen, un total de 25.522 personas, contando entre ellos a 12.441 hombres y 13.081 mujeres. Por otra parte, la densidad poblacional de Lebu es de 44,6 hab./km²; entre las que 2.251 personas corresponden a habitantes de sectores rurales y representan el 8,82% del total comunal, mientras que la mayor cantidad de habitantes reside en el área urbana y corresponden a de 23.271 personas, siendo esta cifra el 91,18% del total de habitantes de Lebu. La Tabla 2.18 desglosa la población urbana y rural por distrito censal en la comuna de Lebu.

Tabla 2.18 Población urbana y rural por distrito censal en la comuna de Lebu. Basado en los resultados censales oficiales del INE.

Distrito censal	Superficie (km ²)	Población			Viviendas		
		Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total
Lebu Poniente	7,2	7.716	25	7.741	2.623	8	2.631
Millongue	106,5	6.925	153	7.078	2.485	127	2.612
Ranquil	50,8	0	189	189	0	88	88
Quilañanco	58,9	0	0	0	0	0	0
Los Cambuchos	56,1	0	72	72	0	47	47
Pehuén	35,9	99	128	227	35	59	94
Morhuilla	149,8	1.221	614	1.835	475	297	772
Santa Rosa	42,2	1.168	432	1.600	449	176	625
Isla Mocha	49,1	0	419	419	0	239	239
Lebu Oriente	3,8	6.320	13	6.333	2.165	6	2.171
Rezagados	-	28	0	28	9	0	9

Cabe destacar, que en las estadísticas oficiales para Lebu se contabiliza también el territorio insular, correspondiente a la Isla Mocha, la cual se ubica geográficamente a 16 km al W de Tirúa, pero que administrativamente pertenece a Lebu (SERNATUR, 2018).

Respecto de la distribución poblacional por rango etario; la comuna de Lebu se encuentra habitada mayoritariamente por personas de entre 45 a 64 años con un total de 6324 personas, correspondientes al 24.78% del total, seguido de 5722 personas correspondientes a jóvenes de entre 0 a 14 años, abarcando el 22.42% de la población local. Adicionalmente, la proyección comunal para Lebu, indica que para el año 2021 la población total habría alcanzado los 27128 habitantes experimentando una variación del 6.29 % con respecto al año 2017. (BCN, 2021). Las Tablas 2.19 y 2.20 desglosan los datos recientemente mencionados.

Tabla 2.19 Población rango etario en la comuna de Lebu. Extraído de Reporte Comunal Lebu (BCN, 2021).

Grupo etario	Censo 2017	Proyección 2021
0-14	5.722	5.663
15-29	5.365	5.277
30-44	5.321	5.889
45-64	6.324	6.880
65 o más	2.790	3.419
total	25.522	27.128

Tabla 2.20 Proyección de población total para el año 2021 en la comuna de Lebu. Extraído de Reporte Comunal Lebu (BCN, 2021).

Año	Mujeres	Hombres	Total
2017	13.081	12.441	25.522
2021	13.867	13.261	27.128

2.8 Contexto biocultural local

Desde sus inicios a mediados del siglo XIX el descubrimiento de las primeras vetas de carbón en los sectores aledaños a la desembocadura del río Lebu y en sus riberas inmediatas, llevó al inicio de una importante actividad minera, permitió el temprano desarrollo de la ciudad, siendo designada en 1869 como capital del departamento de Lebu y, en 1875 capital de la provincia de Arauco administración vigente hasta la actualidad (Municipalidad de Lebu, 2023).

Posteriormente, desde 1990 Lebu experimenta un importante periodo de crecimiento en materia de infraestructura, nuevas calles, villas, centros educacionales y edificios públicos cambian en parte la antigua cara de la comuna. Sin embargo, a comienzos del siglo XXI la comuna se ve enfrentada a nuevas problemáticas, el carbón deja de ser su principal motor económico y las actividades comerciales han quedado reducidas a la pesca artesanal, pequeño comercio, turismo, y actividades forestales que se realizan en sectores bastante apartados de la comuna. Esto produjo un aumento en el desempleo de la comuna (Municipalidad de Lebu, 2023), sin ir más lejos, datos de la encuesta CASEN realizada en el año 2009 revelaron que el 39% de los habitantes de Lebu se encontraba bajo la línea de la pobreza y la población indigente alcanzaba al 7,68%, la pobre no-indigente llegaba al 31,35% y los no pobres alcanzarían el 60,97% (PLADECO, 2010). No obstante, datos más actualizados como CASEN, 2017 indican que el porcentaje de población en condiciones de pobreza es de 17.28% y según el Sistema Integrado de Información Social (SIIS) en BCN, 2021, indican que a junio de 2020 el porcentaje de personas carentes de servicios básicos en la comuna es de 13.7% y el de hogares hacinados de un 16.5% (BCN, 2021).

Respecto de las principales actividades económicas, en 2018, la cantidad de empresas registradas en Lebu fue de 150. El Índice de Complejidad Económica (ECI) en el mismo año fue de -0,2, mientras que las actividades económicas con mayor índice de Ventaja Comparativa Revelada (RCA) fueron Pesca Artesanal y Extracción de Recursos Acuáticos, incluyendo Reparación de

Embarcaciones Menores (93,04) y Hoteles (38,32) (Municipalidad de Lebu, 2023). Por su parte, en 2019, el rubro con mayor número de trabajadores en la comuna (excluyendo las labores de administración pública y defensa, que superan las 4000 personas), fue el de “comercio al por mayor y por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas” con 297 personas dedicadas a estas actividades, seguido de “Construcción” con 156 personas y en tercer lugar “Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca” con 103 trabajadores. Cabe destacar que una cifra superior, con 1.711 trabajadores está categorizado como “otras actividades de servicio” sin especificar (BCN, 2021).

En cuanto a la organización social, la comuna tiene una alta generación de organizaciones sociales y comunitarias, funcionales y territoriales (Tabla 2.21); de acuerdo con los datos generados por el Sistema Nacional de Información Municipal (SINIM) en el año 2021 se contabilizan 987 organizaciones comunitarias entre centros culturales, organizaciones de adulto mayor, clubes deportivos, compañías de bomberos, juntas de vecinos, etc.

Tabla 2.21 Organizaciones sociales en la comuna de Lebu año 2021. Extraído de SINIM, 2021.

Tipo de organización	N°
Centros Culturales	34
Centros de Madres	2
Centros de Padres y Apoderados	34
Centros u Organizaciones del Adulto Mayor	31
Clubes Deportivos	87
Compañías de Bomberos	4
Juntas de Vecinos	75
Otras Organizaciones Comunitarias Funcionales (otros)	718
Uniones Comunales	2
Total Organizaciones Comunitarias	987

Por otra parte, las principales actividades culturales desarrolladas en la comuna de Lebu corresponden a instancias artísticas como el Festival Internacional de Cine de Lebu (FICIL) celebrado desde el año 2001; el Festival de Jazz (desde 2004) o el Encuentro de Orquestas Sinfónicas Estudiantiles de Lebu “Melodías al Viento” (desde 2008); así como eventos

gastronómicos entre los que se cuentan la “Feria Gastronómica de Lebu”, durante la temporada estival o la “Fiesta de la Nalca” llevada a cabo durante el mes de octubre (aniversario de la fundación de la ciudad) desde el año 2012, todas estas corresponden a instancias destinadas a potenciar el turismo y promover, de una u otra perspectiva, el carácter identitario de la ciudad. Adicionalmente, Lebu también cuenta con algunas instituciones dedicadas a la conservación del patrimonio material e inmaterial del área como son: Museo Minero, Museo Histórico de Lebu, Museo Tamaya y el Museo Punta Morhuilla (Municipalidad de Lebu, 2023; Destino Biobío, s. f.).

Respecto de los atractivos turísticos, SERNATUR, 2012, dentro de su catálogo de atractivos turísticos de la región del Biobío, contabiliza siete puntos de interés y dos eventos (FICIL y Festival de Jazz, mencionados anteriormente) de carácter relevante: la Reserva Nacional Isla Mocha, Cueva del Toro, Playa Grande, Playa Millaneco, Cavernas de Benavides, Cañones de la Plaza de Armas (declarados monumento histórico en 1995) y el antiguo túnel ferroviario de Nahuelbuta (que solía cubrir dentro de su ruta un tramo desde Lebu a Los Sauces). Por otra parte, Lebu también cuenta con otros atractivos de gran interés como la reserva ecológica Sendero Las Lianas, la quebrada y cascada natural Salto El Huellaco, playa Boca Lebu en el área de desembocadura del río y sitios como el Mirador Cerro La Cruz y Chiflón Fortuna (Municipalidad de Lebu, 2023, Arauco S. A., 2017; Destino Biobío, s. f.).

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Cambio climático

3.1.1 Generalidades

Los cambios en la atmósfera y los océanos pueden alterar profundamente la biosfera, la delgada película de vida sobre la Tierra que está intrínsecamente acoplada a la atmósfera y la hidrosfera y proporciona el tejido nutritivo en el que existen las sociedades humanas. De ahí que la degradación o la restauración de partes de la biosfera puedan tener consecuencias regionales o planetarias. Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, que vienen impulsando tanto el cambio climático como la acidificación de los océanos desde hace décadas, amenazan cada vez más la viabilidad y resistencia de los ecosistemas naturales y también de las sociedades humanas que dependen de ellos. Los efectos de estas amenazas pueden ser profundos y, en los últimos años, se han hecho cada vez más observables. La Tierra ya está abocada a un calentamiento sustancial del clima, con expectativas de un mayor calentamiento en el futuro, a menos que cambien drásticamente las trayectorias de las emisiones de carbono (Mahli et al., 2020).

En principio, el cambio climático no es nuevo ni es extraño. Durante los 4560 millones de años de historia de nuestro planeta, el clima se ha visto alterado en incontables ocasiones por procesos tan diversos como las emisiones volcánicas, los cambios en la luz solar, el desplazamiento de los continentes como resultado dinámico de la geotectónica global, los choques de meteoros grandes, entre otros factores. Durante los 900.000 años anteriores, la troposfera ha experimentado prolongados periodos de enfriamiento y calentamiento globales; tales, corresponden a ciclos alternos de congelamiento y descongelamiento conocidos como periodos glaciales e interglaciales. Durante cada etapa glacial, gran parte de la superficie terrestre se vio cubierta por una gruesa capa de hielo, que perduró por alrededor de 100.000 años. Posterior a ello, comenzaba una etapa más cálida, cuya duración de aproximadamente 10.000 a 12.000 años daba paso al derretimiento del hielo glacial. Durante cerca de 12 000 años hemos tenido la fortuna de vivir en un periodo interglacial con un clima y una temperatura promedio global bastante estables (Miller, 2007)

Pese a lo anterior, que refiere en sentido más amplio al “cambio climático global”, es decir, a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta (ej: temperaturas, precipitaciones, ciclos terrestres, etc.); la preocupación actual radica en que hasta hace relativamente poco, estos ciclos de

cambio eran mucho más lentos (en escala de miles a millones de años). El escenario actual es distinto, y dado que comienza a verse afectado en buena parte, por las actividades humanas, el entendimiento y abordaje del concepto “cambio climático” se ha ido modernizando con el tiempo y a la luz de nuevos estudios y evidencia científica. Actualmente, la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), define el término en su artículo primero, como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables”. Por su parte, para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), este concepto denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos.

Además de lo anterior, cabe destacar que el grupo IPCC corresponde a un órgano de las Naciones Unidas, cuya misión es proveer al mundo con una opinión objetiva y científica sobre el cambio climático, sus impactos y riesgos naturales, políticos y económicos y las opciones de respuesta posibles; y que desde 1990 publica informes de evaluación y de síntesis referentes a esta temática.

El primero de sus informes, confirmó los elementos científicos que suscitan preocupación acerca del cambio climático. Mientras que el segundo, titulado “Cambio climático 1995”, se puso a disposición de la segunda conferencia de las partes en la CMCC, y proporcionó material para las negociaciones del Protocolo de Kyoto derivado de la Convención. El tercer informe, denominado “Cambio climático 2001”, trata sobre “La base científica”, los “Efectos, adaptación y vulnerabilidad” y “Mitigación”, así como un informe de síntesis en el que se abordan diversas cuestiones científicas y técnicas útiles para el diseño de nuevas políticas (Díaz, 2012).

El cuarto informe, publicado en 2007 supuso un mayor llamado de atención para los gobiernos internacionales, dado que en aquella oportunidad dictó de forma categórica que el calentamiento global es inequívoco y que la mayor parte de este fenómeno observado durante el siglo XX se debe muy probablemente (90% de confianza) al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero causado por las sociedades humanas; además de ello, establece que el cambio climático ocasionará aumentos paulatinos en la temperatura promedio de la superficie de la tierra

y de los océanos, modificaciones de los patrones de precipitación, cambios de intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos y un alza en el nivel medio del mar. Adicionalmente, se estima que, para finales del siglo XXI, el aumento de la temperatura de la superficie terrestre podría rondar los 2,6 a 4,8°C, que el ascenso en el nivel medio del mar podría ser de entre 45 a 82 cm, y que es probable que la precipitación incremente en las latitudes altas y en el Ecuador, y que disminuya en las zonas subtropicales (IPCC, 2013). Sin ir más lejos, la década de 2011-2020 fue la más cálida jamás registrada, con una temperatura media mundial en 2019 superior en 1,1 °C a los niveles preindustriales (anterior a 1750). El calentamiento global aumenta actualmente a un ritmo de 0,2 °C por década; y un aumento de 2°C con respecto a la temperatura de la era preindustrial conllevará a graves efectos negativos para el medioambiente natural y la salud y el bienestar humanos, incluido mayor riesgo de que se produzcan cambios peligrosos a escala mundial. Por tal motivo, la comunidad internacional ha reconocido la necesidad de mantener el calentamiento muy por debajo de 2 °C y de proseguir los esfuerzos para limitarlo a 1,5 °C (IPCC, 2018).

3.1.2 Cambio climático vs. variabilidad climática

Debido a la gran relevancia que el cambio climático ha cobrado en los últimos años, gran cantidad de publicaciones, libros, reportes, noticias, entre otras fuentes de información, han visto la luz para abordar materias referentes a este fenómeno, resultando frecuente hallar menciones del tema bajo diversas terminologías similares (ej: cambios climáticos, crisis climática, etc.). Si bien, en gran parte de los casos, la utilización de conceptos sustitutivos como recurso para no caer en redundancias es útil y no supone ningún problema, cabe destacar que no todos los términos son intercambiables. Tal es el caso del concepto de “variabilidad climática”, el cual no es sinónimo de “cambio climático” como se describe a continuación.

“Cambio climático” hace referencia a una variación del estado del clima identificable (ej.: mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, tratándose generalmente de décadas o períodos más extensos (IPCC, 2018).

Por otro lado, en el caso de la “Variabilidad Climática”, se describen las variaciones en el estado medio y otras características climáticas (como las probabilidades o posibilidades de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos, etc.) en todas las escalas espaciales y temporales más allá de la de los fenómenos meteorológicos individuales. Parte de la variabilidad no parece estar causada por sistemas conocidos y se produce en momentos aparentemente aleatorios. Esta variabilidad recibe el nombre de “aleatoria o ruido”. Por otro lado, si la variabilidad es periódica se producirá con relativa regularidad y en distintos modos de variabilidad o patrones climáticos. esta denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad climática puede deberse a procesos internos naturales del sistema (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (Rohli y Vega, 2018). Por ejemplo, son fenómenos atribuibles a la variabilidad climática aquellos como los eventos oscilatorios y cíclicos del océano y la atmósfera (ej.: El Niño y La Niña, cambios en las corrientes oceánicas, etc.).

En otras palabras, mientras el cambio climático refiere a las alteraciones que sufre el clima en condiciones predominantes durante periodos prolongados y determinados, como 50, 100 o más años, ante lo cual, usualmente es medido en promedios, la variabilidad climática posee fases que pueden abarcar cualquier escala temporal, desde horas, días o semanas, hasta periodos mayores a las décadas o siglos.

3.1.3 Causas del cambio climático

De acuerdo con los diversos antecedentes (estudios, reportes, etc.) con los que se cuenta en la actualidad, resulta claro que las causas del cambio climático, poseen tanto un origen natural como antropogénico. Dentro de los múltiples factores que pueden causar cambios en el equilibrio energético de la Tierra y el cambio climático se cuentan por ejemplo: la actividad volcánica, el ángulo de inclinación terrestre, las corrientes oceánicas (Redy, 2014); variaciones en la energía solar que llega a la Tierra; cambios en la reflectividad de la atmósfera y la superficie de la Tierra; cambios en el efecto invernadero, que afecta a la cantidad de calor retenida por la atmósfera terrestre (EPA, 2014 en Fakana, 2020); la agricultura, deforestación y cambios en el uso de los suelos (Fahey et al., 2017; Siddiqui et al., 2022), entre otras. A continuación, se señalan las

principales causas y factores asociados al fenómeno de cambio climático, vinculadas a un origen antropogénico.

3.1.3.1 Causas antropogénicas

Las actividades humanas, principalmente asociadas al mundo productivo industrializado, tales como la generación de electricidad y calor por medio de los combustibles fósiles (ej: carbón, petróleo o gas, etc.), la fabricación industrial de cemento, hierro, acero, plásticos, componentes electrónicos, ropa, etc.; la industria minería; la deforestación, junto con la agricultura y otros cambios en la utilización de los suelos; el uso del transporte; la producción de alimento, la energía suministrada en los edificios para iluminación, calefacción, climatización y refrigeración; entre otras, son causantes de la generación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (ONU, 2023) y provocan cambios en la reflectividad o absorción de la energía solar (Fahey et al., 2017).

Gases de efecto invernadero (GEI): actualmente existe un amplio consenso en que el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera debido a las actividades humanas es uno de los principales motores del cambio climático (OMM, 2022).

Sin embargo, a escala atmosférica, el efecto invernadero, vale decir, el calentamiento que se produce cuando la atmósfera atrapa el calor que se irradia desde la Tierra hacia el espacio; es un proceso que ha existido en la Tierra desde la aparición del agua líquida; y ha permitido el desarrollo de un ambiente propicio para la aparición y evolución de la vida, sin él la temperatura promedio de la Tierra sería de -18°C y el planeta sería una esfera con cobertura de hielo; en lugar de este escenario, la superficie terrestre tiene una temperatura promedio de 14°C (Raynal-Villaseñor, 2011).

Los principales gases de efecto invernadero corresponden al dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (NH_4), clorofluorocarbonos (CFC) y vapor de agua ($\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$). El dióxido de carbono es el GEI más importante, y su concentración atmosférica se mide en partes por millón (ppm); por su parte, el metano es un potente gas de efecto invernadero, 25 veces más potente que el dióxido de carbono a la hora de atrapar el calor, pero es mucho menos común en la atmósfera. El óxido nitroso se libera durante la producción y el uso de fertilizantes comerciales y orgánicos, aunque también proviene de la quema de combustibles fósiles y de la quema de vegetación y ha

aumentado un 18 % en los últimos 100 años. Por su parte, los clorofluorocarbonos poseen un origen puramente industrial y se usaban como refrigerantes, solventes y propulsores de latas de aerosol. Son conocidos porque dañan drásticamente la capa de ozono (NASA, 2023; OMM, 2022); sin ir más lejos, en 2018 el Boletín n°14 sobre los gases de efecto invernadero de la Organización Meteorológica Mundial, dedicó una sección especial al triclorofluorometano (CCl_3F), freón-11 o CFC-11, un potente gas que agota el ozono estratosférico y está regulado en el marco del Protocolo de Montreal y que desde 2012 su tasa de disminución se ha ralentizado en unos dos tercios con respecto a la del decenio anterior.

Respecto del vapor de agua, este es el gas de efecto invernadero más abundante, pero debido a que el calentamiento del océano aumenta su cantidad en nuestra atmósfera, y que los cambios directos en $\text{H}_2\text{O}_{(\text{gas})}$ atmosférico son insignificantes en comparación con los cambios indirectos causados por los GEI como CO_2 , CH_4 o NH_2 , no se considera una causa directa del cambio climático, de hecho, es se consideran una retroalimentación en el sistema planetario y parte fundamental del ciclo hidrológico (Fahey et al., 2017; NASA, 2023).

La concentración de los GEI, pero en particular de los tres primeros (CO_2 , CH_4 y NH_4) han ido en constante aumento desde el inicio de la Revolución Industrial, y son ahora más abundantes en la atmósfera terrestre que en cualquier otro momento de los últimos 800.000 años (NAS, 2020). Estas emisiones de GEI han incrementado el efecto invernadero, provocando el aumento de la temperatura de la superficie terrestre. La quema de combustibles fósiles modifica el clima más que cualquier otra actividad humana.

Las concentraciones atmosféricas de CO_2 han aumentado más de un 40%, pasando de aproximadamente 280 ppm en el siglo XVIII a 417.80 ppm en 2022; actualmente más de 30.000 millones de toneladas de CO_2 son liberadas a la atmósfera cada año. Por su parte, las concentraciones de metano aumentaron durante la mayor parte del siglo XX a más de 2,5, de alrededor a 722 ppb en el siglo XVIII a 1920.34 ppb en 2022; y las concentraciones de óxido nitroso percibieron un aumento del 20%, pasando de 270 ppb (s. XVIII) a 335.94 ppb en 2022 (IPCC, 2013; USGCRP, 2018; NOAA, 2023). La Figura 3.1 muestra las concentraciones promedio mensual mundial para los tres GEI principales: CO_2 en los periodos 2018-2023 (reciente) y 1980-

2022 (larga data); CH₄ en los periodos 2018-2023 (reciente) y <1990-2022 (larga data); y NH₄ en los periodos 2018-2023 (reciente) y 2000-2022 (larga data).

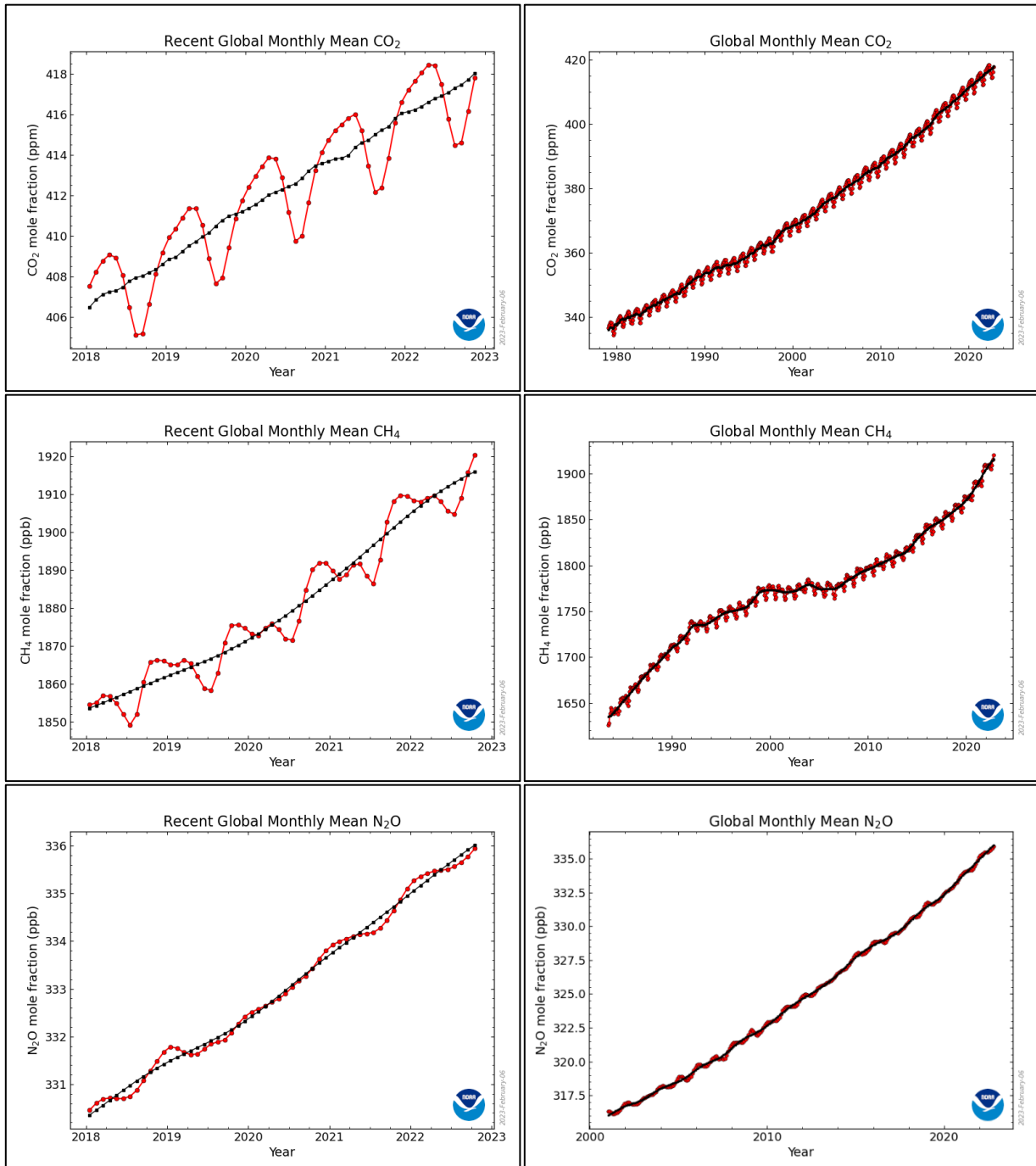


Figura. 3.1 Concentraciones promedio mensual mundial para los tres GEI principales. CO₂ en los periodos 2018-2023 (reciente) y 1980-2022 (larga data); CH₄ en los periodos 2018-2023 (reciente) y <1990-2022 (larga data); y NH₄ en los periodos 2018-2023 (reciente) y 2000-2022 (larga data). Fuente: extraído de NOAA (2023).

Reflectividad o absorción de la energía solar: actividades como la agricultura, la construcción de carreteras y la deforestación pueden cambiar la reflectividad de la superficie terrestre, provocando un calentamiento o enfriamiento local. Este efecto se observa en las denominadas “islas de calor”, correspondientes a los centros urbanizados más cálidos que las zonas circundantes menos pobladas. Una de las razones por las que estas zonas son más cálidas es que los edificios, el pavimento y los tejados tienden a reflejar menos luz solar que las superficies naturales. Aunque la deforestación puede aumentar globalmente la reflectividad de la Tierra al sustituir los árboles oscuros por superficies más claras, como los cultivos, el efecto neto de todos los cambios en el uso del suelo parece ser un pequeño enfriamiento (Fahey et al., 2013).

En suma con lo anterior, las emisiones de pequeñas partículas al aire también pueden provocar la reflexión o la absorción de la energía solar. Estas partículas, conocidas como aerosoles, corresponden a partículas submicroscópicas y microscópicas suspendidas, pueden ser líquidas sólidas o mixtas con una composición química y una distribución de tamaños muy variables y proceden de diversas fuentes naturales y antropogénicas como la quema de biomasa, la combustión incompleta de combustibles fósiles, las erupciones volcánicas, el viento o el tráfico rodado (Putaud et al. 2010 en Myhre et al., 2013; Pöschl, 2005 en Zhang, 2020). La variabilidad de los aerosoles se debe a las numerosas fuentes y a los distintos mecanismos de formación; habiendo aerosoles primarios y secundarios. Los aerosoles primarios se emiten directamente a la atmósfera constan de componentes inorgánicos y orgánicos y son relativamente grandes ($>1 \mu\text{m}$); además suelen permanecer poco tiempo en la atmósfera, normalmente de unos pocos días. Por su parte, los aerosoles secundarios se producen en la atmósfera a partir de gases precursores por condensación de vapores o por nucleación de nuevas partículas, suelen estar formados por mezclas de sulfato, el nitrato y carbono orgánico; son pequeños (entre pocos nanómetros a $1 \mu\text{m}$) y su permanencia atmosférica oscila entre días y semanas (Myhre et al., 2013).

La distribución espacio-temporal en la composición global de los aerosoles suele ser muy heterogénea; la teledetección junto con observaciones *in situ*, han permitido avanzar notablemente en este aspecto, pero sigue habiendo grandes incertidumbres en cuanto a la composición química y la contribución antropogénica (Myhre et al., 2013). La Figura 3.2. muestra la distribución

geográfica global de algunos aerosoles en el periodo 2001-2010 basado en un modelo MODIS de la profundidad óptica de los aerosoles o AOD por sus siglas en inglés.

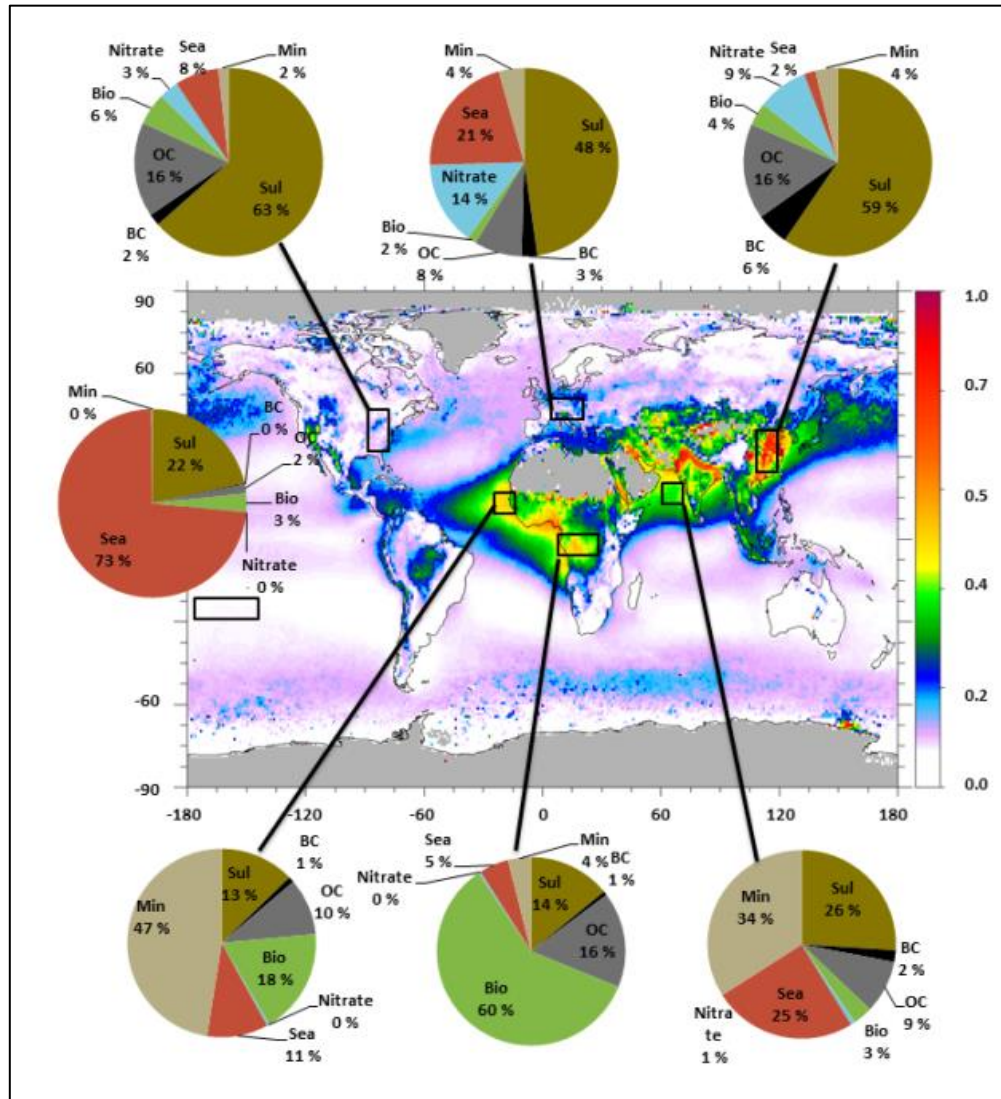


Figura. 3.2 Distribución global de la Profundidad óptica de los aerosoles (AOD, 550 nm; adimensional), basado en MODIS, promediada para el periodo de 10 años 2001-2010. Los gráficos circulares muestran la contribución de los distintos tipos de aerosoles a la AOD total de las distintas regiones. Los tipos de aerosoles que corresponden a: Sul (sulfato), BC (carbono negro) y OC (carbono orgánico) procedentes del uso de combustibles fósiles, Bio (OC y BC procedentes de la quema de biomasa), Nitrato, Mar (sal marina) y Min (polvo

El efecto de los aerosoles sobre el clima terrestre puede manifestarse dos maneras; por un lado, cuando el cielo está despejado, los aerosoles pueden reflejar la luz solar entrante hacia el espacio, siendo este el efecto directo, lo que bloquea parte de la energía que habría llegado a la superficie, ocasionando un efecto frío sobre el clima. Por otro lado, los aerosoles absorbentes, en particular el

carbono negro, pueden actuar como atrapantes de la energía solar en la atmósfera, aunque la absorción, al igual que la reflexión, tiende a reducir la luz solar a nivel del suelo, pero el aumento del calentamiento atmosférico acaba por calentar la superficie y contrarrestar el enfriamiento causado por la reflexión.

El efecto de los aerosoles se ha investigado durante muchos años, no obstante, siguen siendo el menos seguro de todos los forzamientos climáticos conocidos, y se insta constantemente a generar nuevos proyectos de investigación al respecto (Zhang, 2020). De momento, separar claramente el papel de los aerosoles y el de los gases de efecto invernadero en el cambio climático, sigue siendo una tarea laboriosa y difícil.

3.1.4 Riesgos e impactos regionales y locales del cambio climático

Como se ha mencionado anteriormente, una de las principales causas del cambio climático en curso guarda estrecha relación con las emisiones de gases de efecto invernadero, producidas en gran parte por el desarrollo de actividades humanas del sector industrializado y que debido a su constante aumento están produciendo efectos adversos sobre el sistema climático de todo el planeta.

La elevación de las temperaturas, constituye uno de los impactos más notorios; desde la década de 1980, cada decenio ha sido más cálido que el anterior, y en la última década, del 2011 al 2020, se ha registrado el mayor calentamiento hasta la fecha; las tormentas más severas, como ciclones, huracanes y tifones vinculadas al alza de temperaturas, se alimentan de aguas cálidas en la superficie del océano; el aumento de las sequías, la disponibilidad de agua es cada vez más escasa en regiones que ya padecen estrés hídrico, provocando la vulnerabilidad de la agricultura y de los ecosistemas; el derretimiento de capas de hielo también provoca la subida del nivel del mar, amenazando a las comunidades costeras e insulares; la pérdida de biodiversidad, con alrededor de un millón de especies de todos los dominios biológicos en riesgo de extinguirse en las próximas décadas.

Por otra parte, los impactos principales que el cambio climático está ocasionando en la vida y salud de las personas, se evidencian, por ejemplo, en la disponibilidad de alimentos, sectores de la pesca, los cultivos y el ganado pueden destruirse o volverse menos productivos, y por ende, habrá menos

comida. Los patrones climáticos cambiantes están expandiendo las enfermedades, y los fenómenos meteorológicos extremos aumentan las muertes y dificultan que los sistemas de atención sanitaria puedan seguirles el ritmo, todo esto además aumenta los factores que sitúan y mantienen a muchas poblaciones en la pobreza. Se calcula que en el periodo 2010-2019, los fenómenos meteorológicos produjeron desplazamientos forzados a una media de 23.1 millones de personas al año y dejando a muchas más vulnerables (ONU, 2023).

Sobre una extensión macroregional, bajo una subdivisión de los territorios iberoamericanos (Figura. 3.3), Bustamante et al., 2020 presenta los principales riesgos asociados al cambio climático identificados en el ámbito de los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales.

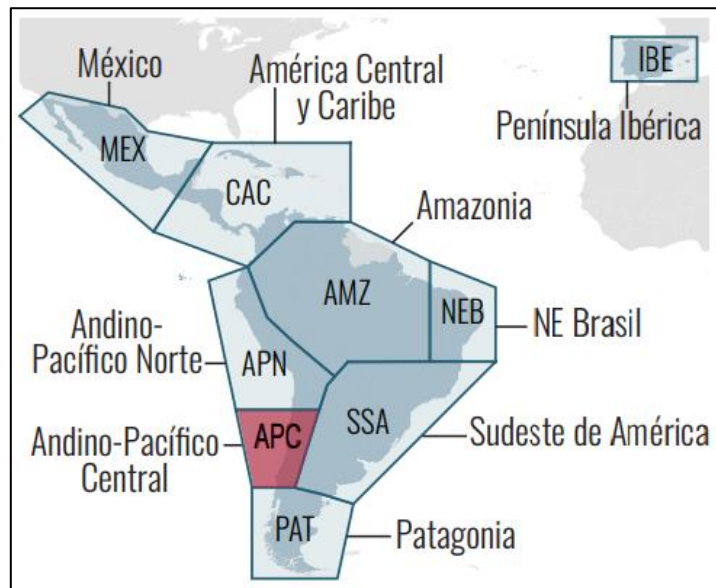


Figura. 3.3 División geográfica macroregional de los países iberoamericanos. Extraído y modificado de Bustamante et al., 2020.

En esta clasificación, el área de estudio se ubica dentro de la denominada macroregión Andina Pacífico Central; en esta zona los riesgos identificados corresponden a:

- Megaincendios forestales, asociados a cambios en los patrones de precipitación y eventos extremos de sequía, resultando en mayor pérdida de biomasa y extensión de bosques.
- Desplazamiento de los bordes entre biomas, asociado a fuertes presiones como cambios en usos del suelo que incrementan la fragmentación y la vulnerabilidad a factores climáticos como disminución de las precipitaciones, aumento de las temperaturas y sequías.

- Pérdida de producción primaria en sistemas naturales y gestionados por incremento en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos y climáticos extremos (inundaciones, temperaturas extremas, tormentas y huracanes, etc.). En algunos casos, la combinación de sequía, sobreexplotación y especies invasoras resulta en daños irreversibles.
- Reducción de las poblaciones arbóreas, por la sequía que limita el crecimiento, reduce el reclutamiento y aumenta la mortalidad.
- Pérdida de hábitats extremos en los ecosistemas de montaña debido al calentamiento. Este tipo de paisajes son reconocidos como altamente vulnerables al cambio climático.
- Pérdida de hábitats en los sistemas acuáticos y palustres dependientes de glaciares debido al deshielo de estos. Asociado principalmente a factores climáticos como aumento de las temperaturas, disminución de las precipitaciones y sequías.
- Pérdida de los glaciares que, en asociación con los cambios de uso del suelo, está contribuyendo a un mayor riesgo de inundaciones de lagos glaciares, humedales degradados y hábitats de pastizales, así como arroyos glaciares altamente acidificados.
- Pérdida de funcionalidad de los sistemas acuáticos por cambios en los pulsos hídricos. El cambio climático está afectando al pulso hidrológico de ríos y humedales, e impactando en la biodiversidad y los medios de vida.

En Chile, si bien las emisiones de GEI representan un bajo porcentaje del total global (solo un 0,26% al año 2016) se ha registrado un aumento acelerado, principalmente debido al incremento del consumo de combustibles fósiles. Además, se han incrementado las temperaturas y la frecuencia e intensidad de olas de calor, temporales, inundaciones, sequías, incendios forestales, marejadas; así como se observa la disminución de caudales y glaciares, pérdida de biodiversidad, entre otros fenómenos, todo lo cual genera impactos en la población nacional y el medio ambiente (MMA, 2019). El Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II), desarrollado sobre un escenario de mayor conocimiento y de avances concretos obtenidos a través de la implementación del PANCC 2008-2012 (PANCC I), presenta los efectos e impactos del cambio climático sobre el territorio nacional, con base en estudios de diversos autores e instituciones.

Al respecto de lo anterior, PANCC-II informa que en el país son notables los efectos del cambio climático en materias de temperatura, precipitaciones y eventos climáticos extremos. Sobre las temperaturas, los registros históricos muestran alzas en valle central y cordillera y leve enfriamiento en zonas costeras; y la proyección para el año 2030 indica un aumento de al menos 0,5°C para zonas sur y austral, y de 1,5°C para el norte grande y altiplano, valores que se incrementarían para el período 2031-2050. Las precipitaciones, registran una disminución significativa en la zona centro-sur del país, donde se inscribe el área de estudio.

La previsión de los eventos climáticos extremos indica un marcado aumento de las sequías, sobre todo desde 2050 en adelante y, para finales de siglo se espera la ocurrencia reiterada de sequías (de más de 10 veces en 30 años). Se estima que las pérdidas ambientales, sociales y económicas por estos eventos podrían llegar a ser significativas, alcanzando en 2100, un 1,1 % anual del PIB. La biodiversidad, recursos hídricos, infraestructura construida y los sectores económicos pueden verse negativamente afectados dentro de este siglo.

Sobre los impactos, PANCC-II reporta los impactos del cambio climático sobre el territorio nacional en materias de: biodiversidad, recursos hídricos, salud, infraestructura, energía, sector silvoagropecuario, pesca y acuicultura, turismo y ciudades. La Tabla 3.1, reúne las descripciones generales de los impactos sobre estas temáticas.

Tabla 3.1 Principales impactos del cambio climático en Chile con énfasis en el territorio local. Basado en las informaciones de diversos autores e instituciones citados en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II).

Categoría	Descripción
Biodiversidad	Se proyecta de una pérdida importante del patrimonio genético nacional, caracterizado por un alto endemismo, de manera que para el año 2050, se estima los bosques caducifolios templado-antiboreal, caducifolio mediterráneo costero y bosque espinoso mediterráneo en distintas regiones del país serían los más afectados.
Recursos hídricos	Se proyecta una reducción significativa de caudales medios mensuales, con alcances en la región del Biobío y elevación de la isoterma de 0°C, con la consecuente reducción de reservas de agua; además del aumento de riesgo de desastre (inundaciones, aluviones, etc.) ante precipitaciones extremas y altas temperaturas.
Salud	La alteración en parámetros climáticos, podrían aumentar la ocurrencia de enfermedades ya existentes en el país, facilitar la introducción de otras nuevas y exacerbar el efecto de variables ambientales en la salud. Por otro lado, la disminución en la calidad y disponibilidad del agua y alimentos, podría agravar la nutrición y calidad de vida de la población.
Infraestructura	El aumento de los eventos hidrometeorológicos extremos pondría en riesgo la infraestructura pública, como carreteras, puentes, puertos, entre otros, impactando los servicios provistos por estas obras. La proyección del aumento de las marejadas, pone en riesgo a las poblaciones que habitan en el borde costero, dañando tanto infraestructura como también los servicios ambientales y actividades económicas asociadas, afectando la operación de puertos, caletas y playas.

Energía	Se proyectan impactos en relación con la disponibilidad y temporalidad de los caudales en cuencas con generación hidroeléctrica, disminuyendo su producción.
Sector silvoagropecuario	Se prevé un desplazamiento de cultivos hacia el sur junto a una menor disponibilidad de aguas para riego en la zona centro, generando cambios en la producción e ingresos netos. Además, es previsible efectos negativos sobre la cantidad y calidad de los productos. Los más vulnerables serían los agricultores del secano interior y secano costero (regiones de Valparaíso al Biobío).
Pesca y acuicultura	La capacidad reproductiva de peces pelágicos podría verse significativamente reducida en la surgencia de Humboldt. Por otra parte, posiblemente el cambio en el nivel del mar no afecte directamente los recursos cultivados, pero sí sobre los centros de cultivo, por cambios de la salinidad de las aguas estuarinas.
Turismo	Alteraciones como la aceleración reproductiva de distintas plagas y la incidencia de eventos climáticos extremos, traerán consecuencias negativas para el turismo.
Ciudades	Al concentrar la mayor parte de la población chilena, el impacto climático sobre ellas es de especial preocupación. Se proyecta una presión adicional sobre el suministro de agua potable, y los servicios de salud.

Adicionalmente a lo anterior, cabe destacar la ocurrencia de los incendios forestales, eventos cada vez más frecuentes e intensos cada año en Chile. De acuerdo con el Informe del Estado del Medio Ambiente 2020 (IEMA), aunque los incendios de bosques son ocasionados en un 99% por acción del ser humano, su propagación y riesgo está directamente relacionada con el cambio climático, puesto que, junto con generar gran daño sobre la infraestructura y fomentar el deterioro de la biodiversidad, además liberan importantes cantidades de CO₂. Con la reducción de bosques, también los suelos se ven afectados, lo cual se traduce en erosión, pérdida de nutrientes, disminución de la materia orgánica y alteración de la vegetación. Además de ello, aproximadamente el 60% de los incendios ocurridos en Chile están en áreas boscosas, que comprenden cerca de un 5% del territorio nacional, pero concentran alrededor del 80% de la población. Por ello son, zonas prioritarias al momento de establecer estrategias de prevención, manejo y diseño de paisajes menos riesgosos.

3.1.5 Adaptación al cambio climático

Frente a la ocurrencia en curso de un cambio climático que no se detendrá en el corto plazo, los reportes del IPCC comienzan a hablar de estrategias para la adaptación y mitigación de los efectos e impactos que este fenómeno ocasiona a nivel global, a fin de poder establecer nuevas políticas y estrategias conscientes de las condiciones ambientales actuales y de los escenarios futuros. En este contexto, se entiende como adaptación al cambio climático “un proceso de ajustes al clima y sus efectos actuales o esperados. En sistemas humanos, adaptación busca moderar o evitar impactos negativos o aprovechar los efectos beneficiosos. En algunos sistemas naturales, intervenciones del ser humano podrían facilitar los ajustes al clima y sus efectos esperados” (IPCC, 2014).

A nivel macrorregional, varios países iberoamericanos cuentan con ejemplos de estrategias de adaptación al cambio climático que incluyen herramientas y medidas de gestión para la recuperación de ecosistemas acuáticos, tales como ríos y humedales, y de gestión para la recuperación de bosques. Hay casos de programas exitosos de conservación de cuencas que incluyen acciones sobre la vegetación nativa, el manejo agroecológico de cultivos, ríos y humedales, y mecanismos de participación comunitaria local (Moreno et al, 2020).

En el caso de Chile, en los últimos años se ha avanzado en la tarea de adaptación al cambio climático a través del diseño y aplicación de políticas, planes, programas y normas que buscan armonizar las distintas actividades humanas con la protección del patrimonio natural. Entre estas distintas propuestas, destacan seis planes de adaptación: i. Estrategia de Climática de Largo Plazo 2050; ii. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático; iii. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II); iv. Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático (PLMCC); v. Fortalecimiento Institucional y vi. Mapa de riesgo climático a nivel comunal para todo Chile (MMA, 2020). La Tabla 3.2 resume brevemente la intención de cada una de estas estrategias.

Tabla 3.2 Propuestas nacionales de planes y estrategias de adaptación al cambio climático. Basado en MMA, 2020; PANCC-II y portales web de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

Propuesta de adaptación	Descripción
Estrategia de Climática de Largo Plazo 2050	Define los lineamientos generales que seguirá el país de manera transversal e integrada, considerando un horizonte a 30 años, para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático y dar cumplimiento a los compromisos internacionales asumidos por el Estado en esta materia.
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático	Entrega el marco conceptual y lineamientos para la adaptación y articula los planes para sectores prioritarios: Silvoagropecuario, Biodiversidad, Pesca y Acuicultura, Salud, Servicios de Infraestructura, Ciudades, Energía, Turismo y Recursos Hídricos.
Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022	Orientado a la implementación efectiva de medidas para adaptarse al cambio climático, y reducir la vulnerabilidad del país, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos Chile en estas materias.
Proyecto de Ley Marco de Cambio Climático (PLMCC)	Establece un marco jurídico para hacer frente a los desafíos del cambio climático, a fin de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de GEI para el año 2050. Actualmente el PLMCC tiene carácter de ley y entró en vigencia el 13 de junio de 2022.
Fortalecimiento Institucional	En 2017 se crea el Equipo Técnico Interministerial de Cambio Climático, para el trabajo multisectorial que convoca a más de 40 organismos públicos; por otra parte, se crean los Comités Regionales de Cambio Climático (CORECC), formados por las principales autoridades de cada región.
Mapa de riesgo climático a nivel comunal para todo Chile	Proyecto de plataforma web abierta que mostrará un mapa de vulnerabilidad y riesgo frente al cambio climático. El mapa incluye un análisis de riesgos para diversos sectores (asentamientos humanos; costas; hidrología; biodiversidad y acuicultura, ente otros) y contribuirá al diseño y evaluación de los planes de adaptación. Actualmente se encuentra vigente bajo el nombre de “ARClím” en el sitio: https://arclim.mma.gob.cl

3.2 Comunes

Ya en la época de los antiguos romanos se distinguían las cosas apropiables por los particulares “*res in patrimonium o res in comercio*”, de aquellas cosas inapropiables “*res extra patrimonium o extra commercium*”. De las últimas, se diferenciaba entre las cosas que eran inapropiables por su carácter sagrado, las cosas públicas o del Estado y las cosas que eran inapropiables por ser comunes a todas las personas, las “*res comunes ómnium*”, como el aire, el agua corriente, el mar y sus riberas (Gordillo, 2006 en Soto, 2022).

Si bien el concepto de bienes comunes, o simplemente “comunes” es amplio y ha sido objeto de múltiples definiciones a lo largo de la historia, bajo una aproximación más moderna y contextualizada, usualmente podrán entenderse como aquellos recursos que grupos de personas (comunidades, grupos de usuarios) gestionan en beneficio individual y colectivo (Basu et al., 2017). Para complementar mejor la definición anterior, se puede hacer mención de lo dicho por los autores Lafuente y Corsin en 2010, quienes entienden el concepto como “aquellos bienes que son de toda la humanidad y de nadie al mismo tiempo”; a propósito de ello, también señalan algunas características de los comunes, como que:

- Están fuera del mercado y algunos de ellos, fuera de lo que comúnmente se entiende por sector público.
- No son patrimonializables, algunos porque no son agotables y aumenta su valor cuanto más se usan (ej: la lengua, la sociabilidad, etc.); otros porque no son excluibles: no se puede o es muy difícil prohibir su uso (ej: el aire).
- Requieren de muchos y constantes cuidados para garantizar su vitalidad.
- No paran de aumentar debido a politización y desmercantilización, y no paran de decrecer debido a cercamientos y otros factores.
- Constituyen un sustrato de la reproducción ampliada de la vida (ej: aire, agua, afectos, economía doméstica, etc.).

Otro aspecto fundamental que atañe a los comunes y que señalaban en sus obras autores como la politóloga estadounidense Elinor Ostrom (Premio Nobel de Economía, 2009) o el catedrático italiano Ugo Mattei es que este tipo de bienes pertenecen a la comunidad y como tales, no poseen a nadie mejor para gestionarlos sosteniblemente que los propios implicados (Ostrom, 1995 en

Ramis, 2013), así como que no están a merced de la discrecionalidad fiscal o de los vaivenes del mercado, sino que implican la “satisfacción directa de las necesidades” de las personas (Mattei, 2013 en Soto, 2022). Son, por tanto, las mismas comunidades, actores locales o individuos las que acaban por considerar o dejar de considerar algo como un bien común; por lo que expresa, ante todo, un proceso de identidad (Perna, 2005 en D’Alisa, 2013), o en otras palabras “no hay comunes sin comunidad” (Mies, 2014).

Por otra parte, el hecho de tener un común y que una comunidad tenga la facultad de administrarlos y establecer reglas para su acceso y uso, no implica que cada individuo sea libre de usar el recurso como quiera, ya que los bienes comunes pueden ser administrados de forma efectiva cuando no son considerados “tierra de nadie” y se cuenta con un campo de interesados que interactúan para mantener la rentabilidad sostenible a largo plazo de esos bienes. A propósito de esto, la obra de Ostrom muestra cómo diversas sociedades han desarrollado mecanismos institucionales, formales o informales, legales o arraigados en las costumbres, que gestionan eficientemente los bienes comunes, evitando su colapso (Ramis, 2013).

3.2.1 Los bienes comunes naturales

Establecido el concepto general de bienes comunes, es preciso especificar al respecto que, el caso particular del presente trabajo de Memoria de título, se focaliza y considera como tales aquellos elementos propios del mundo material y biológico (ej: plantas, hongos, animales, etc.), inmersos dentro de un medio natural (ecosistema) y que son susceptibles de ser afectados por agentes y/o condiciones físicas, químicas, climáticas, entre otras (ej: temperaturas, precipitaciones, nutrientes del sustrato, etc.).

Aclarado lo anterior, cabría mencionar que generalmente para hablar de bienes comunes naturales, en su lugar se utiliza el término “recursos naturales” como equivalente.

Bajo la aceptación de esta sinonimia se ha referido a los elementos que engloba este concepto como aquellos materiales que son obtenidos del planeta Tierra, como las aguas superficiales o subterráneas y los océanos, los minerales, los energéticos (ej: hidrocarburos), las rocas (arcillas para cerámica, fosfatos, arenas, caliza, etc.), además de los recursos bióticos que son objeto de

explotación: el ganado, los peces, y los bosques. Tradicionalmente se los ha categorizado en dos grandes grupos: recursos naturales renovables, es decir, que poseen rangos de recuperación dentro de la escala de tiempo del desarrollo de la sociedad; y los recursos naturales no renovables, o sea, aquellos que son limitados en cantidad, ya que se han formado en periodos geológicos pasados concretos e irrepetibles o cuyo ciclo de renovación es muy lento comparado al ritmo de extracción o explotación. Son recursos que no pueden ser producidos ni reproducidos por el ser humano, una vez que se consumen, es necesario quitarlos de los inventarios y de las reservas cuantificadas, su sobreexplotación conduce inevitablemente a su agotamiento y finalmente a su desaparición (GRN, 2016).

Sin embargo, pese al uso generalizado del término “recursos naturales”, “riquezas naturales” o incluso “capital natural” (NCC, 2016), diversos autores consideran que distinguir estas denominaciones del término “bienes comunes naturales” es necesario, puesto que atiende a concepciones e idealizaciones diferentes. Sobre esto, Bordieu (1997) manifiesta que, aunque en un comienzo pudiese parecer pueril, esta discusión/reflexión posee anclaje en distintos tipos de racionalidades, en distintas formas de valorar la naturaleza y son, en última instancia, las relaciones de fuerza sociales las que determinarán las formas de nominación simbólica legítima. En este sentido, el suelo, el subsuelo mineral, el glaciar, el agua, no son recursos naturales sino bienes comunes. Dicho de otro modo, las riquezas que habitan en la tierra no son recursos naturales, son bienes comunes. Referirse a ellos como recursos naturales es la primera forma de apropiación, desde el lenguaje (Rodríguez, 2008).

Por ellos, bajo este contexto, surge el concepto de “bien común natural”, como especificación dentro del concepto de “comunes”, que viene a contribuir en reconocer en el mundo otros tipos de “riqueza” y de valor, y visibilizando que, no todas las formas de riqueza poseen necesariamente precio de mercado (Ivars, 2013).

3.3 Co-diseño y co-construcción

En términos generales, el concepto de co-diseño, se presenta como un método por el cual las personas se involucran de manera activa dentro de un proceso de diseño, donde su voz, sus sentimientos, sus experiencias y sus habilidades son tomadas en cuenta para el desarrollo de la práctica proyectual dada en colectividad (López-Ospina, 2020).

Lo anterior enmarca, en definitiva, el conocimiento de los individuos puesto a disposición como una creatividad colectiva aplicada en todo el proceso de diseño dejando ver un resultado co-creado entre los participantes y el diseñador. Esto a su vez, permite presentar al co-diseño como un método enfocado en las personas, donde su vivencia y el nuevo conocimiento que surge de él, permite generar ambientes o espacios colaborativos donde el sentido de participación y creación en colectividad, se encuentra en las motivaciones y sensibilidades conectadas a través del vínculo que impulsa y promueve el diseño desde la experiencia que tienen los participantes dentro del proceso (Sanders & Stappers, 2008 y Eggersten, 2019 en López-Ospina, 2020). A propósito de ello, Szwedzki, 2017 señala que, en el proceso de co-creación y co-construcción, la dinámica del equipo se verá intensificada, por lo que el espacio generado deberá ser óptimo para escuchar, preguntar y responder colaborativamente, de esta forma, a medida que el conocimiento mutuo, la comunicación y el aprender haciendo crecen, dicho espacio se verá paulatinamente potenciado. Es decir, durante el proceso colaborativo, los errores deben tomarse como aprendizajes, minimizando los juicios y buscando nuevas soluciones. Adicionalmente, el ambiente generado, debe poseer una suficiente coordinación para no perder el foco, pero permitiendo a su vez, aquellos intercambios informales y desviaciones que podrían ser de utilidad base para otras instancias de co-construcción futuras.

Vinculado a los conceptos anteriormente descritos, surge de manera prácticamente natural el “diálogo intercultural”, el cual puede abordarse desde dos puntos de vista; en primer lugar, se considera el diálogo entre dos ciencias o disciplinas científicas, por ejemplo, un diálogo entre las ciencias naturales y las ciencias sociales. La segunda perspectiva, plantea la posibilidad de diálogo del conocimiento científico moderno occidental con otros saberes y conocimientos existentes en el mundo, destacando los saberes de los pueblos indígenas originarios. Este diálogo parte de un reconocimiento previo de que la sabiduría de los pueblos indígenas originarios es considerada

como ciencia, con una propia epistemología, gnoseología y ontología (Delgado y Escóbar, 2006). Actualmente, dentro de un mundo marcado por un proceso de cambio climático en curso y fuertemente influenciado por la actividad humana; esta herramienta comienza a visibilizarse cada vez más no solo como un proceso útil, sino que necesario de tener en cuenta en los procesos de co-diseño y co-construcción, o como señalan Rohli y Vega, 2018, el creciente interés por las interacciones entre la atmósfera y otras "esferas" físicas, como las interacciones y retroalimentaciones entre la Tierra, el océano y la atmósfera, exigirá de un trabajo cada vez más interdisciplinario y transdisciplinario en el que colaborarán no sólo científicos naturales (climatólogos y oceanógrafos, geólogos, geofísicos, biólogos y geoquímicos, etc.), sino que interactuarán cada vez más con los responsables políticos, los científicos sociales y los medios de comunicación.

Todos estos conceptos, plantean un nuevo paradigma respecto de cómo abordar la producción de conocimiento y el rol que cada una de las disciplinas que decida involucrarse comenzará a ocupar. Particularmente, en el caso de las ciencias de la Tierra, esta reflexión ha comenzado y autores como Mata-Perelló et al., 2012 y Stewart y Gill, 2017 ya hablan de "geología social" entendiéndola como la subdisciplina de la geología que estudia la interacción entre el medio geológico y el desarrollo social, especialmente la influencia de los recursos y riesgos geológicos en la gestión territorial y social de las zonas urbanas e indican que si se pretende hacer frente de forma útil a las amenazas sociales que conduzcan a un planeta ecológicamente viable, la comunidad geocientífica deberá incorporar nuevas metodologías y propuestas, así como sistemas de fácil manejo, en el estudio de los recursos y riesgos geológicos para favorecer el desarrollo social, y en el desarrollo de este proceso tendrá que colaborar con otras disciplinas aliadas.

3.4 Gobernanza

Al igual como sucede con el concepto de los bienes comunes, el término "gobernanza" posee diversas acepciones y a través de los años se ha abordado de distintas maneras. Sin embargo, de acuerdo con Whittingham, 2010 las diferencias que se encuentran entre las diversas aproximaciones existentes, ya sean teóricas o prácticas, aparecen determinadas fundamentalmente por dos elementos: la disciplina desde la que se utiliza el concepto, y el rol que se le adjudica al Estado. Desde esta mirada, la autora señala que existen principalmente dos enfoques para entender

el concepto de “gobernanza”: una perspectiva centrada en el Estado y otra perspectiva policéntrica. En el primer caso, la gobernanza es definida como el arte de liderazgo público, en el cual el actor principal es el Estado y, por tanto, el régimen político, la gerencia pública, y la capacidad del gobierno son elementos críticos para la buena gobernanza, enfatizando la necesidad de que existan mecanismos que dirijan y guíen a la sociedad. Por otro lado, la perspectiva policéntrica, acoge la mirada multidisciplinaria, entendiendo que la gobernanza es un concepto que refiere a un proceso que envuelve a tres entidades fundamentales: al Estado, la Sociedad Civil y el Sector Privado; haciéndolo, no obstante, de manera integral, reconociendo que existen diferencias importantes en los roles atribuidos a cada uno de estos actores.

Bajo este contexto, la gobernanza podrá entenderse como el proceso en el que los ciudadanos resuelven colectivamente sus problemas y responden a las necesidades de la sociedad, empleando al gobierno como el instrumento para llevar a cabo su tarea. Esto configura la gobernanza como un “nuevo arte de gobernar” que tiene como sujeto a la ciudadanía y sus organizaciones, actuando de manera responsable con el gobierno, el cual debe operar mucho más en red y menos como estructuras verticales y autoritarias; y con ello las decisiones y la ejecución de las políticas públicas comienzan a posicionar como ámbito central a los territorios, teniendo en cuenta nuevas formas participativas y con visiones de largo plazo, conduciendo al rescate de las regiones y las ciudades como espacios vitales para gobernar (Maya et al., 2019).

Adicionalmente, como señala Moreno et al., 2020, en la actualidad, la complejidad y niveles de incertidumbre asociados al cambio climático dificultan que cualquier actor por sí solo pueda hacer frente a los impactos de este fenómeno, por lo que es preciso integrar el conocimiento científico con el local y el tradicional a fin de permitir una mejor comprensión de la realidad en los distintos contextos que favorezca el buen gobierno, puesto que son las comunidades locales las que están en la primera línea para recibir los impactos y responder a ellos.

Con todo lo anterior en cuenta, cabe destacar que, bajo el marco del Proyecto Anillo ACT210037, el presente trabajo de memoria de título acoge la gobernanza desde la perspectiva policéntrica como un concepto sumamente relevante para el acercamiento al cuidado de los comunes presentes en el área de estudio.

4 METODOLOGIA

El trabajo de esta Memoria de Título se enmarca en el Proyecto Anillo ACT210037 "*Codesign Labs for climate change: commons governance and care in coastal areas in south-central Chile*", que considera el trabajo y diálogo interdisciplinario en diferentes sesiones denominadas conjuntamente como "laboratorios de co-diseño", contando con la participación de profesionales y estudiantes provenientes de variadas áreas del conocimiento académico, además de actores locales, miembros de comunidades dedicadas a rubros de búsqueda y recolección de comunes. En tales sesiones, la discusión y reflexión en torno a problemáticas locales atinentes a los recursos, juega un rol protagónico y permiten un mejor entendimiento del entorno estudiado. Además, por medio de sucesivas etapas de gabinete y terreno, se abarcan los diferentes grados de avance del trabajo realizado, como se detalla a continuación:

4.1 Etapa de gabinete 1

Planificación preliminar de la investigación, identificación inicial de comunes costeros y recopilación de diversos antecedentes y fuentes de información bibliográfica, tales como papers, informes técnicos, anuarios, noticias, bases de datos (nacionales e internacionales), cartografías, capas vectoriales, entre otras, que refieran a los posibles parámetros bio-geo-físicos a analizar (ej: temperaturas, precipitaciones, usos de suelos, cobertura vegetal, etc.).

4.2 Etapa de terreno 1

Corresponde al levantamiento de información local, proveniente de la observación del ambiente, conversación a través de entrevistas semi estructuradas con diferentes actores clave del área de estudio como: recolectores de orilla, pescadores artesanales, recolectores de nalcas y frutos silvestres, Municipio, Capitanía de Puerto; etc; estas instancias se realizan sobre la base de técnicas de diálogo intercientífico.

4.3 Etapa de gabinete 2

Selección final de comunes a considerar para la revisión, junto con los parámetros bio-geo-físicos que atañen a su estado. Se procede a la clasificación y jerarquización de tales parámetros en función

del tiempo, su vinculación con el ambiente del que dependen y otros factores. Adicionalmente, se continua con la etapa de revisión de información bibliográfica.

4.4 Etapa de terreno 2

Constatación del estado de comunes a través de la observación y registro de información de carácter geológica-ambiental en aplicaciones para dispositivos móviles, registro de datos actuales en terreno: análisis de pH del suelo *in situ* y toma de muestras para posterior análisis en laboratorio. Además, continua la recopilación de información derivada de la interacción interdisciplinaria en los laboratorios de co-diseño desarrollados en localidades como Lebu, Mina Costa, Quiapo, Pehuén, Millongue, etc., en las que se destacan instancias como visitas guiadas al terreno, conversatorios, charlas y una actividad de cartografía participativa.

4.4.1 Análisis de pH del suelo

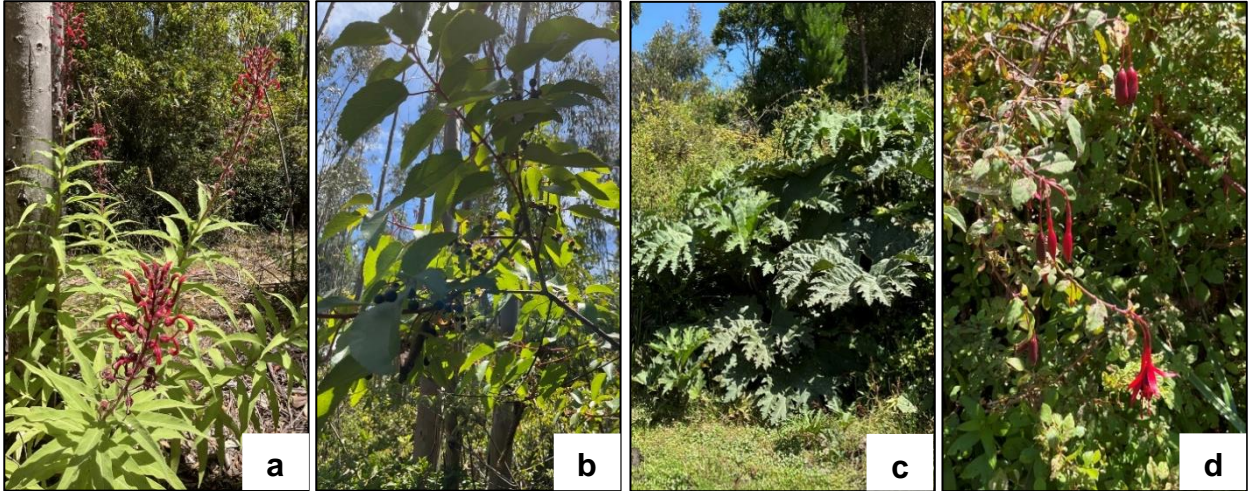
El análisis de este parámetro fue realizado en dos etapas bien diferenciadas: i. Recolección de muestras y medición *in situ* y ii. Preparación de muestras y medición en laboratorio. A su vez, estas etapas aplican diferentes metodologías para su posterior comparación.

4.4.1.1 Recolección de muestras y medición *in situ*:

En primera instancia y previo a la salida a terreno se procedió con la selección de puntos de interés en los alrededores de la comuna de Lebu a través de la revisión de imágenes satelitales (Google Earth) y cartografías del uso de suelos (CONAF), con las que se elaboraron proyectos para la toma de datos de terreno en las aplicaciones móviles QField y ArcGIS Field Maps. Cada proyecto en dichas aplicaciones consideró:

- Mapa base del área de estudio.
- Capa vectorial con la información bibliográfica de usos de suelo.
- Shapefile con rutas y caminos principales.
- Shapefile con puntos de interés referenciales.
- Shapefile vacío para la toma de datos de terreno.

La salida a terreno se desarrolló durante 2 días consecutivos, durante los cuales, al llegar a cada punto se procedió con la observación y descripción básica del entorno mediante anotaciones y toma de fotografías para identificación de algunas especies, como se ve en la fotografía 4.1.



Fotografía 4.1 Ejemplo de algunas especies identificadas que fueron observadas durante el terreno. En a) Tabaco del diablo (*Lobelia tupa*), b) Maqui (*Aristotelia chilensis*), c) Nalca (*Gunnera tinctoria*) y d) Chilco (*Fuchsia magellanica*).

Posteriormente, se continuó con la recolección de muestras y medición *in situ* del pH mediante los siguientes pasos:

1. Ambientación de la pala al lugar del muestreo situándola en contacto con la tierra reiteradas veces para la eliminación de contaminantes ajenos al área.
2. Retiro de la hojarasca o cobertura vegetal del área seleccionada para el muestreo (Fotografía 4.2a).
3. Confección de un agujero en el suelo de 15-20cm de profundidad (Fotografía 4.2b).
4. Extracción de ~500g de suelo y traspaso de lo recolectado en bolsa para muestras (Fotografía 4.2c).
5. Sellado de la bolsa y etiquetado de la muestra.
6. Simultáneamente, se procede con la medición *in situ* del pH mediante la extracción de 10g de suelo y traspaso en un vaso de precipitado graduado de 50ml (Fotografía 4.2d).
7. Luego, se vierten 25ml de agua desionizada sobre el vaso de precipitado (Fotografía 4.2e) y se revuelve con una cuchara hasta conseguir formar una solución homogénea con el suelo (Fotografía 4.2f).

8. Con la solución de agua + suelo formada se procede a la medición introduciendo una tira indicadora de pH marca MERCK dentro del vaso de precipitados durante 3-4s.
9. Transcurrido el breve lapso anterior, se retira la tira indicadora de pH, se compara con su escala de colores (proporcionada por el fabricante) y se anotan los resultados (Fotografías 4.2g y 4.2h).



Fotografía 4.2 Pasos durante la etapa de recolección de muestras y medición *in situ*. En a) Hojarasca previa al muestreo, b) Paso 3, c) Paso 4, d) Paso 6, e) y f) Paso 7, g) y h) Paso 9.

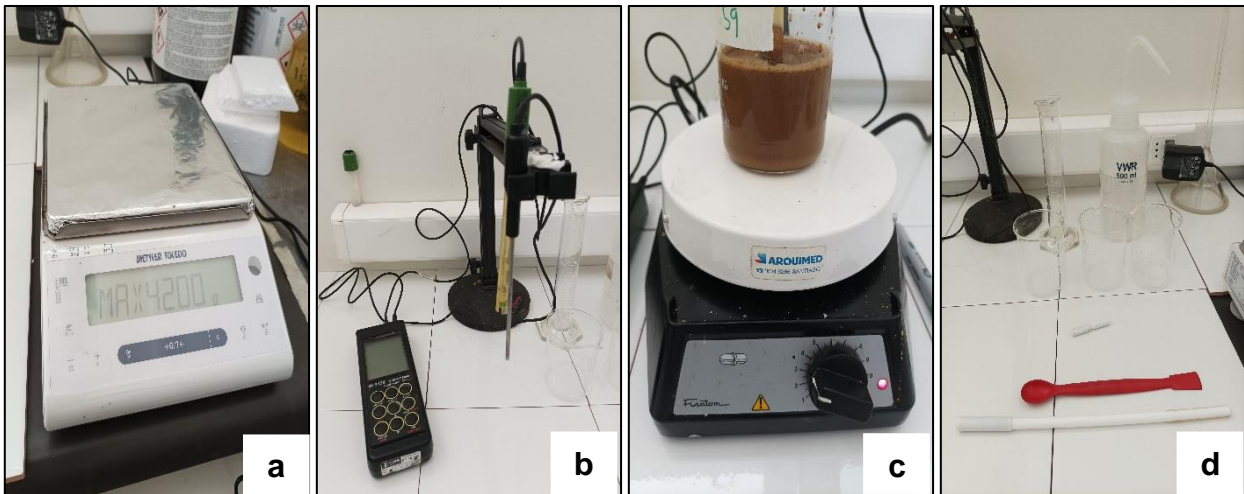
Una vez finalizado el terreno, las muestras recolectadas fueron mantenidas bajo refrigeración hasta el momento en que fue realizado el primer análisis en laboratorio, con el fin de retrasar la acción microbiana e impedir cualquier tipo de alteración o perturbación.

4.4.1.2 Preparación de muestras y análisis en laboratorio:

El análisis de las muestras de suelo en laboratorio se realizó en dependencias de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción, empleando una metodología similar a la de

Sadzawka et al. (2006) que consistió en dos etapas de medición: una primera vez en muestra húmeda y una segunda vez en muestra seca. En ambas instancias, se utilizó el mismo instrumental de laboratorio (Fotografía 4.3), que se desglosa a continuación:

- Balanza electrónica de precisión Mettler Toledo modelo ML-4002.
- pH-metro de precisión adecuada Hanna modelo HI-9126, con rango de pH 0-14 y termómetro.
- Vaso de precipitado graduado de 150ml.
- Probeta graduada de 90ml.
- Agua desionizada.
- Agitador magnético Fisatom con barras o pastillas magnéticas.
- Piseta de 500ml.
- Espátula.

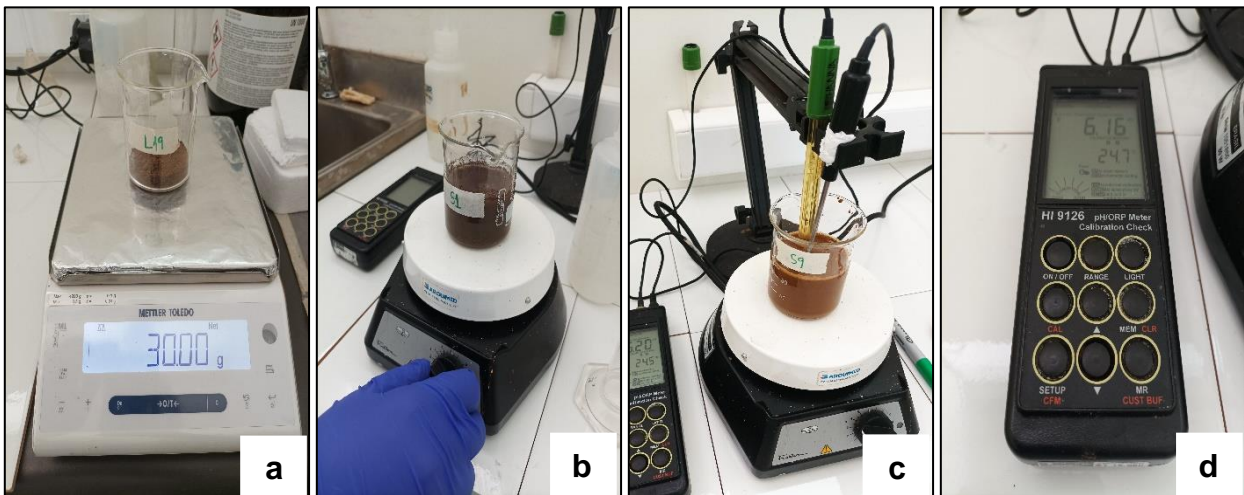


Fotografía 4.3 Instrumentos de laboratorio utilizados durante los análisis. En a) Balanza electrónica, b) pH-metro, c) Agitador magnético, d) Probeta graduada, piseta, vasos de precipitado graduados, pastillas magnéticas, espátula y varilla magnética y de agitación.

La primera medición en muestra húmeda se realizó en el menor lapso de tiempo posible (alrededor de 3 días) posteriores al terreno, a fin de intentar emular las características naturales del suelo *in situ*, pero bajo condiciones controladas. El procedimiento seguido en laboratorio para el análisis de las muestras constó de los siguientes pasos que se indican a continuación:

1. Tarar la balanza electrónica con el vaso de precipitado de 150ml.

2. Retirar cuidadosamente pequeñas porciones de la muestra de suelo con ayuda de la espátula y traspasarlos al vaso de precipitado hasta alcanzar una masa de 30g (Fotografía 4.3a).
3. Sellar la bolsa de la muestra para preservar el suelo remanente.
4. Preparar una suspensión de muestra de suelo en agua desionizada en proporción 1:2,5 (30g de muestra en 75ml de agua, para el caso particular).
5. Posteriormente, colocar la suspensión de suelo sobre la plataforma del agitador magnético y depositar las pastillas magnéticas dentro del vaso de precipitado.
6. Agitar cuidadosamente y regulando la potencia de revoluciones del instrumento para evitar salpicaduras. Esperar alrededor de 5 minutos o hasta observar una solución homogénea de agua + suelo (Fotografía 4.3b).
7. Con la solución homogénea formada, se procede a introducir los electrodos del pH-metro dentro del vaso de precipitado (Fotografía 4.3c).
8. Luego de esperar durante un momento hasta que el pH-metro se estabilice, se registra la medida indicada en el instrumento (Fotografía 4.3d).
9. Finalizada la medición, se procede a la higienización de los instrumentos y se preparan para la siguiente muestra.



Fotografía 4.4 Ejemplo de pasos seguidos durante el análisis de laboratorio. En a) Paso 2, b) Paso 6, c) Paso 7 y d) Paso 8.

Posterior al primer análisis, se continuó con la preparación de las muestras para la segunda medición en muestra seca. Para ello, las muestras fueron transportadas hasta la Sala de Sedimentología en dependencias del Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de

Concepción, donde se masaron aún húmedas en una balanza manual Sartorius (Fotografía 4.4a) y se registraron sus medidas. Luego, las muestras fueron colocadas cuidadosamente dentro de un horno de secado de convección natural Memmert GmbH modelo U-50 (Fotografías 4.4b y 4.4c) a una temperatura de 35°C por un periodo de 24h continuadas. Transcurrido el tiempo de secado, las muestras fueron retiradas del horno y masadas nuevamente en la balanza, para comprobar que no hubiesen perdido más del 10% de humedad. Después de registrar la masa de las muestras secas, se procedió a tamizarlas con una rejilla de 2mm de apertura, a fin de separar las partículas de tamaño grava del resto de la muestra.



Fotografía 4.5 Instrumentos utilizados durante etapa de preparación de las muestras para la medición en muestra seca. En a) Balanza manual, b) Horno de secado de convección natural y c) Muestras ingresadas al horno.

Luego de la preparación de las muestras secas, estas fueron nuevamente transportadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas para efectuar la medición del pH. El procedimiento en esta instancia fue el mismo que se siguió para el primer análisis, con las excepciones que se indican a continuación:

- Luego del paso 6 se apaga el agitador magnético y se retira el vaso de precipitado con la solución homogénea y se deja reposar por un periodo de 2 horas para formar nuevamente una suspensión de suelo.
- Transcurrido el tiempo anterior, se reingresa el vaso de precipitado con la nueva suspensión de suelo y se agita nuevamente durante 5 minutos o hasta observar una solución homogénea de agua + suelo (similar a paso 6.).

Luego, el procedimiento continúa de la misma manera que en el primer análisis, desde el paso 7 a 9, y se repite el ciclo hasta finalizar con todas las muestras.

4.4.2 Taller de cartografía participativa

La cartografía participativa (CP) corresponde a una metodología colaborativa, que propone a los actores clave de un determinado territorio y afectadas por problemáticas, proyectos o emprendimientos a participar activamente en el proceso de investigación, planificación y toma de decisiones de manera de promover el surgimiento no sólo de conocimiento, sino también de cambios sociales y empoderamiento de las comunidades locales (McCall, 2011 en Arrain et al., 2019). En línea con el planteamiento anterior, se entiende que los mapas producto de instancias de CP logran materializar y representar diferentes realidades socioculturales, objetivándolas en mapas georreferenciados y cartografías ilustradas (Cid et al., 2021).

De acuerdo con la definición anterior, a fin de crear nueva información cartográfica local, durante los laboratorios de co-diseño llevados a cabo en el área de estudio, se desarrolló un taller de CP que contó con la participación de múltiples actores clave provenientes de las diferentes localidades y dedicados a diversos rubros (por ej.: recolectores de orilla de Quiapo, recolectores de frutos del bosque y nalcas, etc.).

En el taller, para la optimización del tiempo y facilitación del desarrollo de la actividad, previamente se indicó a todos los asistentes los objetivos esperados y la metodología a utilizar, además, el trabajo fue dividido en grupos en distintos mesones equipados con todo el material necesario, a saber: base de mapeo (imagen satelital del área de estudio), papelógrafos semitransparentes para el trazado de la CP, lápices y marcadores de diferentes colores, etc. Después, se consultó a los participantes sobre sus percepciones respecto del estado de los comunes más relevantes de la zona, además de hitos y amenazas surgidas en el entorno a lo largo de tres periodos temporales: Antes de 1990, 1990-2010, 2010-Actualidad y con ello se dio inicio a la actividad.

Durante el desarrollo del taller, los participantes dialogaron y reflexionaron en torno a la evolución de su entorno en los periodos temporales señalados, realizaron anotaciones, líneas, polígonos y

otros dibujos sobre los papelógrafos, los que paulatinamente fueron creando el borrador preliminar de la CP (Fotografía 4.6). Luego de transcurrido el tiempo acordado para el mapeo, los diferentes grupos de trabajo hicieron exposiciones breves de sus hallazgos (Fotografía 4.7), instancia que fue aprovechada para compartir las reflexiones finales de las diversas percepciones de la comunidad local y que resultó clave para realizar las últimas anotaciones.



Fotografía 4.6 Ejemplos del mapeo realizado durante el desarrollo de la CP. En a) Localización de frutos de recolección silvestre al sur de Lebu en el periodo “Antes de 1990”, b) Localización de comunales marino-costeros en las localidades de Millongue, Villarrica y Quiapo en el periodo “Antes de 1990”, c) Anotaciones de los hitos y amenazas en el borde costero de Mina Costa y Morhuilla en el periodo “1990-2010”, d) Detalle de anotaciones sobre la abundancia de algunos comunales y e) Participantes del taller colaborando en grupo durante el desarrollo de la CP.



Fotografía 4.7 Participantes del taller de CP exponiendo su trabajo. En a) Mapeo preliminar realizado sobre el sector sur de Lebu en torno a los comunes del bosque nativo, y b) Mapeo preliminar realizado sobre el borde costero de Mina Costa y Morhuilla e identificación de algunos hitos y amenazas.

Posterior a la realización del taller, la información recabada junto con los mapas preliminares fue traspasados en limpio y geoprocesados en el software ArcGIS Pro para la elaboración de las cartografías participativas finales. Los detalles del producto acabado se desglosan más adelante en el capítulo de resultados (ver página 88).

4.5 Etapa de gabinete 3

Integración de toda la información obtenida en las etapas de trabajo anteriores, a través del geoprocesamiento de los datos en softwares SIG, principalmente ArcGIS Pro y ArcMap en su versión 10.5, además del uso de Excel para el manejo de bases de datos en hojas de cálculo. El empleo de estos programas en conjunto, permitió el cálculo de índices espectrales, la elaboración de mapas, gráficos o series de tiempo que den cuenta de la variabilidad espacio-temporal de los diversos parámetros bio-geo-físicos analizados. Posteriormente, discuten los resultados, se evalúan los posibles efectos de la variabilidad climática sobre los comunes del área de estudio y se proponen recomendaciones para la mitigación o adaptación a las condiciones imperantes para la preservación y cuidado de los comunes costeros.

4.5.1 Cálculo de índices espectrales

Un índice espectral es una ecuación que combina valores de píxeles de dos o más bandas espectrales en una imagen multiespectral utilizando diversos algoritmos, centrados principalmente en la relación de bandas o en el escalado de determinadas características. Los índices espectrales se calculan para resaltar los píxeles de una imagen que no sólo muestran la abundancia relativa de una cubierta terrestre de interés, sino que también destacan una función del ecosistema. Muestran una mayor sensibilidad que las bandas espectrales individuales para la detección de firmas espectrales. Con el transcurso de los años y el avance de las diferentes misiones de observación de la superficie terrestre (por ej.: Aster, Sentinel, Landsat, etc), los índices espectrales han contribuido significativamente a una comprensión espacio-temporal más profunda de los entornos y ecosistemas del planeta (Tran et al., 2022).

Conforme con el planteamiento anterior, en el desarrollo de esta tercera etapa de gabinete se consideraron y evaluaron los siguientes índices espectrales: índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), índice de humedad de diferencia normalizado (NDMI), y el índice de temperatura superficial terrestre (LST), para ello se hizo uso de imágenes satelitales de Landsat 4, 5, 7, 8 y 9 obtenidas desde el repositorio web EarthExplorer del Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés. A continuación, se describe brevemente cada índice y los cálculos necesarios para su obtención:

4.5.1.1 NDVI

El Índice de vegetación de diferencia normalizada, también conocido como NDVI por su abreviatura en inglés, es un índice que permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial (Verdin et al., 2003). Para ello, este índice hace uso de la banda del rojo visible (RED) y la banda del infrarrojo cercano (NIR) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Donde, NIR = banda 4 (Landsat 4-7) y banda 5 (Landsat 8-9); y RED = banda 3 (Landsat 4-7) y banda 4 (Landsat 8-9).

El resultado del cálculo es una imagen ráster cuyos valores adimensionales pueden variar entre -1 y 1, donde los valores negativos hasta cero corresponden a áreas con ausencia de vegetación, mientras que los valores positivos representan vegetación y los próximos a 1 contienen vegetación densa (Piedallu et al. 2019).

4.5.1.2 NDMI

El índice de humedad de diferencia normalizada, o NDMI por sus siglas en inglés es un índice que se utiliza para determinar el contenido de agua de la vegetación (USGS, 2019), y constituye un gran indicador para el monitoreo del estrés hídrico de los cultivos (Matechik et al., 2022). El NDMI se obtiene a través de una relación aritmética entre los valores de la banda de infrarrojo cercano (NIR) y los valores de la banda de infrarrojo de onda corta (SWIR) por medio de la siguiente ecuación:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (2)$$

Donde, NIR = banda 4 (Landsat 4-7) y banda 5 (Landsat 8-9); y SWIR = banda 5 (Landsat 4-7) y banda 6 (Landsat 8-9).

De la misma forma que en el índice NDVI, el resultado del cálculo es una imagen ráster cuyos valores adimensionales pueden variar entre -1 y 1, pero en este caso los valores negativos más próximos al límite inferior, es decir, a -1 corresponden a zonas con muy baja humedad o a suelos desnudos, los valores negativos intermedios hasta 0, presentan un contenido de humedad moderado y alto estrés hídrico, mientras que por su parte, los valores positivos corresponden a aquellos con más humedad y por tanto, menor estrés hídrico, pudiendo incluso aquellos valores muy próximos a 1 estar indicando áreas con nulo estrés hídrico o anegamientos (Antognelli, 2018).

4.5.1.3 LST

La temperatura superficial terrestre, o LST por sus siglas en inglés, corresponde a la temperatura radiativa de la superficie terrestre, medida en la dirección de un sensor remoto y se logra a partir de las temperaturas de brillo de la capa superior de la atmósfera de los canales espectrales infrarrojos derivados de imágenes satelitales (CGLS, 2020). Este índice se ha utilizado ampliamente y de forma rutinaria en la literatura científica como dato clave en los modelos de la superficie terrestre y de monitoreo de variables climáticas en diversas escalas temporales (Hulley et al., 2019). Los pasos y cálculos necesarios para la obtención del LST son similares para todos los satélites Landsat, salvo diferencias puntuales que se indican cuando es preciso. A continuación, se desglosa el proceso en detalle:

Paso 1: Cálculo de la Radiancia; en primer lugar, se debe convertir los valores de las Cifras Digitales (CD) (en inglés “Digital Numbers” o DN) a valores de radiancia, para ello, se emplean las siguientes ecuaciones:

En Landsat 4-7, se utiliza la banda 6:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (3)$$

En Landsat 8-9, se utiliza la banda 10:

$$L_{\lambda} = M_L + QCAL + AL - 0.29 \quad (4)$$

Donde, L_{λ} es la radiancia; $LMAX_{\lambda}$ y $LMIN_{\lambda}$: corresponden a valores escalados de la radiancia espectral, máximos y mínimos respectivamente; $QCALMAX$, $QCALMIN$ y $QCAL$: corresponden a valores de píxel calibrado cuantificado en CD, máximos y mínimos respectivamente, mientras que $QCAL$ es equivalente a la banda 6 y banda 10 según el caso; y AL : corresponde al factor de reescalamiento de la radiancia según la banda correspondiente. Todos los valores necesarios en la ecuación se extraen directamente del archivo de metadatos (MTL) de la imagen satelital.

Paso 2: Cálculo de la Temperatura de brillo; luego del paso anterior, se procede con la conversión de la radiancia a temperatura de brillo (en inglés “Brightness Temperature” o BT) de la siguiente manera:

$$BT[{}^{\circ}C] = \left(\frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \right) - 273.15 \quad (5)$$

Donde, $BT[{}^{\circ}C]$ es la temperatura de brillo en grados Celsius, L_{λ} es la radiancia obtenida en el paso 1 y $K1$ y $K2$: corresponden a constantes de calibración cuyos valores se obtienen directamente del archivo de metadatos (MTL) de la imagen satelital correspondiente.

Paso 3: Cálculo de la emisividad de la superficie terrestre; para este paso es preciso contar con un ráster del índice NDVI, cuyos pasos para su obtención fueron detallados anteriormente. Con el NDVI preparado, el procedimiento para obtener la emisividad es el siguiente:

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (6)$$

Luego,

$$\mathcal{E} = 0.004Pv + 0.986 \quad (7)$$

Donde, Pv es la proporción de vegetación, $NDVI_{max}$ y $NDVI_{min}$ corresponden a los valores máximos y mínimos del ráster NDVI y \mathcal{E} es la emisividad de la superficie terrestre.

Paso 4: Obtención del índice de temperatura superficial terrestre, una vez realizados todos los cálculos anteriores, el LST se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda BT}{c^2}\right) \ln \mathcal{E}} \quad (8)$$

Donde, λ es la longitud de onda de la radiancia emitida, que para la banda 6 (Landsat 4-7) es $11.45\mu m$ mientras que en la banda 10 (Landsat 8-9) es $10.9\mu m$, c corresponde a la velocidad de la luz, considerada como $2.998 \cdot 10^8$ m/s, y \mathcal{E} es la emisividad calculada en el paso 3.

4.5.2 Obtención de factores para USLE

La ecuación universal de pérdida de suelos, o USLE por sus siglas en inglés, corresponde a uno de los modelos de erosión hídrica más ampliamente utilizados en la literatura científica y fue propuesto originalmente por Wischmeier y Smith (1978). La USLE es una ecuación multiparamétrica, en la que se consideran cinco factores determinantes que representan las condiciones de la erosión hídrica, dichos parámetros son: la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la topografía (LS), el manejo de cultivos o influencia de la vegetación (C) y las prácticas de control de erosión (P), y se multiplican de acuerdo a la ecuación:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (9)$$

Donde, A es el promedio de pérdida de suelo en ton/ha/año; R, K, LS, C y P son los parámetros ingresados a la ecuación previamente mencionados.

Cabe destacar que, a pesar de su popularidad, la USLE no está exenta de limitaciones como, por ejemplo, el hecho de expresar las pérdidas anuales de suelo a largo plazo, y por tanto no representar la situación particular de un año concreto sino más bien de un contexto actual. Otras limitaciones son discutidas en el texto más adelante (ver Capítulo 6 – Discusión, pág. 200).

No obstante lo anterior, se realizó el ejercicio de cálculo de la pérdida de suelo, a fin de evaluar aproximadamente el riesgo de erosión actual y potencial para el área de estudio. A continuación, se desglosa el procedimiento general empleado en este estudio para la obtención de cada parámetro en el cálculo del factor A de la USLE.

4.5.2.1 Factor de erosividad de la lluvia (R)

El factor de erosividad de la lluvia o simplemente "R" refiere a la energía cinética del impacto de las gotas de lluvia y la tasa de escorrentía asociada. Para su obtención emplea la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvia anuales con sus intensidades máximas en 30 minutos (Wischmeier & Smith, 1965). Lamentablemente, estos datos son muy específicos y suelen ser escasos y difíciles de conseguir desde estaciones meteorológicas, por lo que con el paso del tiempo se han desarrollado metodologías alternativas que faciliten el cálculo de R como, por

ejemplo, el empleo del Índice Modificado de Fournier (IMF) se utiliza cada vez más para estos fines.

Otra alternativa, es el uso del Mapa Global de Erosividad de la Lluvia (MGEL) el cual es el resultado de un gran esfuerzo investigativo por parte del Centro Europeo de Datos sobre el Suelo (ESDAC en inglés) que pone a disposición una base de datos completa sobre la erosividad de las precipitaciones en todo el mundo en formato ráster. Para el caso particular, se ha optado por la utilización del MGEL por la facilidad que proporciona para el manejo de los datos y la obtención de R, y para ello, se procedió a solicitar acceso a esta base de datos directamente desde el sitio web de ESDAC y, posteriormente, la información fue procesada y trabajada en el software ArcGIS Pro.

4.5.2.2 Factor de erodabilidad del suelo (K)

La erodabilidad del suelo o simplemente “K” representa el efecto de las propiedades y características del perfil del suelo sobre la pérdida de suelo y para su obtención emplea datos referidos a las clases texturales del suelo (derivados de los contenidos de arena, limo y arcilla) y del contenido de materia orgánica de una determinada área de interés. En la red existen múltiples fuentes y bases de datos disponibles derivadas de misiones globales de observación remota que están disponibles y que pueden ser empleadas para el cálculo de K.

En el caso particular, se recurrió a la Base de Datos Mundial Armonizada sobre el Suelo que corresponde a un producto de libre acceso como resultado de una colaboración entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO en inglés) y organismos e instituciones nacionales alrededor del mundo dedicadas al estudio de los suelos (IIASA, ISRIC, Institute of Soil Science, ISSCAS, y JRC); y corresponde a una compilación de datos en formato ráster con más de 15.000 unidades cartográficas de suelo diferentes que combina las actualizaciones regionales y nacionales existentes de información sobre el suelo en todo el planeta. Luego de la obtención de los datos, estos fueron ingresados y trabajados en el software ArcGIS Pro para el área de estudio.

4.5.2.3 Factor de la pendiente (LS)

El factor topográfico LS refiere a la longitud de la pendiente "L" y a su inclinación "S", de manera tal que el aumento de la longitud de la pendiente "L" provoca un aumento de la erosión debido a una acumulación progresiva de la escorrentía en el sentido de la pendiente, y el aumento de la inclinación de la pendiente "S" incrementa la erosión del suelo como consecuencia del aumento de la velocidad.

Para la obtención de este factor se requiere de la utilización de un modelo de elevación digital (DEM en inglés). En el caso particular de este estudio, se utilizó un ráster de elevación TanDEM-X©DLR 2017 de 12.5m de resolución, obtenido gracias al proyecto TanDEM-X DEM_GEOL0845. Luego de la obtención de la imagen, esta fue ingresada al software ArcGIS Pro para extraer el mapa de pendientes y la acumulación de flujo, a los que luego se aplicaron operaciones aritméticas basadas en las ecuaciones 10, 11 y 12, desarrolladas originalmente por Moore y Wilson (1992).

$$L = \left(\frac{FlowAcc * CS}{22.13} \right)^{0.5} \quad (10)$$

$$S = \left(\frac{\sin Slope * 0.01745}{0.09} \right)^{1.3} \quad (11)$$

$$LS = \frac{L * S}{100} \quad (12)$$

Donde, L es el subfactor longitud de pendiente; S es el subfactor inclinación de pendiente; FlowAcc es la acumulación de flujo; CS es el tamaño de celda del DEM; Slope es el mapa de pendientes y LS es el factor topográfico.

4.5.2.4 Factor de la influencia de la cobertura vegetal (C)

El factor de influencia de la cobertura vegetal o "C" refiere como su nombre indica, al predominio que la cubierta vegetal y sus residuos producen sobre el suelo, frente a la fuerza erosiva de la lluvia, controlando no sólo la energía con la que llegan las gotas de las precipitaciones a la superficie del suelo, sino también la velocidad de la escorrentía superficial (Bascañán, 2010).

Originalmente, el factor C fue desarrollado teniendo en consideración el manejo de cultivos, casos para los que se han elaborado diversas tabulaciones que asignan valores de C según el tipo de cultivo y sus características. No obstante, una alternativa a esto, consiste en la derivación del factor C a través de análisis de regresión sobre un ráster NDVI mediante el cual se obtienen los valores de la influencia de cobertura vegetal. Para este caso particular, se trabajó con un ráster NDVI (cuyo cálculo ha sido detallado anteriormente) a partir de una imagen Landsat 8 obtenida desde el sitio web EarthExplorer del USGS.

4.5.2.5 Factor de prácticas de control de erosión (P)

El factor de prácticas de control de erosión o “P”, refiere como alude su nombre, al efecto que la aplicación de protocolos o prácticas de manejo tendrá para reducir la cantidad y la velocidad de la escorrentía de agua y, por tanto, la cantidad de erosión del suelo (Bascuñán, 2010). Los valores se obtienen generalmente de la literatura, aunque no siempre se encuentran disponibles, a pesar de esto, para facilitar la interpretación, se ha optado por asignar el valor 1, como se ha sugerido para el caso de cuencas que cuenten con suelos de uso forestal (Iorumé et al., 2011).

5 RESULTADOS

5.1 Identificación de comunes

La identificación de comunes en el área de estudio, se obtuvo a partir del análisis, revisión y extracción de información derivadas de los apuntes, reportes y grabaciones realizados durante el desarrollo de las diferentes actividades interdisciplinarias: entrevistas semiestructuradas con actores clave, percepciones derivadas de las conversaciones, laboratorios de co-diseño, visitas guiadas al territorio, taller de cartografía participativa, etc.

Gracias a estas informaciones se logró identificar una amplia variedad de especies relevantes para las comunidades locales, la ubicación geográfica de gran parte de estos comunes, así como su estado actual y pasado. Más adelante se comparan y reanalizan los estados de estos comunes con los parámetros bio-geo-físicos descritos a partir del subcapítulo 5.2 (ver pág. 108).

A continuación, se presentan los comunes identificados a lo largo del territorio del área de estudio, se describe su estado actual y se detallan los resultados obtenidos de la experiencia de cartografía participativa (CP).

5.1.1 Contexto y clasificación general de comunes

En el área de estudio se reconocen fundamentalmente dos grandes tipos o grupos de comunes claramente diferenciados por las características del ambiente o ecosistema en el que se desarrollan. Por una parte, se encuentran los comunes "Marino-Costeros" que abarca los seres vivos asociados al borde costero, principalmente en la zona intermareal, en el lado occidental del territorio comunal, que se extiende por alrededor de 32 kilómetros, desde el río Quiapo, por el norte, hasta el estero Colhue, en el sur, aunque cabe destacar que las comunidades locales suelen desarrollar sus actividades de recolección no más allá de las costas de Morhuilla. Este ecosistema cuenta con una vasta biodiversidad de especies como las algas (por ej.: luga, cochayuyo, etc.), las cuales poseen una importancia ecológica y ecosistémica sustancial, puesto que constituyen la base de numerosas interacciones y conexiones naturales de las cadenas alimenticias marinas, además de cumplir funciones de protección para muchas especies de peces y mariscos, ralentizar los procesos de erosión costera y brindar estructura y diversidad de hábitat a los espacios marinos, además, su labor biológica como organismos fotosintetizadores, es comparable a la de árboles y bosques en ecosistemas terrestres.

Además de las algas, variadas especies de mariscos como machas, piures, erizos, entre otros, también son recolectados por la orilla de las playas y/o en jornadas de buceo; así como crustáceos (principalmente jaibas) y peces (por ej.: corvina, robalo, etc.), los que son cogidos mediante pesca artesanal con redes. Estos recursos son destinados a diferentes fines; algunas especies de peces como la corvina o vieja, al igual que algunos mariscos, mayormente se emplean para el consumo personal, constituyendo una parte importante de la alimentación de las comunidades, pero otros, son comercializados tanto a nivel local como nacional. A su vez, gran parte de las algas son vendidas como productos de exportación para diversas áreas de la industria culinaria, medicinal y cosmética, por ejemplo, la luga se emplea en la fabricación de plásticos, jabones y champú, o el cochayuyo que se utiliza para el tratamiento de afecciones reumáticas, respiratorias, dérmicas; úlceras estomacales, hipertensión, entre otras.

En segundo lugar, se encuentran los comunes del “Bosque nativo”, los cuales corresponden principalmente a una variedad de especies vegetales de árboles y arbustos, desde los que se recolectan frutos silvestres y hierbas medicinales (por ej.: maqui, mutilla, oreganillo, poleo, boldo, etc.). Por su parte, destaca notablemente la presencia de nalca o pangué (*Gunnera tinctoria*) presente en zonas de quebradas y gran humedad, pero también en lugares arenosos dentro de Lebu, así como también en zonas que se extienden más allá del territorio comunal como Trongol, Pelahuenco, Ranquenco, Sara de Lebu, entre otros. La nalca en el área de estudio adquiere una particular importancia, puesto que el trabajo de los recolectores, se remonta varias décadas en el pasado, lo que, sumado al amplio reconocimiento como producto de exportación a lo largo de todo el territorio nacional, con énfasis desde la zona centro hacia el sur de Chile, le otorgan a este común no solo una significación económica, sino también un profundo carácter identitario y cultural.

Además de las plantas, algunas especies de hongos comestibles en la zona (por ej.: changle, digüeñe, etc.), también juegan un valioso rol como recurso de recolección, siendo estos en gran medida utilizados para su posterior comercialización, aunque también encontrándose muy presentes en la dieta familiar de muchos recolectores. Por lo demás, pese a que a priori pueda poseer un carácter complementario, junto a la recolección de frutos silvestres, hierbas medicinales y nalcas; dentro del territorio, existen numerosas familias que conciben esta actividad como su principal fuente de ingresos, y para otras, supone una gran alternativa en épocas de aumento del desempleo.

Por último, fuentes de agua como humedales, vertientes y APR distribuidos en diferentes puntos del territorio, conforman lo que puede considerarse un tercer grupo de comunes “Hídricos” también con una gran relevancia para las diferentes comunidades locales. En la Tabla 5.1 se desglosa en detalle las diferentes especies identificadas dentro de cada grupo de comunes presentes en el área de estudio y presentados con anterioridad.

Tabla 5.1 Identificación preliminar y categorización de comunes en el área de estudio.

Grupo	Subgrupo	Especies Identificadas	Localidades Principales
Marino-Costero	Algas	Luga larga (<i>Sarcothalia crispata</i>); Luga corta o cuchara (<i>Mazzaella laminarioides</i>); Cochayuyo y Ulte (<i>Durvillaea antarctica</i>); Lucho (<i>Ulva rigida</i>); Coto (<i>Lessonia spicata</i>); Gelillo/Pelillo (<i>Agarophyton chilensis?</i>); Chicoria (<i>Chondracanthus chamissoi</i>)	Quiapo, Morhuilla, Mina Costa, Millongue
	Mariscos	Macha (<i>Mesodesma donacium</i>); Loco (<i>Concholepas concholepas</i>); Jibia (<i>Dosidicus gigas</i>); Erizo (<i>Loxechinus albus</i>); Caracoles (S/D) ; Poto de mar (<i>Phymactis papillosa?</i>); Pepino de mar (Clase Holothuroidea); Chape (<i>Fissurella sp.</i>); Piure (<i>Pyura chilensis</i>); Picoroco (<i>Austromegabalanus psittacus</i>)	Quiapo, Morhuilla, Mina Costa, Millongue
	Crustáceos	Jaiba reina (<i>Cancer plebejus</i>); Jaiba marmola (<i>Cancer edwardsii</i>); Jaiba remadora (<i>Ovalipes trimaculatus</i>)	Quiapo, Millongue
	Peces	Corvina (<i>Cilus gilbert</i>); Corvinilla (<i>Sciaena deliciosa?</i>); Jurel (<i>Trachurus murphyi</i>); Robalo (<i>Eleginops maclovinus</i>); Reineta (<i>Brama australis</i>); Vieja (<i>Graus nigra</i>); Merluza (<i>Merluccius gayi gayi</i>); Sierra (<i>Thyrstites atun</i>), Congrio (<i>Genypterus chilensis</i>), Lenguado (<i>Paralichthys adspersus</i>)	Lebu, Quiapo, Morhuilla, Mina Costa, Millongue
Bosque Nativo	Nalcas	Nalca o Pangue (<i>Gunnera tinctoria</i>)	Pehuén, Quiapo, Mina Costa, Rucarraqui, Colhue, Sara de Lebu
	Frutos silvestres	Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>); Mutilla (<i>Ugni molinae</i>); Mora (<i>Rubus ulmifolius</i>); Lagüeña (<i>Fragaria chiloensis</i>); Michay (<i>Berberis darwinii</i>); Avellana (<i>Gevuina avellana</i>); Chupón (<i>Greigia sphacelata</i>)	Pehuén, Quiapo, Rucarraqui, Colhue, Sara de Lebu, Caramávida
	Hierbas medicinales	Palo negro (<i>Leptocarpha rivularis</i>); Oreganillo (<i>Teucrium bicolor</i>); Poleo (<i>Mentha pulegium</i>); Orocoipo (<i>Myoschilos oblongum</i>); Arrayán (<i>Luma apiculata</i>); Lingue (<i>Persea lingue</i>); Boldo (<i>Peumus boldus</i>)	Pehuén, Quiapo, Rucarraqui, Colhue, Sara de Lebu, Caramávida
	Hongos	Changle (<i>Ramaria flava</i>); Loyo (<i>Boletus loyo</i>); Digüeña (<i>Cyttaria espinosae</i>); Callampa (<i>Suillus granulatus?</i>)	Pehuén, Quiapo, Colhue, Rucarraqui
Hídricos	Humedales	Camarón de tierra (<i>Parastacus pugnax</i>)	Pehuén, Lebu, Huellaco, Santa Rosa, Rucarraqui
	Vertientes	-	Pehuén, Lebu, Santa Rosa, Rucarraqui
	APR	-	Pehuén, Santa Rosa

5.1.2 Comunes marino-costeros

En lo que respecta a las especies identificadas como comunes marino-costeros en el área de estudio, se puede mencionar en primer lugar, que corresponde a un conjunto percibido ampliamente por los recolectores de orilla como bienes escasamente cuidados, y que en los últimos 10 a 20 años han experimentado un considerable decrecimiento en el número de individuos disponibles.

Algunas causas aparentes y más recurrentemente atribuidas por los locatarios como posible explicación de esta disminución son: el terremoto de febrero de 2010, cuyos efectos entre otras cosas, ocasionó cambios notorios en la morfología costera (alzamiento del terreno), por otro lado, el paulatino crecimiento de población en las diferentes caletas pesqueras (por ej.: Quiapo y Millongue), malas prácticas como descarga de desechos en las playas (por ej.: Mina Costa), o la llegada de recolectores fuerinos y esporádicos, que una vez acabado el periodo de recolección se retiran del territorio. También se menciona que la sobreabundancia de bosques de alga huiro flotador (*Macrocystis pyrifera*), además de dificultar las labores de recolección por parte de buzos, estaría afectando el desarrollo de otras algas como cochayuyo o coto. En cuanto a la variabilidad climática, estos comunes se verían perjudicados por el incremento de las temperaturas oceánicas, el alza en las concentraciones de fitoplancton, el aumento de marejadas y la acidificación de los océanos, alterando sus funciones, distribución (desplazamiento) y ciclos de desarrollo, así como en las relaciones que se establecen entre ellas, fomentando la competencia por supervivencia entre especies de un mismo hábitat.

En el caso particular de las algas, los recolectores de orilla, habitualmente se han dedicado al recogimiento de la mortalidad natural de estas, que varan en el borde costero producto del movimiento del agua, corrientes de fondo e impacto del oleaje y ocasionalmente cortan frondas desde las praderas intermareales. En el territorio, *Sarcothalia crispata* (Luga larga), *Mazzaella laminarioides* (Luga corta o luga cuchara) y *Durvillaea antártica* (Cochayuyo y Ulte), corresponden a las principales especies extraídas y recolectadas por parte de las comunidades, al suponer la mayor fuente de ingresos para su sustento económico durante el año, con temporadas de recolección que habitualmente se extienden por más de seis meses, sobre todo en el caso de la luga. En la actualidad, estos comunes se han visto reducidos considerablemente, con algunos sectores como Mina Costa, donde los recolectores mencionan incluso, que se trataría de una disminución mayor al 50% comparativamente a como se percibía la situación hasta hace dos

décadas. Como se adelantó al comienzo de esta sección, además de los efectos del terremoto de 2010, otra de las explicaciones más recurrentes por parte de la comunidad para el decrecimiento de praderas de algas, sería la gran abundancia de huiro flotador, que competiría por espacio en el ecosistema marino con las otras especies, además de que, al no representar un interés económico, no es objeto de recolección y los buzos recurren a su corte, únicamente para evitar accidentes y acceder más fácilmente a las otras especies. En este punto, cabe mencionar que la rivalidad por espacio y acaparamiento del sustrato, aun entre individuos de una misma especie, es una característica común en las algas pardas. Sumado a lo anterior, la sobreexplotación debido a la demanda, y las malas prácticas empleadas por recolectores informales o foráneos, por ejemplo, arrancar de raíz la luga corta, impidiendo su futura reproducción, agravaría aún más el estado de estos recursos. Pese a lo anterior, los recolectores reconocen que, si bien la extracción de luga y cochayuyo resulta una tarea más ardua y laboriosa que antes, aún alcanzaría para suplir sus necesidades.

Otras algas presentes en la zona costera de Lebu y que son recolectadas de forma complementaria a las ya mencionadas, son el coto (huiro negro), luce, pelillo o gelillo y la chicoria. Estas, también han sufrido una notoria disminución en los últimos años de acuerdo a la comunidad, ocasionada por razones similares a las ya citadas, siendo quizás el pelillo y la chicoria las más afectadas, al punto de que algunos recolectores de caleta La Poza (Millongue) advierten de la desaparición casi total de estas especies en ese sector.

Por su parte, los recursos bentónicos como mariscos y crustáceos son extraídos mayoritariamente de forma complementaria a las algas, y su venta es más bien escasa, empleándose habitualmente para consumo personal, sobre todo en el caso de los mariscos. En Quiapo, por ejemplo, se recolectan chapas (lapas), caracoles, jaibas y ocasionalmente erizos. En el sector sur, desde Mina Costa hasta Morhuilla, también es posible hallar especies como, pepino de mar, piures, picorocos, entre otras. Estos comunes, también han visto una baja importante, y después del terremoto, el alzamiento del terreno, ocasionó el aumento del área de costa, dificultando más su recolección; por ejemplo, antes de 2010, los recolectores se aproximaban desde la orilla hasta que el agua alcanzaba sus cinturas, pero actualmente, se valen de buzos que recolectan más adentro. En suma a lo anterior, y tal como sucede en el caso de las algas, la comunidad también acusa como problemática y riesgo, la llegada de gente foránea que desconoce o no aplica buenas prácticas, extrayendo muchas veces

individuos de mariscos muy pequeños (juveniles), impidiéndoles desarrollarse y reproducirse adecuadamente.

A su vez, en el área de estudio se pescan de manera recreativa y empleando técnicas artesanales como pesca con redes, ejemplares de robalo, corvinilla, sierra, vieja, merluza y hasta jureles que, aunque ocasionalmente se comercializan en pequeñas cantidades, su uso se relega fundamentalmente al consumo personal. Respecto de estos peces, cabe destacar, que pese a que las comunidades locales los perciben como escasamente cuidados y cuya abundancia tampoco ha estado exenta del decrecimiento, al margen de la ocurrencia del terremoto de 2010, no se señalan claramente posibles causas para justificar su estado actual.

Dado este escenario, y ante la limitada o nula fiscalización por parte de entidades gubernamentales, las propias comunidades han ido tomando medidas de protección, por ejemplo, la imposición de una autoregulación en la extracción de algas como luga y cochayuyo, en la que, iniciada la temporada, antes de comenzar el corte, esperan aproximadamente 15-20 días para permitir que las praderas de algas proliferen y puedan crecer. O la limpieza de playas, que regularmente emprenden los habitantes permanentes en las caletas. Otra iniciativa relevante en el área de estudio, es la solicitud para el otorgamiento de un ECMPO, nombrada como “ECMPO Leufú”, que corresponde a los denominados “Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios”, una de las herramientas de ordenamiento y gestión económica disponibles en nuestro país para territorios costeros, y que actualmente cuenta con el estatus de “ingresada”, lo que ya establecería que la creación o implementación de cualquier nuevo proyecto de infraestructura, deba previamente ser también aprobado por las agrupaciones de la zona. Adicionalmente, se sugiere promover el diálogo con el municipio, para establecer medidas concretas que limiten, al menos en parte, la excesiva recolección de actores externos al territorio, ya que, además de afectar la disponibilidad de recursos para su sustento, también supone un factor de riesgo para el resguardo de estos comunes.

5.1.3 Comunes del bosque nativo

Los elementos que componen el bosque nativo constituyen un apoyo sustancial dentro del ecosistema terrestre en cualquier territorio y como tal, denota inmediatamente una gran importancia ecológica. Los bosques nativos de Lebu y alrededores se identifican como áreas históricamente desprotegidas y descuidadas, que han experimentado una fuerte disminución a lo largo de los años

debido a diferentes causas, como por ejemplo la sequía y disminución de precipitaciones, que ha afectado notoriamente los espacios vegetacionales actuales, por otra parte, el alza de las temperaturas y la frecuente ocurrencia de incendios forestales también constituye una gran amenaza para el bosque. Aunque probablemente, la causa más destacable sea la aparición de grandes empresas forestales, las que, desde su llegada al territorio en la década de 1980, comenzaron a abarcar extensas áreas boscosas, descubriéndolas para el loteo y preparación de sitios que pasarían a estar destinados a plantaciones monocultivas de pinos y eucaliptos, cuya alta demanda de agua, contribuye aún más al incremento del estrés hídrico presente en la zona. Adicionalmente, el extendido uso de químicos y pesticidas para fumigación y resguardo del correcto crecimiento en los predios forestales, acaba afectando de igual manera al desarrollo de los comunes del bosque nativo, como su crecimiento y sabor, especialmente a los frutos silvestres y nalcas.

Actualmente, la percepción generalizada de la comunidad local, es que el bosque nativo ha sido arrasado casi en su totalidad, y los escasos espacios que aún existen en la comuna siguen siendo intervenidos y talándose para continuar fomentando la productividad de la industria forestal.

En el caso de la nalca, pese a ser un común que las comunidades aun identifican como existente y con suficiencia para cubrir la creciente demanda, se percibe como una especie vegetal escasamente cuidada y que ha experimentado un fuerte decrecimiento y deterioro dentro de los últimos 20 años, por la presencia de predios forestales que paulatinamente han ido acaparando lugares cada vez más próximos a zonas de nalcales o “pajonales” como también son denominados, llegando incluso a haber zonas con plantaciones de monocultivo a menos de 20 metros de distancia de bosque nativo o de humedales. Esto, sumado al aumento de la sequía y el retraso de las lluvias, ha ocasionado que la abundancia de este común se haya visto reducido a incluso menos de la mitad en muchas localidades, tales como Quiapo, Villarrica, Pehuén, Colhue, Rucaraqui, entre otras.

Por otra parte, como fue anteriormente mencionado, junto con las nalcas, dentro del bosque nativo, se encuentra una gran diversidad de frutos silvestres, hierbas medicinales y hongos comestibles que tradicionalmente han sido recolectados complementariamente por las comunidades durante las temporadas previas a la cosecha de nalcales, la que comienza aproximadamente en junio y se extiende por alrededor de cinco a seis meses. Dentro de los frutos silvestres y hierbas medicinales, especies como la mutilla, maqui, moras, avellanas, oreganillo y boldo son especialmente

destacados por los recolectores como sumamente relevantes para su sustento y cuya notoria disminución supone gran motivo de preocupación. El maqui, por ejemplo, a menudo es recolectado por las orillas de los caminos, que regularmente son “despejados” por las empresas forestales, para evitar posibles contaminaciones y la prevención de incendios, realizando labores de limpieza de matorrales, en las que este común es simplemente considerado como maleza. A su vez, frutos como el michay o lagüñe han pasado de ser muy abundantes por todo el territorio a casi inexistentes en los últimos 15 a 20 años, pudiendo encontrarse escasamente en pequeños espacios muy focalizados en la actualidad. Otro ejemplo de esta disminución notoria, lo constituyen especies utilizadas como hierbas medicinales como el poleo, lingue, arrayán o el orocoipo, que al igual que en el caso de los frutos, antiguamente eran fácilmente localizables por todo el bosque y ya no.

Respecto de los hongos, estos también se han visto afectados por la falta de disponibilidad de agua y uso de químicos fungicidas por parte de las empresas forestales. Dentro de las especies reconocidas en el área de estudio, quizás el loyo y changle representen los comunes de este tipo más afectados, puesto que diferentes recolectores mencionan que actualmente son mucho más escasos, en comparación a como era la situación hace aproximadamente 10 años. Sin embargo, la reducción de setas comestibles no ha alcanzado aún un estado tan crítico como en el caso de los frutos silvestres.

Cabe destacar, que las comunidades también atribuyen cierto grado de responsabilidad en la reducción de estos comunes a las actividades de recolectores informales (no organizados), que desconocen las técnicas y resguardos para la reproducción de estas especies, como, por ejemplo, extrayéndolos desde la raíz, coartando así su posibilidad de rebrote.

Este estado de notable disminución en la abundancia de los comunes del bosque nativo, ha obligado a los recolectores a buscar alternativas que les permitan continuar con su labor, por ejemplo, la creación de acuerdos con dueños de fundos privados que aún poseen terrenos con gran proporción de bosque nativo resguardado, para que les autoricen el ingreso y poder recolectar frutos silvestres u hongos. Mientras que, para muchas familias avocadas a este rubro, la situación actual ha significado ampliar sus límites de búsqueda habituales, ocasionando de esta manera su desplazamiento hacia localidades extracomunales como Trongol, Pilpilco, Antiguala, Cuyinco, Pelahuenco, entre otros.

Adicionalmente, también han surgido iniciativas desde las mismas comunidades locales para intentar recuperar y resguardar en parte estos comunes. Tal es el caso de las recolectoras de nalcas de Pehuén que cada cierto tiempo realizan jornadas de “replantación” de esta especie en los pajonales de los alrededores de dicha localidad, llegando en más de una ocasión a centenares de ejemplares replantados. Por otro lado, se insta a continuar y fortalecer el diálogo con las empresas forestales para lograr acuerdos permanentes y mejorar la regulación respecto de donde se planta. Dentro de las ideas que han surgido desde la comunidad, se ha propuesto como medida de mitigación la reducción de algunos predios forestales o el otorgamiento de áreas protegidas, puesto que se ha advertido que en aquellos terrenos que durante algunas temporadas han dejado de ser intervenidos por la actividad forestal, han experimentado rebrote de furtos silvestres, dejando en evidencia la potencialidad autoregenerativa de algunas especies.

5.1.4 Comunes hídricos

El tercer grupo de comunes identificados en el territorio, corresponde al de los recursos hídricos, particularmente humedales, vertientes y agua potable rural o APR. Estos en conjunto, representan una parte fundamental del medioambiente, guardando una estrecha relación con los ecosistemas terrestres, al permitir el desarrollo de una gran diversidad de especies tanto vegetales como animales, además de jugar un rol importante en el abastecimiento de agua de las comunidades locales.

Al igual como sucede con los grupos de comunes anteriormente descritos, la percepción habitual por parte de los recolectores es de descuido, abandono y falta de protección legal de estos comunes, llegando en la actualidad a un estado de notable deterioro y escasez hídrica. Esto, es constatable en el hecho de que en la mayoría de las localidades aledañas a Lebu (por ej.: Quiapo, Pehuén, Mina Costa, etc.) existe racionamiento de agua mediante camiones aljibe desde hace alrededor de 8-9 años. Algunas posibles explicaciones para esta situación de acuerdo con los pobladores serían: el crecimiento demográfico en zonas rurales, lo que incrementa a su vez la demanda de estos recursos, o la intervención de cuerpos y cursos de agua, con descarga de desechos como el caso del estero Yeneco, que durante años ha sido objeto de descarga de aguas servidas, empeorando su calidad, o la extracción indiscriminada de agua de humedales por parte de empresas forestales para la mantención de sus predios. A lo anterior, también se suman las crecientes sequías, alza de temperaturas y reducción sustancial del bosque nativo.

Sobre los humedales, en el área de estudio se distribuyen ampliamente en localidades costeras, rurales y urbanas, como Quiapo, Lumere, Huellaco, Pehuén, Colhue, Rucaraqui, Morhuilla, etc., y componen el hábitat de diversidad de especies faunísticas como rana chilena, sapito de antifaz, camarón de tierra, hued-hued, golondrina chilena, lagarto chileno, coipo, entre otras. De estas especies, sólo el camarón de tierra es extraído por los recolectores. Adicionalmente, como cabría esperar, proveen de sustento hídrico a especies florales de comunes anteriormente mencionados como arrayán, maqui, orocoipo o boldo. Actualmente, las comunidades refieren a los humedales como espacios mermados en cantidad y calidad debido a sequías y apropiación de privados, situación que crea gran preocupación, al tratarse de ecosistemas frágiles. También se menciona que antiguamente hubo muchos más humedales, progresivamente intervenidos por empresas forestales, ocasionando que se secaran y desaparecieran, y con ello, afectara drásticamente la conservación de especies como poleo y orocoipo. Por otra parte, se acusa de igual forma sobre una reducción de la fauna, con ejemplos de aves como el piden y tagua que han sido alejadas y ya no se avistan en la zona.

En cuanto a las vertientes, es posible hallarlas repartidas por toda el área de estudio, sin embargo, mayoritariamente se alude a aquellas localizadas en Lebu, Pehuén, Santa Rosa y Rucarraqui. Históricamente, este común ha representado un sustancial aporte en el abastecimiento de agua de las comunidades locales, sobre todo en periodos de escasez hídrica. Tal es el caso, por ejemplo, de la vertiente La Esperanza, que desde hace décadas provee de agua a muchas familias en los barrios de Cerro La Cruz, Agua Las Niñas y Camarón Alto en la ciudad de Lebu. Con el pasar de los años, vertientes como esta han visto disminuir su flujo y otras se han secado y en general, todas han experimentado deterioro por las sequías, disminución de precipitaciones y la aparición y progresiva predominancia de plantaciones de monocultivos en el territorio.

En tercer lugar, los sistemas de APR localizados en Pehuén y Santa Rosa, también han sido afectados por el déficit hídrico durante los últimos 6 años, con descensos de napas subterráneas y aumento del riesgo de agotamiento de fuentes de captación.

Frente a este escenario, las comunidades locales han emprendido iniciativas para el resguardo de estas aguas y sus fuentes de origen, un ejemplo de ello, es la conformación de comisiones vecinales de limpieza de vertientes o el establecimiento de diálogo con empresas forestales para reducir o limitar sus actividades en áreas muy próximas a humedales como forma de mitigación del impacto

que se tiene sobre estos cuerpos de agua. Al mismo tiempo, se propone mejorar la organización comunitaria e impulsar más su rol en las negociaciones con el municipio y entidades gubernamentales.

5.1.5 Cartografía participativa (CP)

Como se mencionó anteriormente en el capítulo de metodología (ver pág. 70), para complementar la información sobre el estado de los comunes en el área de estudio, se realizó un taller de CP en conjunto con actores clave provenientes de diferentes localidades del territorio.

Para mejor entendimiento y visualización de la distribución de los comunes, se optó por dividir la información referente al bosque nativo, diferenciando entre nalcas y frutos del bosque (agrupando frutos silvestres, hierbas medicinales y hongos) en cartografías separadas. En las secciones siguientes, se presentan y describen los resultados obtenidos, para cada uno de los periodos temporales establecidos en el desarrollo de esta de esta experiencia. Cabe destacar que las cartografías fueron diseñadas para impresión en tamaño A2, por lo que se incluyen versiones ampliadas en el anexo (ver pág. 232).

5.1.5.1 Periodo “Antes de 1990”

Este es el periodo anterior a la llegada y masiva proliferación de los predios forestales, y es descrito por la comunidad como una época de gran bonanza de comunes de todos los tipos, en la que además de encontrarse en abundancia, también se les atribuía una gran calidad y vitalidad.

Por el borde costero, era habitual la recolección de toneladas de algas como luga y cochayuyo en cada temporada y existía la posibilidad de hallar fácilmente una mayor variedad de mariscos. En las cercanías de Locobe, al norte de Quiapo, se extraía gran cantidad de machas, mientras que en Millongue, se recolectaban locos, erizos y caracoles. Por su parte, en el sector sur, frente a las costas de Mina Costa y Morhuilla muy frecuentemente se recolectaban piures, poto de mar, machas y picorocos, entre otros.

Los nalcales eran amplios y vigorosos (Figura. 5.1) y gozaban de gran salud, como los que se podía encontrar en Villarrica, Lumere o Sara de Lebu, mientras que otros sectores, recorrían extensas y elongadas regiones de quebradas, como las de Colhue, Rucarraqui, Pelahuenco o Ranquilco.

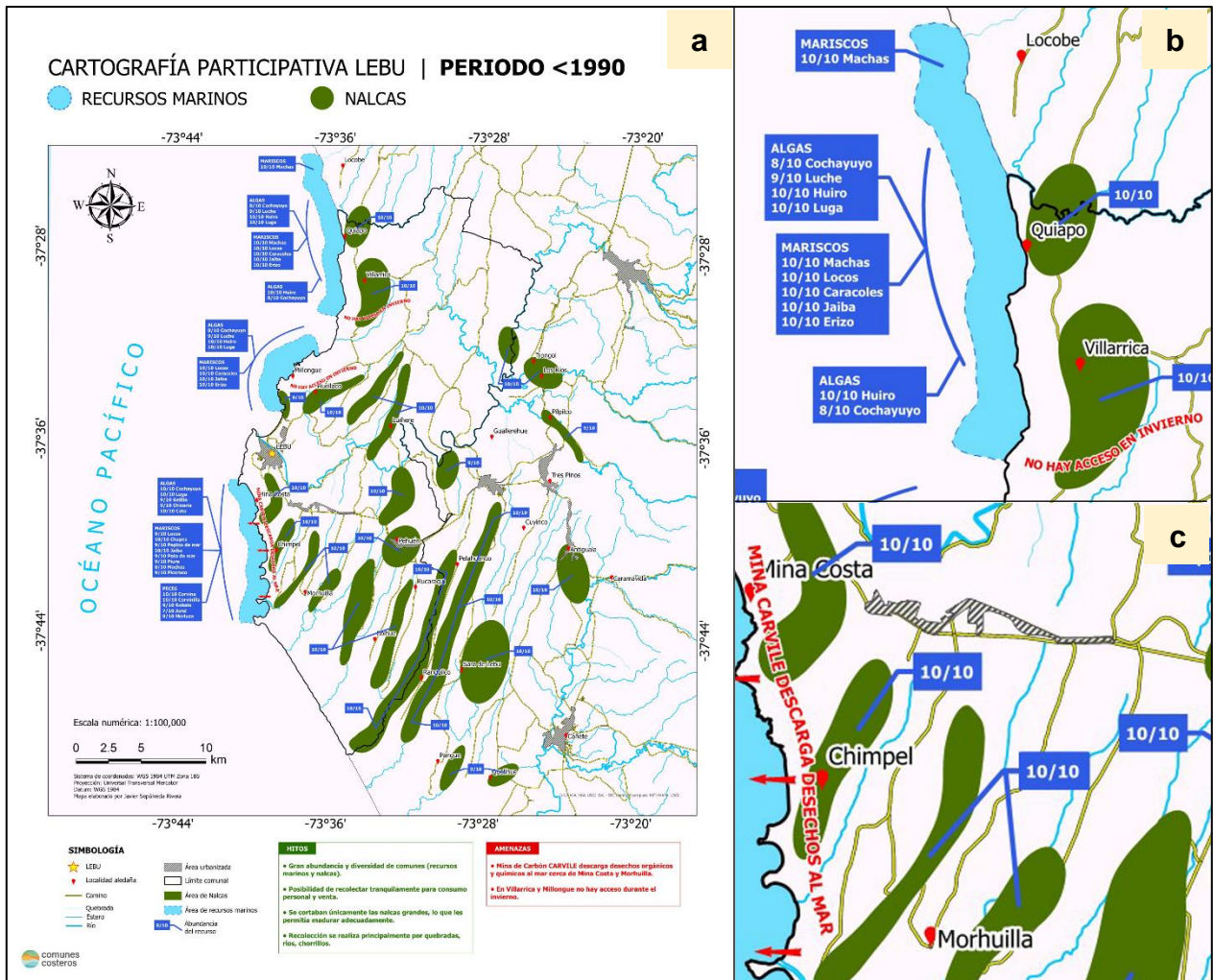


Figura 5.1 Cartografía participativa de comunes marino-costeros y nalcas para el periodo “Antes de 1990”. En a) Vista general de la CP, b) detalle en cercanías de Quiapo y Villarrica y c) detalle en cercanías de Mina Costa y Morhuilla.

En referencia a los frutos del bosque, también resultaban sumamente accesibles por doquier (Figura. 5.2) y existían muchas áreas superiores a las 600 ha ricas en frutos rojos y hierbas medicinales. Notable era la copiosidad de estos comunes, en el sector suroriental de Lebu, con una región que superaba las 2500 ha, desde donde, de acuerdo con los recolectores, se podía conseguir “sacos enteros” de maqui, mutilla, avellanas, moras, hongos entre otros.

Por su parte, en localidades cercanas a la comuna, como Trongol, Pilpilco y Tres Pinos, también se podía encontrar gran cantidad de mutilla, mientras que en Antigualla, Cuyinco y Sara de Lebu se recogían changles y digüenes.

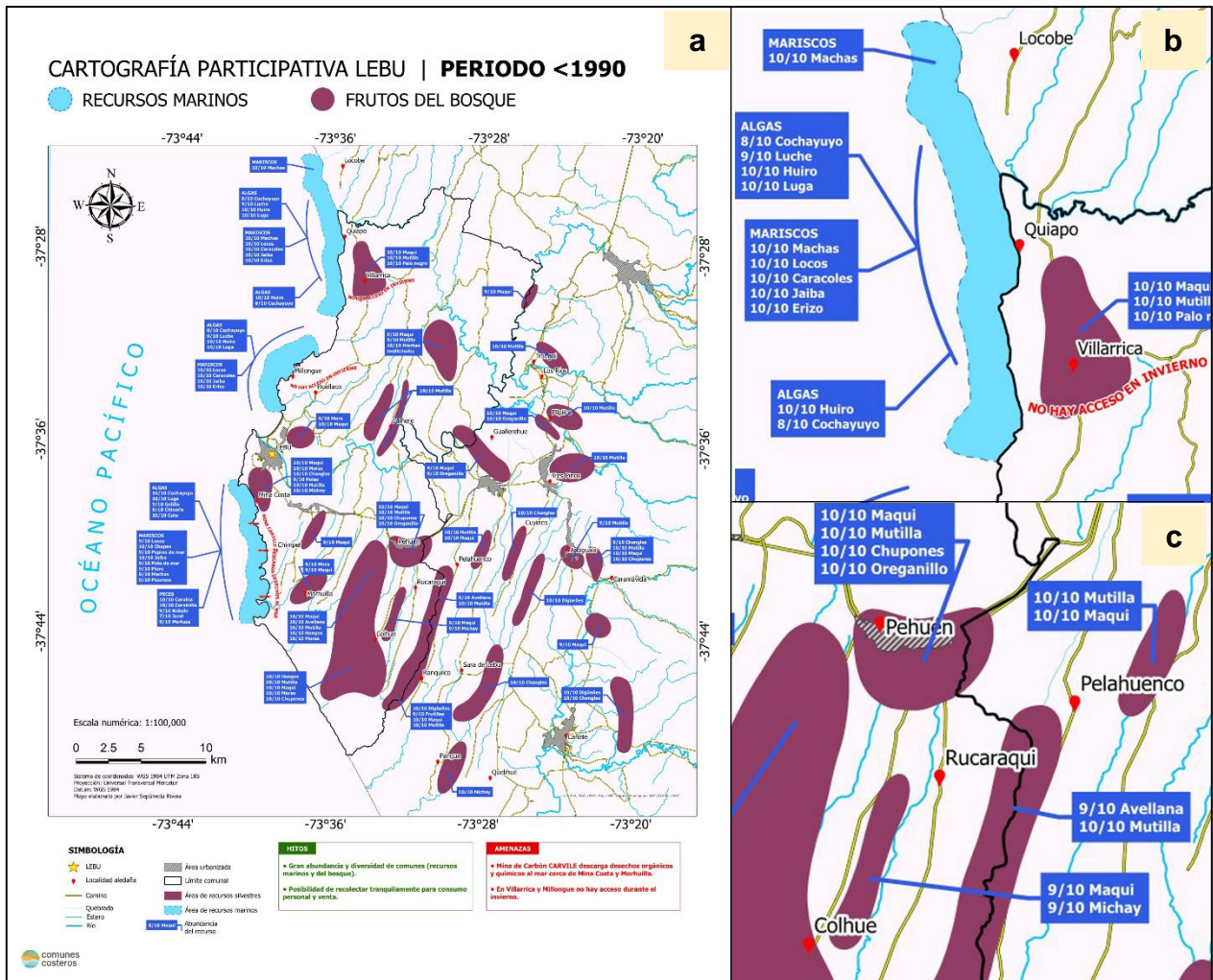


Figura 5.2 Cartografía participativa de comunales marino-costeros y frutos del bosque para el periodo “Antes de 1990”. En a) Vista general de la CP, b) detalle en cercanías de Quiapo y Villarica y c) detalle en cercanías de Pehuén, Colhue y Rucaraqui.

Como hitos más destacables durante este periodo, los recolectores señalan:

- Gran abundancia y diversidad de comunales: recursos marinos, nalcas, frutos silvestres, hierbas medicinales y hongos.
- Posibilidad de recolectar tranquilamente para consumo personal y venta.
- Se recolectaban únicamente las nalcas grandes (peciolo superior a 100 cm), lo que les permitía madurar adecuadamente.
- La recolección de comunales del bosque nativo se realiza principalmente por quebradas, ríos y chorrillos.

Mientras que, como amenazas, se remarca principalmente que:

- La mina de carbón “Carbonífera Victoria Lebu” (CARVILE) descarga desechos orgánicos y químicos al mar cerca de Mina Costa y Morhuilla.
- En Villarrica y Millongue no hay acceso durante el invierno.

5.1.5.2 Periodo “1990-2010”

El segundo periodo considerado, correspondiente al tiempo de proliferación de las plantaciones de monocultivo en la década de 1990, hasta la ocurrencia del terremoto del 27 de febrero de 2010, marca la época en la que las comunidades locales, sobre todo los recolectores del bosque nativo, comienzan a notar el decrecimiento de los comunes, manifestado en la fragmentación de los espacios de recolección y en el deterioro del estado de los recursos (Figuras 5.3 y 5.4). Se percibe que, durante esta etapa, muchas de las especies de frutos silvestres llegarían a verse reducidas hasta la mitad con respecto al periodo anterior. Por su parte, los bienes marino-costeros también habrían experimentado una disminución, pero de forma mucho más leve que el resto de comunes.

En el caso de las nalcas, comienzan a verse invadidas por la proximidad de plantaciones de pinos y eucaliptos, disminuyendo considerablemente su extensión y aquellas quebradas, anteriormente cubiertas por elongadas franjas de pajonales, ahora se muestran interrumpidas. Adicionalmente, se señala la llegada de gente inexperta en las labores de recolección, y también la aparición de ganado propiedad de habitantes locales, que se escapan y consumen la vegetación de los alrededores (Figuras 5.3b y 5.3c).

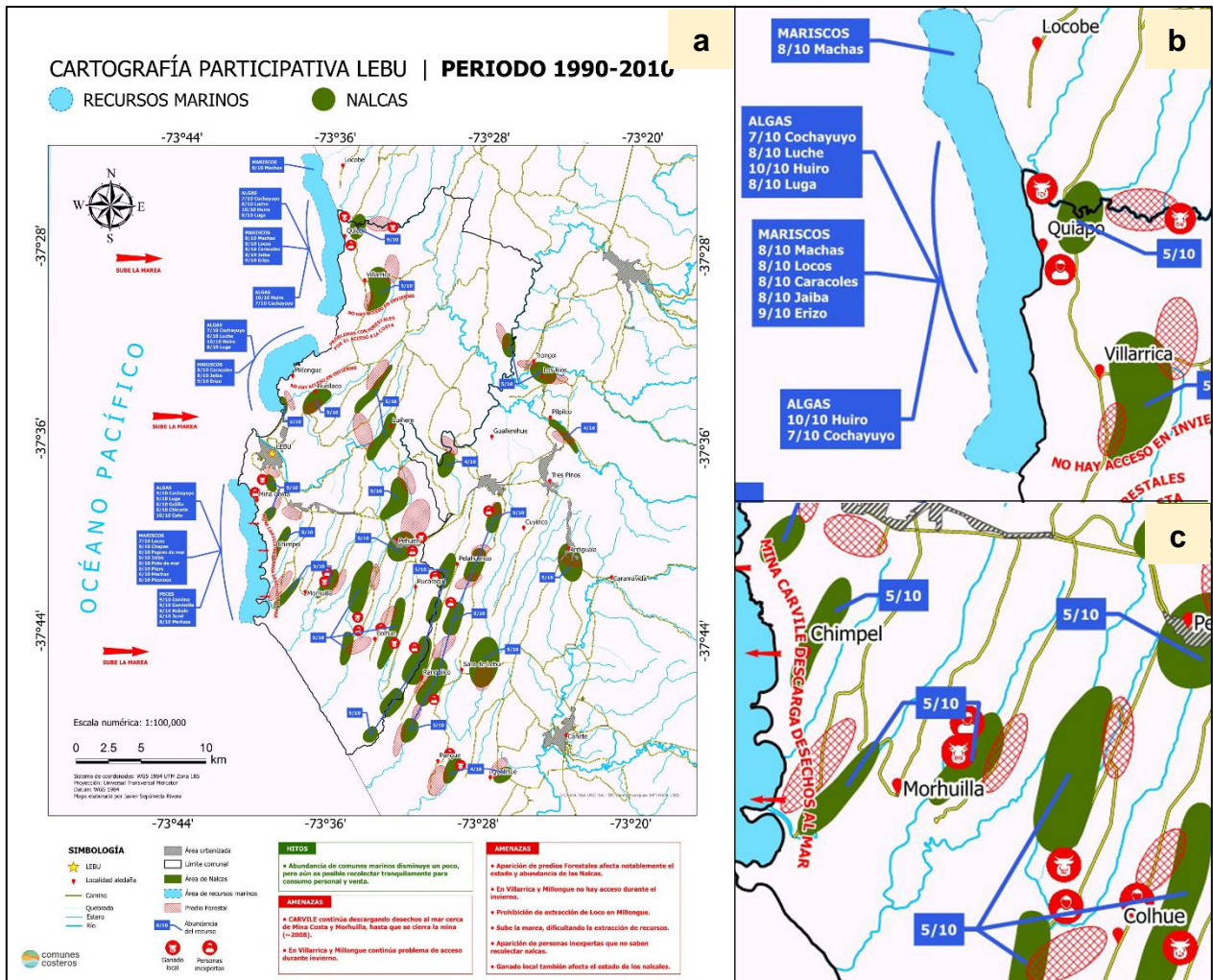


Figura 5.3 Cartografía participativa de comunes marino-costeros y nalcas para el periodo “1990-2010”. En a) Vista general de la CP, b) detalle en cercanías de Quiapo y Villarrica y c) detalle en cercanías de Morhuilla y Colhue.

Los frutos del bosque, al mismo tiempo, se reducen y muchas de las grandes regiones, ahora se han convertido en porciones de bosque divididas, como es el caso en los alrededores de Lumere (Figura. 5.4b) cuya abundancia en mutillares habría decrecido hasta menos de la mitad, o al SE de Lebu, en Colhue y Ranquilco (Figura. 5.4c), donde la recolección de maqui, avellanas, mutilla, hongos o lagüeños (frutillas), se disgregó en pequeños espacios de bosque, y de algunos comunes, como los chupones y moras, ya sólo se podría hallar aproximadamente una tercera parte de lo que antes había.

Cabe destacar que, algunos sectores, próximos a localidades extracomunales, como al sur de Cuyinco o al este de Cañete, los recolectores indican que no se vieron notablemente afectados al tratarse de terrenos privados y cuyo acceso sólo les era posible, con permiso de sus dueños.

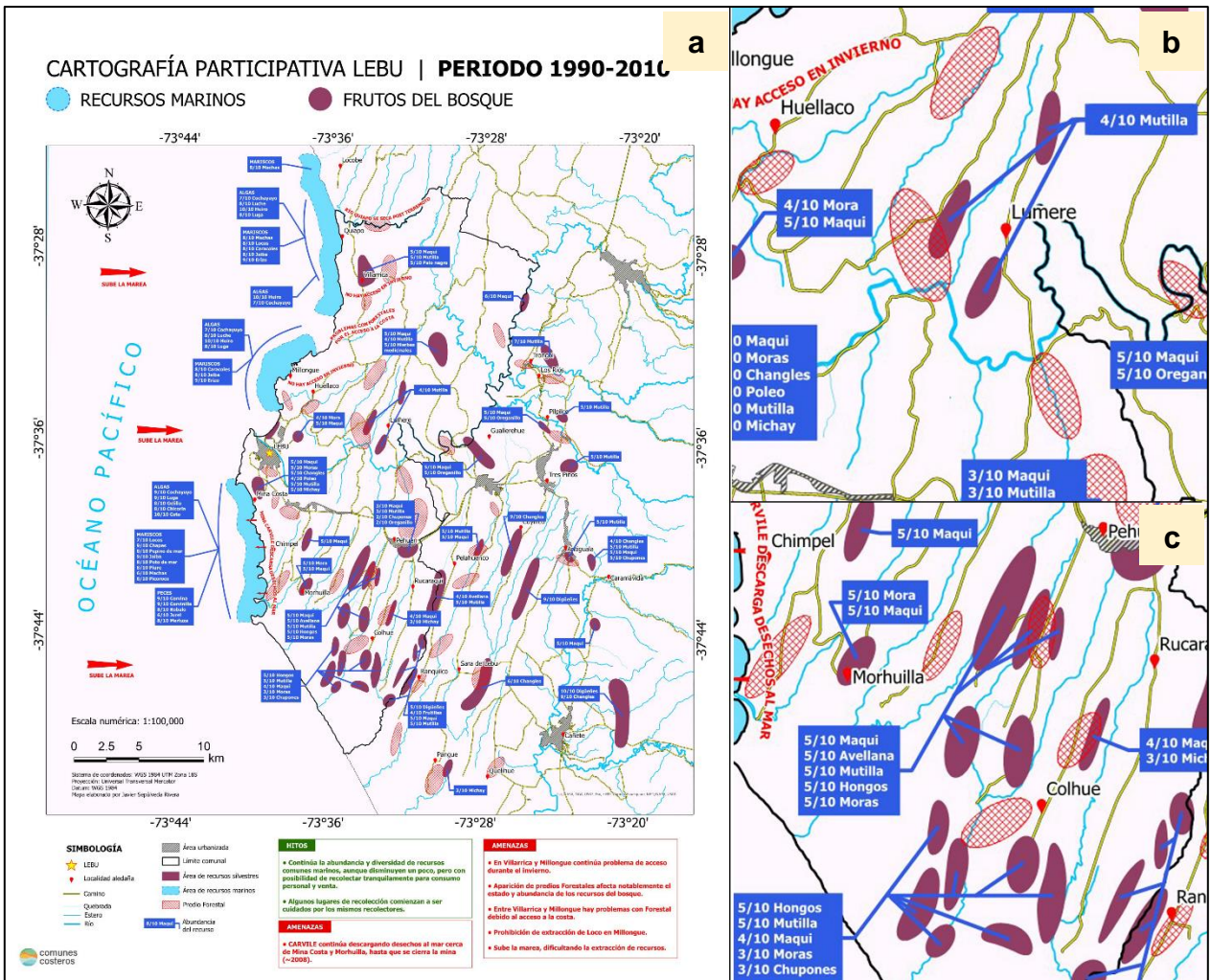


Figura 5.4 Cartografía participativa de comunas marino-costeras y frutos del bosque para el periodo “1990-2010”. En a) Vista general de la CP, b) detalle en cercanías de Huellaco y Lumere y c) detalle en cercanías de Morhuilla y Colhue.

Durante este tiempo, los hitos más notables referidos por la comunidad fueron:

- La abundancia de comunas marino-costeras disminuye un poco, pero aún es posible recolectar tranquilamente para consumo personal y venta.
- Algunos lugares de recolección de comunas del bosque nativo comienzan a ser cuidados por las mismas comunidades.

Respecto de las amenazas, se señala:

- CARVILE continúa descargando desechos al mar cerca de Mina Costa y Morhuilla, hasta el cierre definitivo de la mina, alrededor de 2008.

- La aparición de predios forestales afecta notablemente el estado y abundancia de los recursos del bosque.
- En Villarrica y Millongue continúa el problema de acceso durante el invierno y surgen conflictos con la empresa forestal debido al acceso general a la costa.
- Prohibición de extracción de Loco en Millongue.
- Sube la marea, dificultando la extracción de recursos marinos.

5.1.5.3 Periodo “2010-Actualidad”

Corresponde al último periodo de tiempo considerado durante el taller de CP, y abarca desde los primeros momentos de 2010 hasta nuestros días. En esta etapa, tienen lugar diversos cambios importantes en el territorio, por un lado, en el borde costero, los efectos del terremoto son visibles y reconocidos por los locatarios, la actividad minera ha cesado completamente, suponiendo la transición definitiva en la actividad económica de muchas familias. También, aumenta la población de localidades rurales, y surge la toma de terrenos en diversos puntos de la comuna. Por su parte, los predios forestales han crecido sustancialmente en extensión, siendo predominantes en el territorio (Figuras 5.5 y 5.6), las regiones de bosque nativo se han reducido drásticamente, y los lugares de recolección son percibidos por la comunidad como espacios profundamente deteriorados y en muchos casos al borde de la extinción. Ante esto, los recolectores comienzan a organizarse, surgiendo diversas agrupaciones en el sector, se toman iniciativas para el resguardo de los comunes, y las conversaciones para lograr acuerdos con el municipio y las empresas forestales son cada vez más frecuentes.

Los comunes marino-costeros experimentan un decrecimiento notorio, especialmente en el caso de mariscos como piures, poto de mar, pepino de mar y picorocos. El aumento de la costa, es advertido por los recolectores de orilla (Figura. 5.5b), y aunque algunas opiniones lo señalan como algo positivo para la recuperación de algas varadas, la mayoría lo percibe como una problemática. A su vez, las abundantes praderas de huiro flotador, son percibidas por la comunidad como un peligro para los buzos (riesgo de enredarse) y una amenaza para el óptimo desarrollo de otras algas como la luga larga y el cochayuyo, que ahora han visto mermada su abundancia. Aunque en algunos sectores, como al sur de la comuna, frente a Mina Costa y Morhuilla, el coto (huiro negro) sigue

siendo señalado como una especie muy abundante, experimentado una baja muy leve, y para algunos recolectores también supondría una amenaza para el cochayuyo.

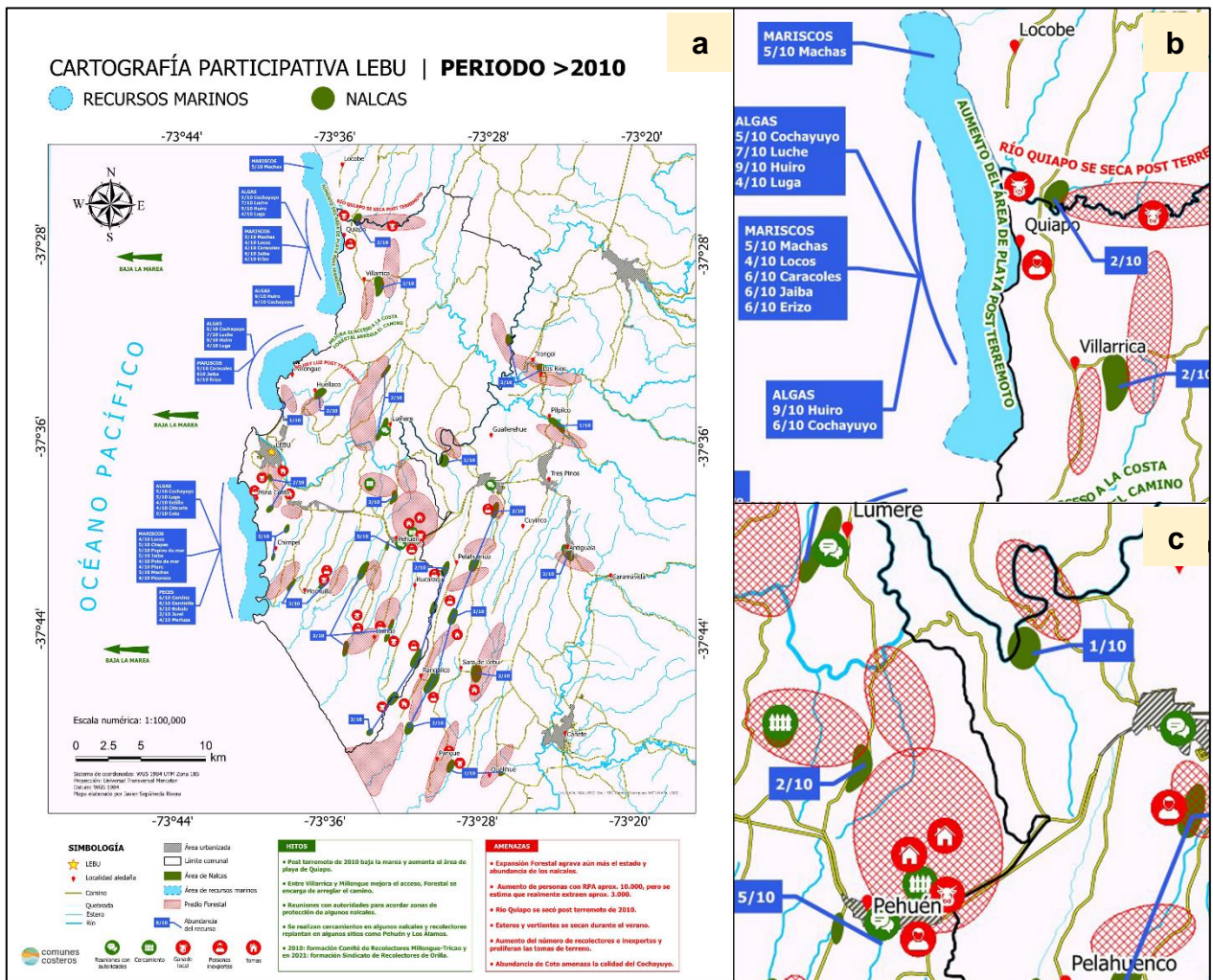


Figura 5.5 Cartografía participativa de comunes marino-costeros y nalcas para el periodo “2010-Actualidad”. En a) Vista general de la CP, b) detalle en cercanías de Quiapo y Villarrica y c) detalle en cercanías de Lumere y Pehuén.

Respecto de los comunes del bosque nativo, estos han pasado a concentrarse en espacios focalizados muy reducidos, descritos por la comunidad como “manchitas” o “parchecitos”, y en muchos sectores (por ej.: Lumere, Pehuén, Colhue, Rucaraqui, Ranquilco, etc.) la disponibilidad relativa de nalcas (Fig. 5.5c) y de especies como maqui, moras, avellanas, michay, entre otras (Figuras 5.6b y 5.6c), no superaría la quinta parte de lo que hubo en el pasado.

Las plantaciones forestales, que ahora ocupan una gran extensión, se encuentran muy próximas de espacios de recolección y en algunos casos los encierran completamente. Por otra parte, las

agrupaciones establecen reuniones con empresas forestales para llegar a algunos acuerdos, surgiendo algunas medidas de mitigación como en Pehuén, donde se crean cercos alrededor de pequeños nalcales para su resguardo (Figura. 5.5c).

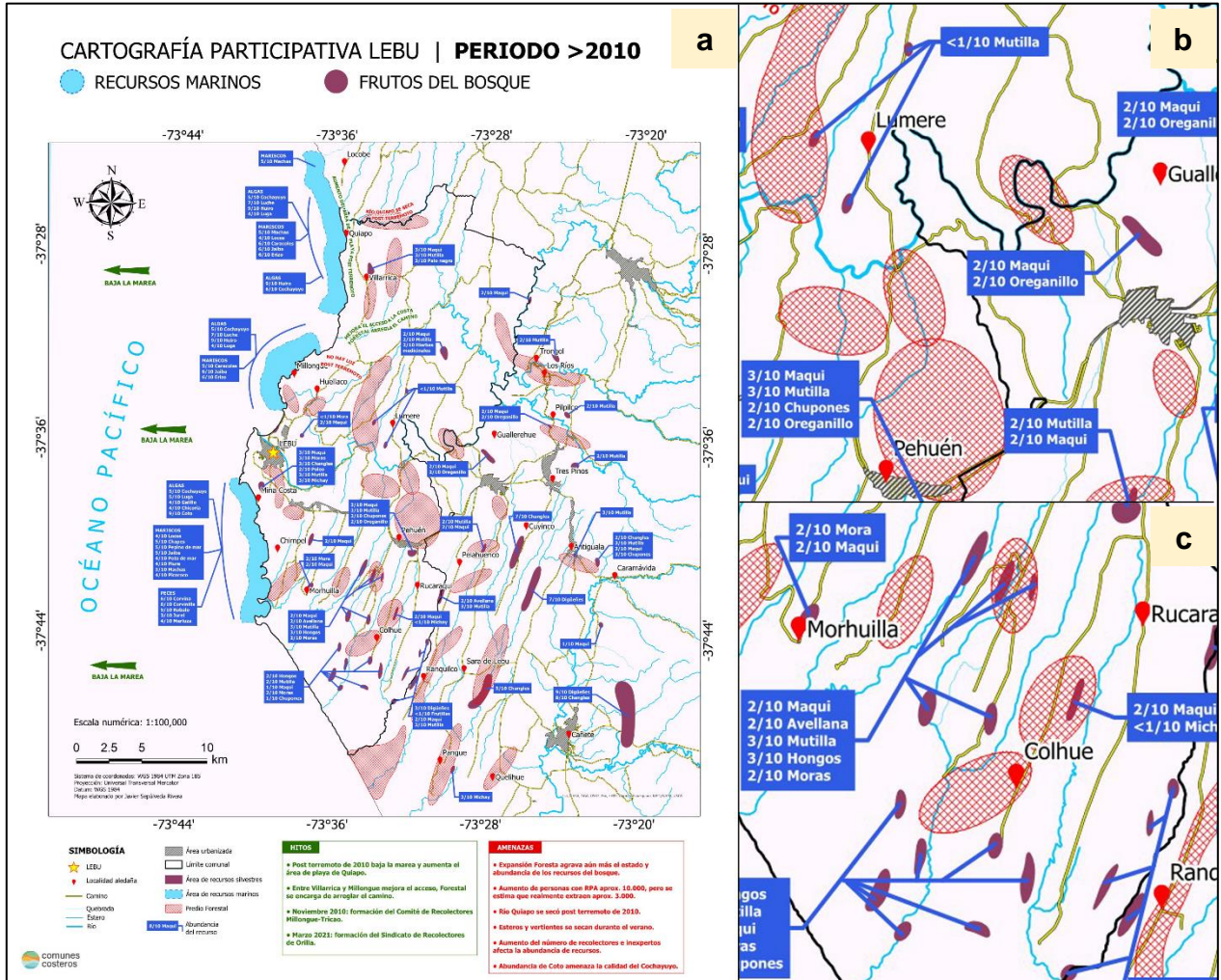


Figura 5.6 Cartografía participativa de comunes marino-costeras y frutos del bosque para el periodo “2010-Actualidad”. En a) Vista general de la CP, b) detalle en cercanías de Lumere y Pehuén y c) detalle en cercanías de Morhuilla y Colhue.

Para este periodo, los hitos mayormente señalados por los recolectores son:

- Post terremoto de 2010 baja la marea y aumenta el área de playa de Quiapo.
- Entre Villarrica y Millongue mejora el acceso (la empresa forestal se encarga de arreglar el camino).
- Reuniones con autoridades para acordar zonas de protección de algunos nalcales.

- Se realizan cercamientos en algunos nalcales y recolectores replantan en algunos sitios como Pehuén y Los Álamos.
- 2010: formación del “Comité de Recolectores Millongue-Tricao”; 2015: formación de la agrupación de recolección de nalcas y frutos silvestres “Los Nalqueros de Pehuén”; y en 2021: formación del “Sindicato de Recolectores de Orilla”.

En cuanto a las amenazas, se hace hincapié en:

- La expansión de los predios forestales, que agrava aun más el estado y abundancia de los comunes del bosque nativo.
- El aumento de personas con Registro Pesquero Artesanal (RPA) a aprox. 10.000, pero se estima que realmente se dedican a la extracción alrededor de 3.000.
- El río Quiapo se secó post terremoto de 2010.
- Los esteros y vertientes se secan durante el verano.
- Aumenta el número de recolectores y de personas inexpertas. Además, proliferan las tomas de terreno.
- La abundancia de huiro y coto amenaza la calidad del Cochayuyo.

Por último, todas las comunidades de recolectores de orilla, nalcas y frutos del bosque coinciden y recalcan la importancia de poder crear instancias para la difusión del conocimiento local y de esta manera poder fomentar la conciencia sobre el valor y el cuidado de los comunes, ya que desempeñan funciones cruciales en los ecosistemas marinos y terrestres y, pese a que no toda la población participe en las labores de recolección, todos son parte del mismo territorio y muchas de las generaciones que a ellos les siguen, también lo serán.

5.2 Parámetros bio-geo-físicos

Como ha sido mencionado en capítulos anteriores, la revisión del estado de los comunes costeros dentro del área de estudio se ha realizado mediante el análisis de diferentes parámetros bio-geo-físicos, tales como: temperaturas oceánicas y atmosféricas, precipitaciones, pH, uso de suelos, nutrientes en agua de mar, entre otros; cuya información ha sido extraída mayoritariamente de fuentes bibliográficas de diversa índole, a saber: papers, informes técnicos, anuarios, noticias, bases de datos (nacionales e internacionales), cartografías, capas vectoriales, etc.

Una vez recopilada la información necesaria, e identificados los parámetros a analizar, estos fueron categorizados, según su distribución geográfica o influencia en diferentes ambientes, de la siguiente forma:

1. Parámetros climáticos/atmosféricos
2. Parámetros oceanográficos
3. Parámetros edafológicos
4. Parámetros hídricos
5. Parámetros geomorfológicos
6. Otro: Densidad de incendios forestales

Cabe destacar que, dentro de estas seis clases o grupos, se trabajó con diferentes resoluciones temporales, que varían caso a caso según la disponibilidad de información, no obstante, en todo momento se ha considerado como máximo un rango de hasta siete décadas hacia el pasado. Por otra parte, el procesamiento de las bases de datos, imágenes ráster, capas vectoriales, etc., fue llevado a cabo fundamentalmente por medio de hojas de cálculo y a través del software ArcGIS Pro.

En los subcapítulos siguientes, se detallan los resultados obtenidos de la revisión espacio-temporal de los parámetros bio-geo-físicos anteriormente listados.

5.2.1 Parámetros climáticos/atmosféricos

Para abordar los parámetros dominados por el clima y posteriormente vincular su posible influencia sobre el estado de los comunes dentro del área de estudio se revisaron los datos correspondientes a las variables: temperatura, precipitaciones y humedad relativa del aire. Estas informaciones fueron extraídas fundamentalmente de ocho estaciones meteorológicas seleccionadas en función de su proximidad al área de estudio (Figura. 5.7), y proceden de tres bases de datos diferentes: Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), Center for Climate and Resilience Research (CR²) e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), cuyo detalle se desglosa en la Tabla 5.2.

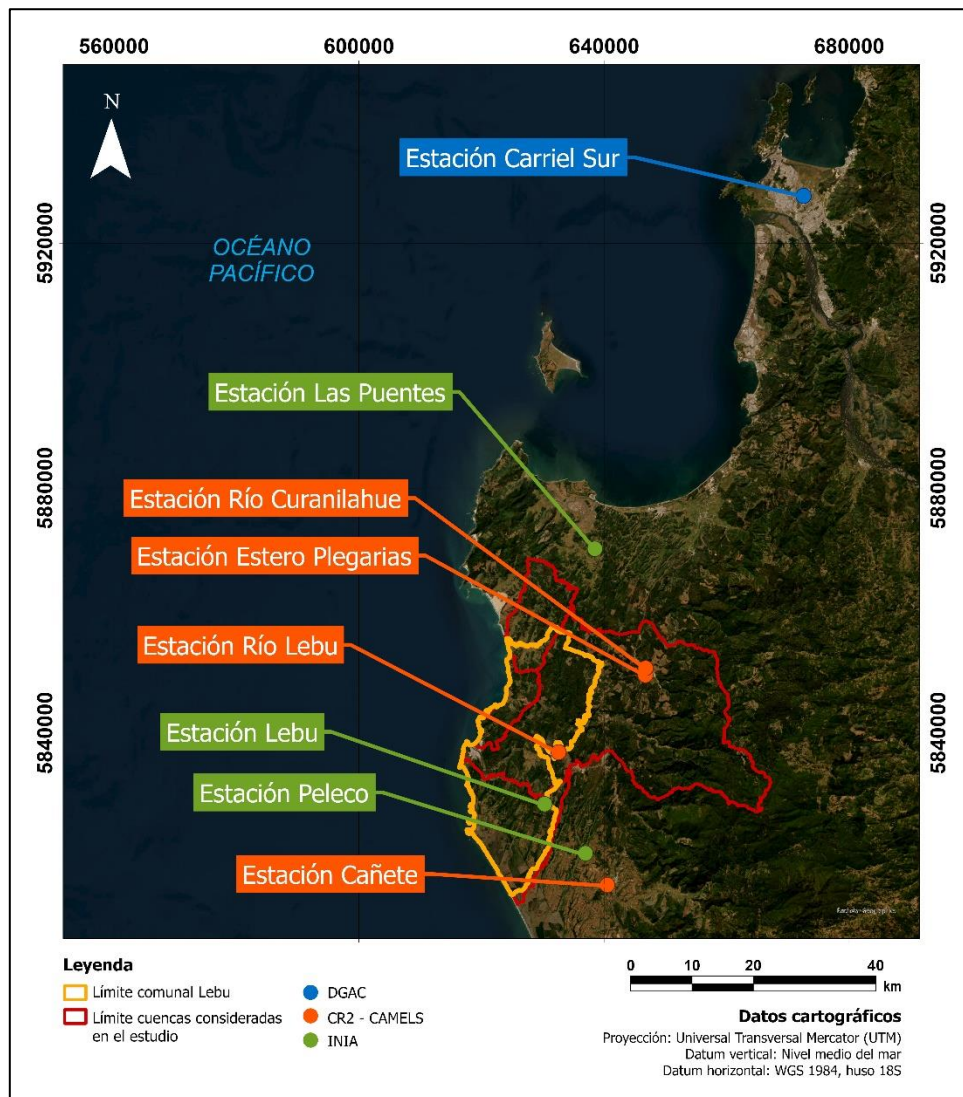


Figura. 5.7 Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de los parámetros climáticos/atmosféricos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.2 Información principal de las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis de los parámetros climáticos/atmosféricos. Fuente: Elaboración propia.

Nombre estación	Comuna	Base de Datos/Institución	Coordenadas	Rango temporal máximo	Variables
Carriel Sur	Concepción	Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC)	36°46'49.87"S 73° 3'59.00"W	1966-2023	Temperatura; Precipitaciones; Humedad relativa
Las Puentes	Arauco	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	37°18'19.89"S 73°26'14.04"W	2019-2023	Temperatura; Precipitaciones; Humedad relativa
Río Curanilahue	Curanilahue	Center for Climate and Resilience Research (CR ²)	37°28'48.00"S 73°20'24.00"W	1979-2020	Temperatura; Precipitaciones
Estero Plegarias	Curanilahue	Center for Climate and Resilience Research (CR ²)	37°29'24.00"S 73°20'24.00"W	1979-2020	Temperatura; Precipitaciones
Río Lebu	Los Álamos	Center for Climate and Resilience Research (CR ²)	37°36'20.18"S 73°29'52.89"W	1979-2020	Temperatura; Precipitaciones
Lebu	Lebu	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	37°40'57.00"S 73°31'19.99"W	2013-2023	Temperatura; Precipitaciones; Humedad relativa
Peleco	Cañete	Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)	37°45'13.36"S 73°26'43.18"W	2013-2023	Temperatura; Precipitaciones; Humedad relativa
Cañete	Cañete	Center for Climate and Resilience Research (CR ²)	37°47'59.86"S 73°24'14.09"W	1979-2020	Temperatura; Precipitaciones

De lo anterior cabe destacar que sólo cuatro de las ocho estaciones se encuentran inscritas en el área de estudio, y que la estación Carriel Sur, pese a su distancia, ha sido considerada debido a las similitudes climáticas de la zona, por poseer el mayor rango temporal disponible y por su relevancia en cuanto a observaciones meteorológicas a nivel regional.

En segunda instancia, como complemento a la información derivada de las estaciones de fuentes nacionales y, a modo de constatar visualmente la evolución espacial de las temperaturas y precipitaciones en el área, se elaboraron mapas multitemporales de tales variables a partir de los datos de World Clim v2.1, basada a su vez en la base de datos CRU-TS v4.06 del Climatic Research Unit, de la Universidad de East Anglia (Reino Unido). La información utilizada de esta fuente, se presenta originalmente como imágenes ráster en archivos de extensión .TIF con una resolución espacial de 2.5 minutos (~21km² en el ecuador).

Por último, además de la revisión de las informaciones recientemente citadas, se examina la evolución espacio-temporal del Índice de Precipitaciones Estandarizado o simplemente IPE,

desarrollado originalmente por McKee (1993), el cual representa el número de desviaciones estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico, y que es ampliamente usado como indicador de las condiciones de sequía y superávit en diferentes escalas de tiempo; en el caso particular, se han considerado periodos de acumulación de 36 meses, tomando como base el mes de julio (temporada de invierno) para el periodo 1984-2023.

5.2.1.1 Temperaturas

Base de datos DGAC

La Figura. 5.8 muestra la evolución temporal de las temperaturas mensuales mínimas y máximas registradas por la estación meteorológica Carriel Sur en Concepción, para el periodo comprendido entre enero de 1967 y julio de 2023.

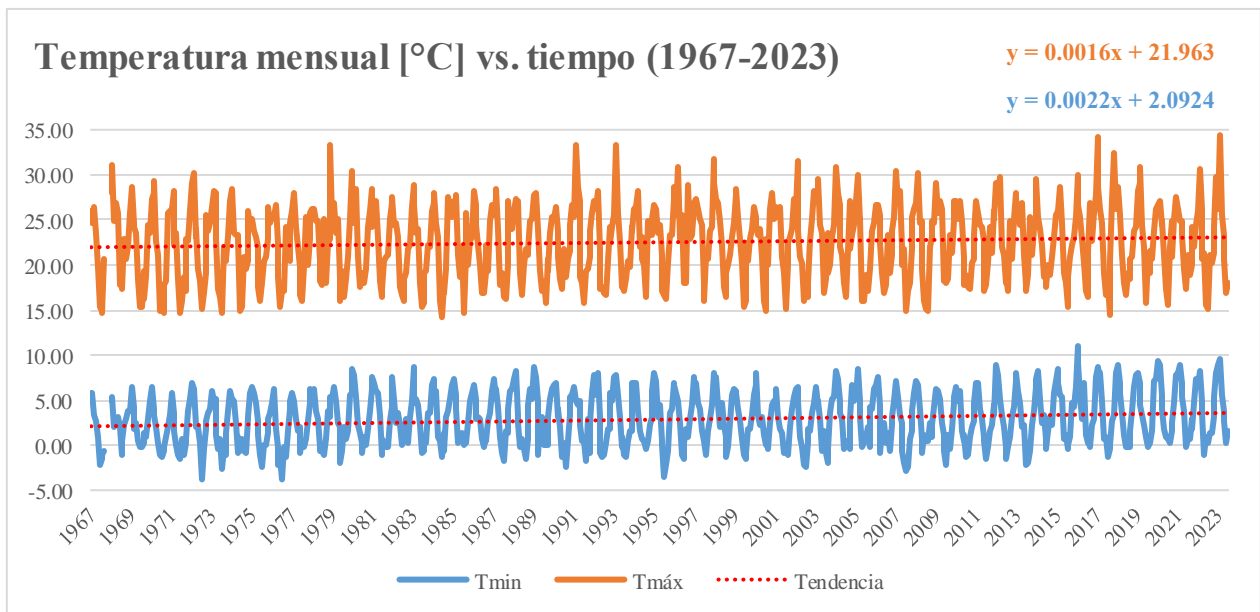


Figura. 5.8 Temperatura mensual (mínima y máxima) de la estación Carriel Sur, para el periodo 1967-2023. Elaborado a partir de los datos de DGAC.

A partir de la serie de tiempo anterior es posible constatar como la línea de tendencia, aunque levemente positiva, marca el incremento general de la temperatura en los últimos 56 años, en particular, mientras que la temperatura mínima registrada en el invierno de 1967 fue de -2.20°C , durante la misma estación y mismo mes, la cifra fue de 0.20°C en 2023; y en el caso de las temperaturas máximas, mientras que el verano de 1967 no superó los 26°C , en 2023 se registró una temperatura de 34.40°C durante febrero.

Por otro lado, algunos años resultan particularmente destacables debido a sus temperaturas extremas en diferentes épocas del año, tales como 1976, 1995 o 2007, cuyos inviernos los convierten en los años más fríos, con temperaturas mínimas de -3.8°C , -3.5°C y -2.9°C respectivamente; mientras que los años 1979, 1991, 1993, 2017 y 2023, se alzan como los veranos más cálidos registrados con temperaturas máximas de 30.4°C , 33.2°C , 33.2°C , 34.1°C y 34.4°C , siendo este último el más caluroso hasta la fecha.

Base de datos CR² – CAMELS

En el caso de los datos extraídos de CR²– CAMELS, las series de tiempo correspondientes a las estaciones: Río Curanilahue, Estero Plegarias, Río Lebu y Cañete, se presentan en la Figura. 5.9. A partir de estas gráficas, se puede advertir inmediatamente que los datos y sus respectivos valores son considerablemente similares, tanto para las temperaturas mínimas como las máximas. Esto probablemente se deba a la cercanía de las estaciones, sobre todo en el caso de las estaciones Río Curanilahue y Estero Plegarias, cuya distancia es de apenas ~ 1.2 km.

Respecto del comportamiento de la variable, en primer lugar, se puede mencionar que la totalidad de las estaciones presentan una variación leve, tal como lo muestran sus líneas de tendencia con pendientes poco pronunciadas. En el caso de las temperaturas máximas, se evidencia un alza, aunque al contrastar las épocas de verano iniciales (1979) y finales (2020), la diferencia no supera el 3.16%.

Por otra parte, las temperaturas mínimas, muestran una tendencia opuesta, es decir, una disminución, sólo con la excepción de la estación Río Curanilahue, que experimentó un pequeño crecimiento. En la Tabla 5.3, se comparan las cifras de las temperaturas máximas y mínimas, para las épocas de verano e invierno respectivamente, abarcados en las cuatro series de tiempo.

Tabla 5.3 Diferencia de temperaturas máximas y mínimas, en época de verano e invierno respectivamente, para las cuatro estaciones consideradas. Elaborado a partir de los datos de CR²-CAMELS.

Estación	Tmax [°C] verano 1979	Tmax [°C] verano 2020	Balance	Tmin [°C] invierno 1979	Tmin [°C] invierno 2019	Balance
Río Curanilahue	23,72	24,47	+0,75°C	3,58	3,59	+0,01°C
Estero Plegarias	23,27	23,67	+0,40°C	3,90	3,80	-0,10°C
Río Lebu	22,52	22,74	+0,22°C	4,00	3,88	-0,12°C
Cañete	21,99	22,35	+0,36°C	3,68	3,66	-0,02°C

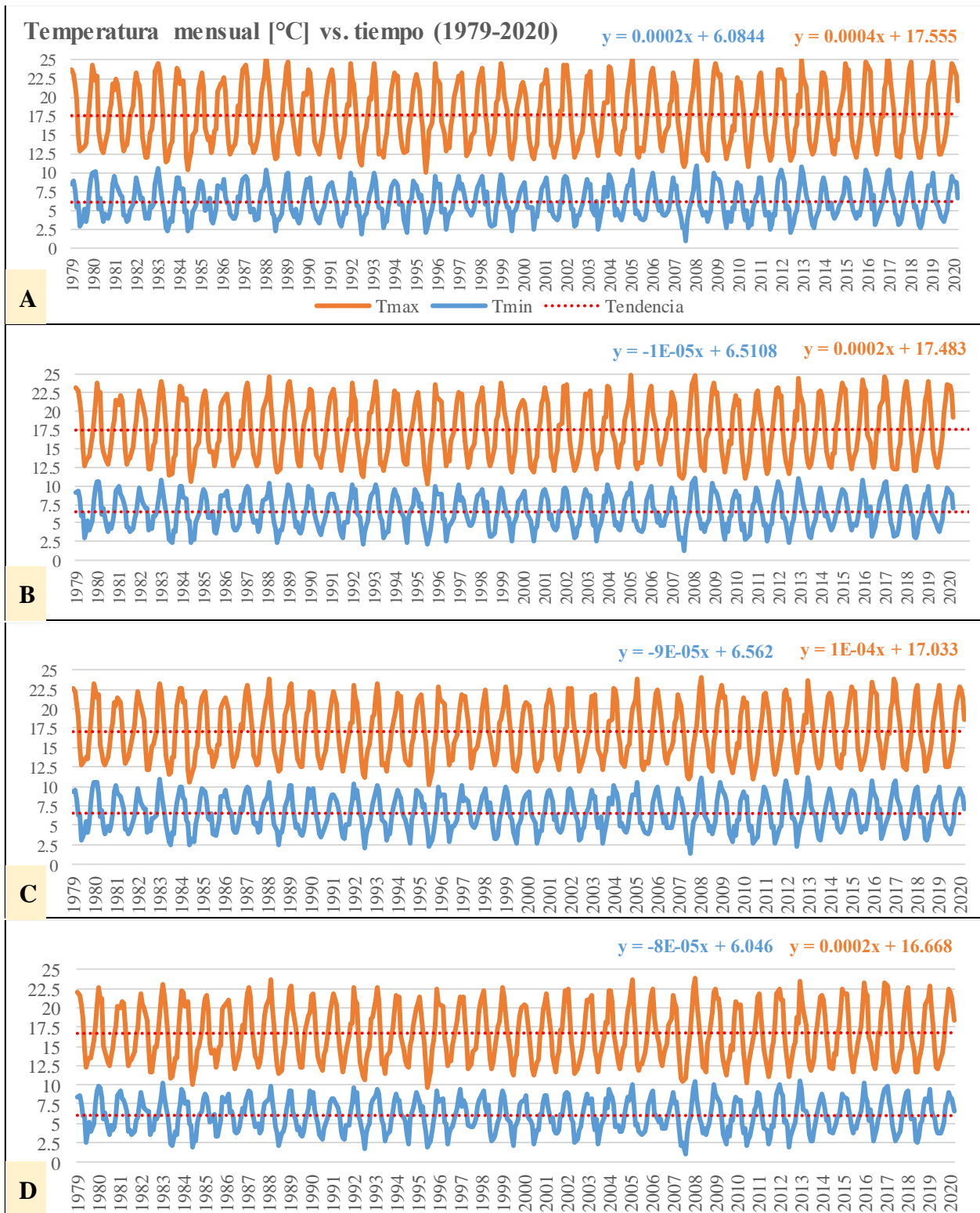


Figura. 5.9 Temperaturas mensuales (mínimas y máximas) para el periodo 1979-2020. En A) Estación Río Curanilahue, B) Estación Estero Plegarias, C) Estación Río Lebu y D) Estación Cañete. Elaborado a partir de los datos de CR²-CAMELS.

Base de datos INIA

La tercera fuente revisada con información de la variable temperatura, corresponde a la base de datos del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, de la cual, se han preparado las series de tiempo de las estaciones: Las Puentes, Lebu y Peleco, tal como lo muestra la Figura. 5.10.

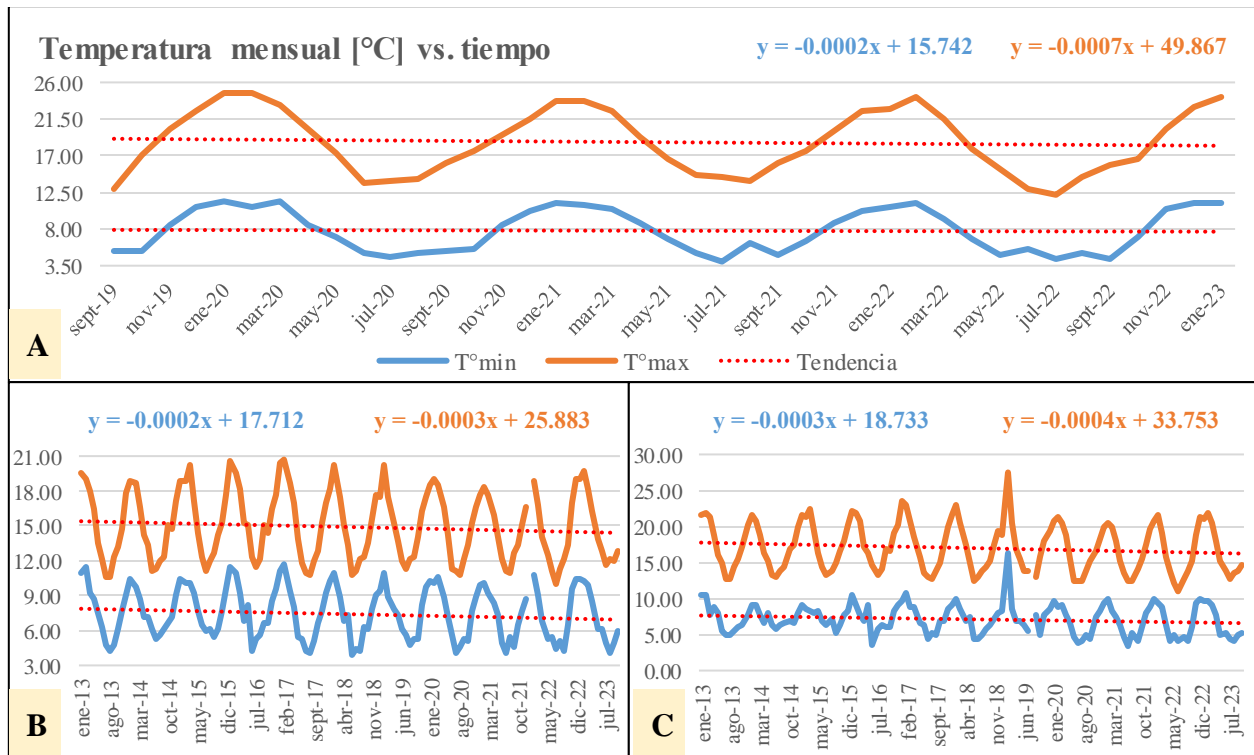


Figura. 5.10 Temperaturas mensuales (mínimas y máximas) para los periodos 2019-2023. (A) Estación Las Puentes) y 2013-2023 (B) Estación Lebu y C) Estación Peleco). Elaborado a partir de los datos de INIA.

De la figura anterior, se observa que las cifras poseen valores muy similares a los registrados por las estaciones de CR²-CAMELS, sin embargo, la tendencia general en este caso (temperaturas mínimas y máximas) es a la disminución en las tres estaciones, aunque, cabe destacar que el rango temporal es sumamente acotado, tan solo 10 años para las estaciones Lebu y Peleco y poco más de 3 años para la estación Las Puentes, por lo que su registro resulta poco representativo para el área de estudio.

Base de datos World Clim v2.1

Como fue mencionado anteriormente, para complementar la información derivada de las estaciones meteorológicas nacionales, se han elaborado mapas multitemporales de las temperaturas mínimas y máximas del área de estudio en temporada de verano para el periodo 1961-2021, a partir de

imágenes ráster de la base de datos World Clim en su versión 2.1. El resultado del procesamiento de esta información se ilustra en las Figuras 5.11 y 5.12.

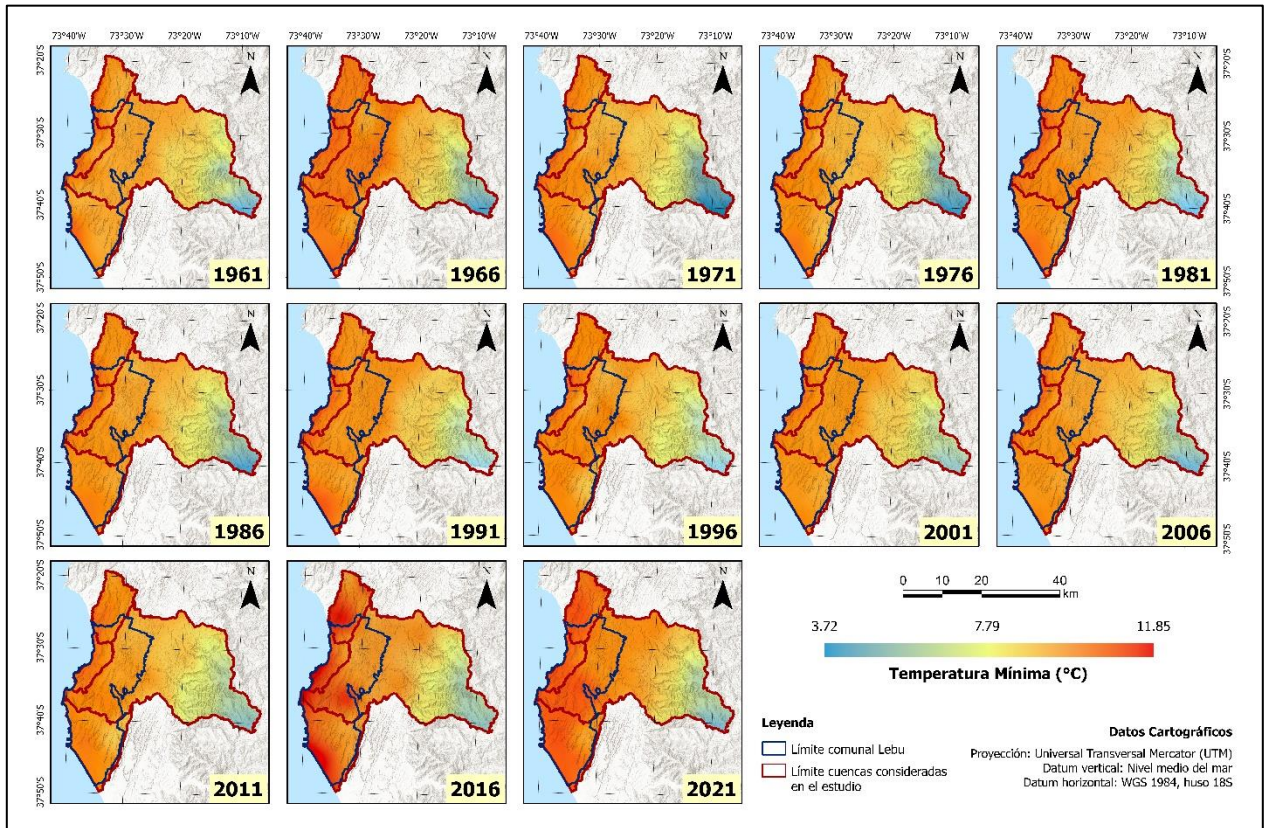


Figura. 5.11 Mapa de temperatura media mínima en época de verano, para el periodo 1961-2021. Elaboración propia basada en World Clim v2.1.

A partir de la Figura 5.11 se puede notar cómo en el área de estudio las temperaturas mínimas oscilan mayoritariamente en un rango de entre 7.7°C hasta casi 12°C , restringiéndose tan solo hacia el extremo más oriental de la subcuenca Río Lebu las temperaturas inferiores a los 7°C , con una mínima de 3.72°C . Esto último podría hallar su explicación en la transición a un dominio fisiográfico diferente en dicha zona, al pasar de planicies costeras a la cordillera de Nahuelbuta. Respecto de la evolución temporal, no se advierte claramente una tendencia de alza o disminución, sin embargo, si es posible notar en los años más recientes (2016 y 2021) las temperaturas mínimas más elevadas del periodo considerado, concentradas mayormente en el sector occidental del territorio comunal de Lebu.

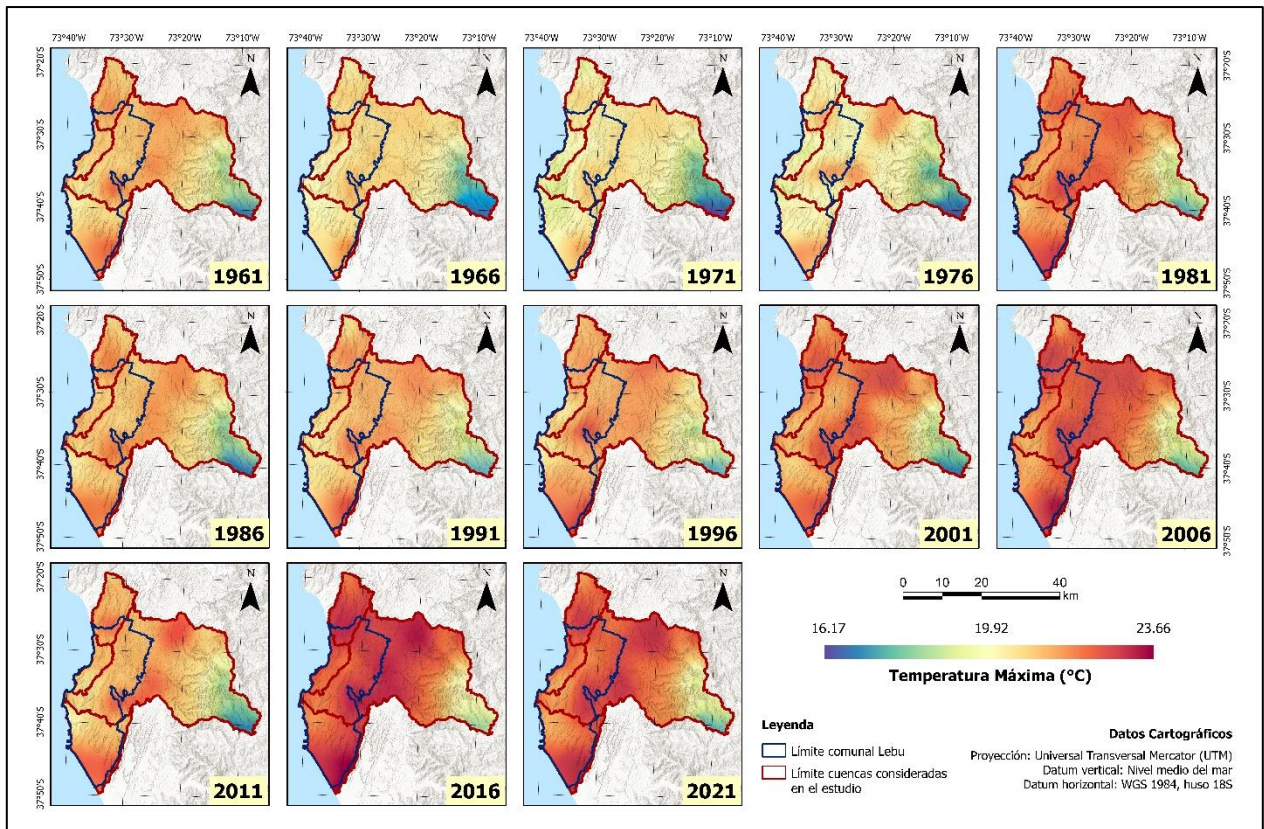


Figura. 5.12 Mapa de temperatura media máxima en época de verano, para el periodo 1961-2021. Elaboración propia basada en World Clim v2.1.

Por otro lado, al observar las temperaturas máximas, gracias a la Figura 5.12 se puede notar cómo desde 1966 hasta 1981, el área de estudio experimentó un alza, desde alrededor de los 20°C hasta casi 23°C, luego la temperatura disminuye, pero inmediatamente se advierte una nueva alza general en el periodo 1986-2021, tan solo con la excepción del año 2011. En adición a lo anterior, destacan particularmente los años 2016 y 2021, con las épocas de verano más cálidas, concentradas mayormente hacia el centro del territorio en dirección NE-SW, en las cuencas Río Lebu y Costeras entre Río Lebu y Estero Ranquilco. Por su parte, las temperaturas más bajas, se mantienen fundamentalmente focalizadas en el sector más cercano a la cordillera de Nahuelbuta.

5.2.1.2 Precipitaciones

Base de datos DGAC

En el caso de las precipitaciones, el rango temporal abarcado por la estación Carriel Sur es prácticamente el mismo que en el registro de la variable temperatura, comenzando tan solo un año

antes, es decir, desde 1966 y se extiende hasta mediados de 2023. El gráfico de la Figura.5.13 presenta la evolución de las precipitaciones acumuladas mensuales en el periodo anteriormente citado.

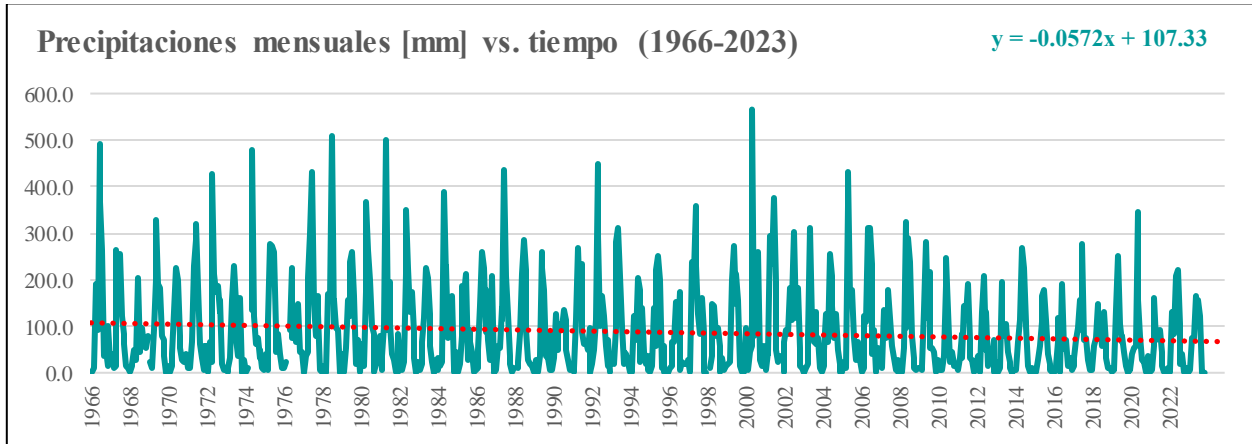


Figura. 5.13 Precipitaciones mensuales de la estación Carriel Sur, para el periodo 1967-2023. Elaborado a partir de los datos de DGAC.

A partir del gráfico anterior, es posible advertir en primer lugar, un comportamiento fluctuante que demarca varias tendencias de alzas y bajas de precipitaciones a lo largo del tiempo, entre ellas, destaca por ejemplo, un alza en el agua caída desde 1967 hasta aproximadamente 1978, con algunas excepciones, posteriormente, las cifras oscilan entre alzas y bajas hasta inicios del presente siglo, donde además se registra el año 2000 como el más lluvioso hasta la fecha, con 565.7 mm de agua acumulada hasta el mes de junio. Posteriormente, las cifras comienzan a disminuir notoriamente, hasta llegar al tiempo actual. Lo anterior, marca una significativa disminución general del régimen pluviométrico, tal como lo señala la pendiente negativa y respectiva línea de tendencia. Al respecto, al comparar los años de inicio y término de la serie de tiempo en los meses de invierno, se pueden constatar diferencias de más del 40% como se muestra en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Diferencia de precipitaciones acumuladas [mm], en meses de invierno entre los años 1966 y 2023 para la estación Carriel Sur. Elaborado a partir de los datos de DGAC.

Año	Junio	Balance	Julio	Balance	Agosto	Balance
1966	493,5	-328,3	366,8	-251,4	263,7	-106,9
2023	165,2		115,4		156,8	

Base de datos CR² – CAMELS

Respecto de la información de precipitación, CR²-CAMELS compila los datos de cuatro modelos basados en productos grillados, uno basado en CR2MET, desarrollado específicamente para Chile y otros tres basados en observaciones satelitales: CHIRPS, MSWEP y TMPA (Alvarez-Garreton et al., 2018). Cada uno de estos modelos posee un registro único del comportamiento de las precipitaciones, además de una escala temporal diferente (Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Modelos compilados en la base de datos CR²-CAMELS y sus respectivos rangos temporales. Elaboración propia.

Nombre del modelo	Acrónimo	Rango temporal
Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation	MSWEP	1979-2019
Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data	CHIRPS	1981-2019
The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis	TMPA	1998-2018
Center for Climate and Resilience Research Meteorological dataset	CR2MET	1979-2020

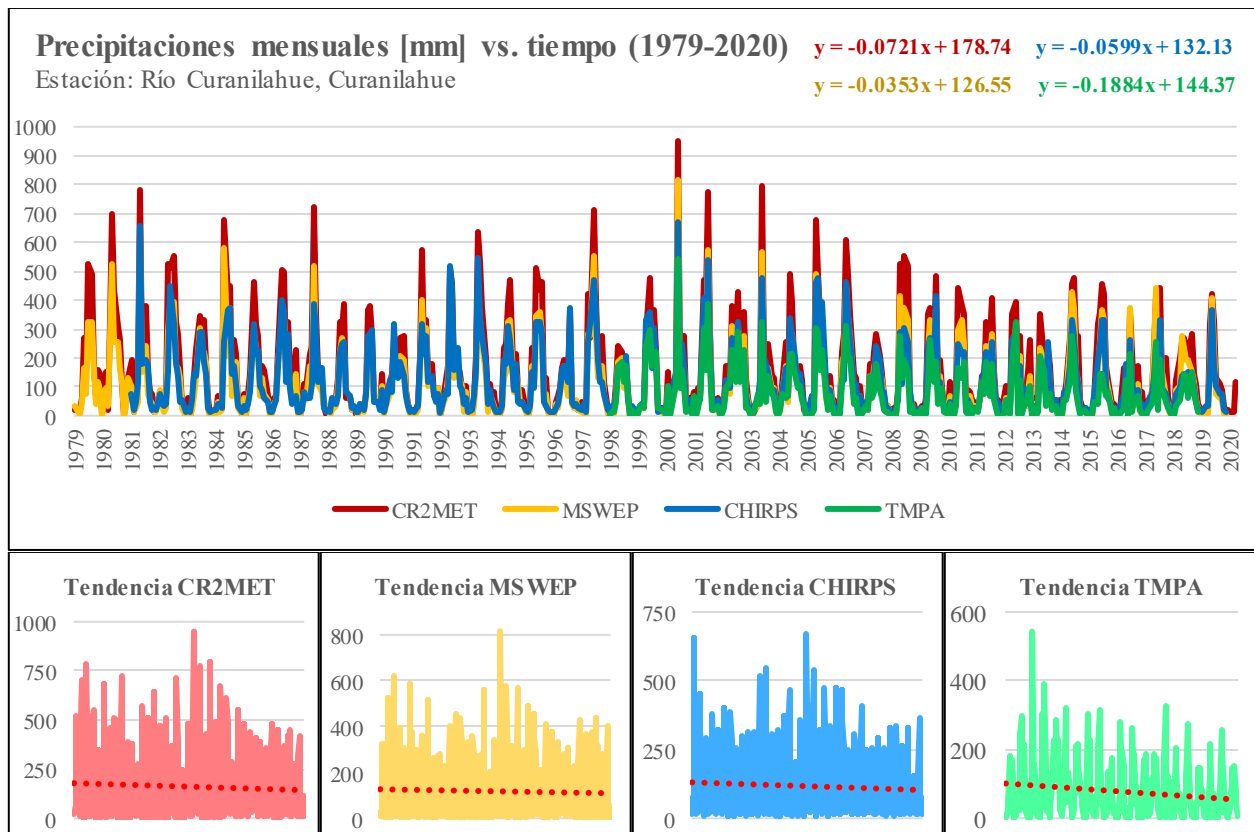


Figura. 5.14 Precipitaciones mensuales de la estación Río Curanilahue, para el periodo 1979-2020. Parte superior: gráfico de precipitaciones con las series de tiempo de los cuatro modelos disponibles en la base de datos. Parte inferior: Tendencia lineal de los cuatro modelos, de izquierda a derecha: CR2MET, MSWEP, CHIRPS y TMPA. Elaborado a partir de los datos de CR²-CAMELS.

A partir de los gráficos de la Figura. 5.14 se puede notar que los cuatro modelos comparten patrones de evolución de la variable similares en cuanto a su forma, aunque con diferentes estimaciones de la acumulación de agua caída, por un lado, el modelo CR2MET es el que presenta los registros más elevados con cifras máximas cercanas a los 1000 mm, mientras que en el modelo TMPA, las precipitaciones no superan los 600 mm, siendo este modelo aquel que muestra las cifras más bajas. Otro aspecto destacable, resulta en el hecho de que los registros históricos no superan el umbral de los 800 mm, a excepción únicamente del año 2000, cuya precipitación máxima registrada por el modelo CR2MET fue de 950.54 mm en el mes de junio. Por otro lado, la tendencia general describe una disminución de las precipitaciones, aunque con pendientes suaves, salvo en el caso del modelo TMPA, cuya inclinación negativa es más notoria, sin embargo, esto puede deberse a que es el modelo con el rango temporal más acotado de todos. Adicionalmente, cabe destacar el comportamiento registrado en 1983, 1998, 2007 y 2018, los cuales alcanzaron precipitaciones máximas de tan solo 343,73 mm, 241,29 mm, 284,78 mm y 281,10 mm, constituyéndose de este modo, como los años menos lluviosos históricamente en el periodo analizado.

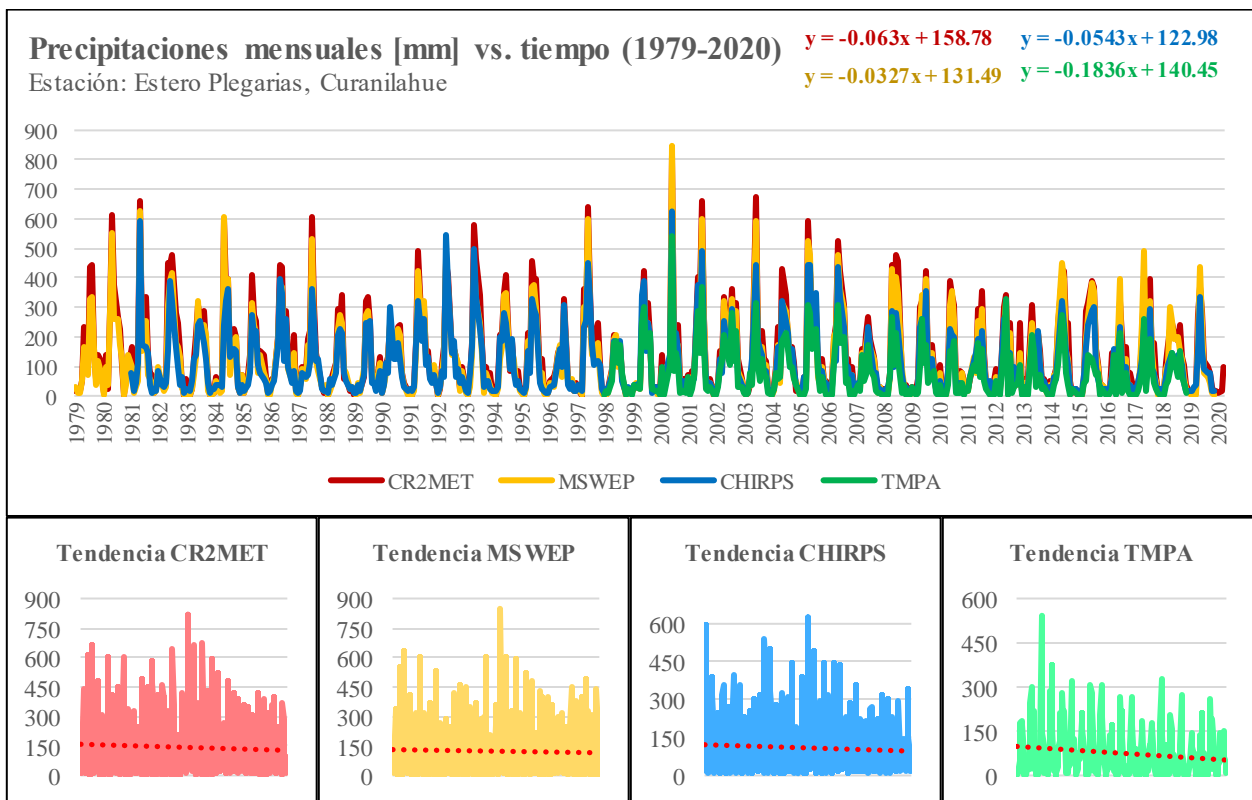


Figura. 5.15 Precipitaciones mensuales de la estación Estero Plegarias, para el periodo 1979-2020. Parte superior: gráfico de precipitaciones con las series de tiempo de los cuatro modelos disponibles en la base de datos. Parte inferior: Tendencia lineal de los cuatro modelos, de izquierda a derecha: CR2MET, MSWEP, CHIRPS y TMPA. Elaborado a partir de los datos de CR²-CAMELS.

La Figura. 5.15 correspondiente a la estación Estero Plegarias, exhibe patrones de evolución de las precipitaciones similares a los de la estación Río Curanilahue (Figura. 5.14) anteriormente descrita. Sin embargo, cabe destacar que, en este caso, las precipitaciones alcanzan cifras apreciablemente inferiores, con una diferencia que incluso supera los 100 mm entre los registros máximos (año 2000) de ambas estaciones, y ahora es el modelo MSWEP el que posee los valores más elevados. En cuanto a las líneas de tendencia, todas presentan un comportamiento muy similar al de la estación anterior, con pendientes negativas poco inclinadas, a excepción del modelo TMPA.

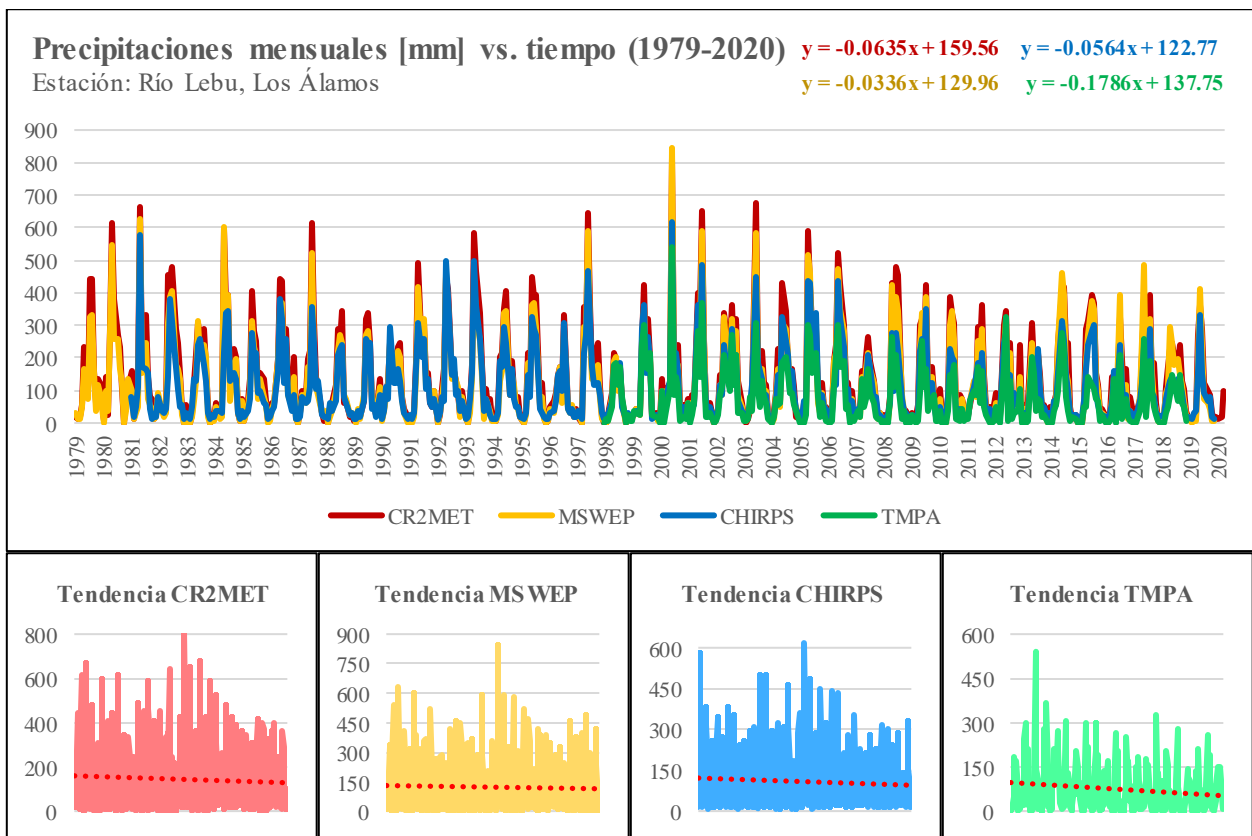


Figura. 5.16 Precipitaciones mensuales de la estación Río Lebu, para el periodo 1979-2020. Parte superior: gráfico de precipitaciones con las series de tiempo de los cuatro modelos disponibles en la base de datos. Parte inferior: Tendencia lineal de los cuatro modelos, de izquierda a derecha: CR2MET, MSWEP, CHIRPS y TMPA. Elaborado a partir de los datos de CR²-CAMELS.

En el caso de la estación Río Lebu (Figura. 5.16), sus registros poseen cifras y patrones de evolución muy similares a los de la estación Estero Plegarias, con precipitaciones máximas que no superan los 900 mm, ni siquiera en los registros del modelo MSWEP, el cual presenta las cifras más elevadas. En relación a la evolución general del agua caída, la tendencia es muy similar a los casos anteriormente descritos, con pendientes negativas, pero de baja inclinación.

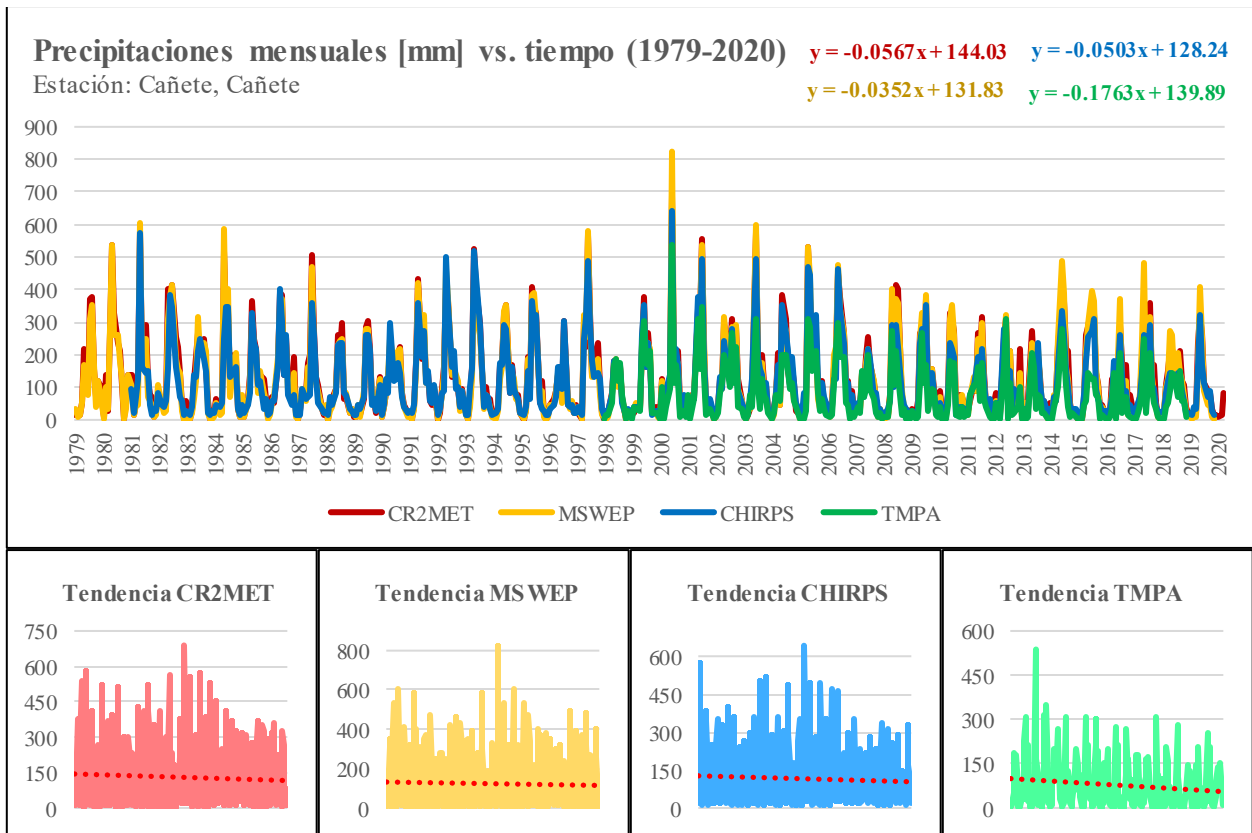


Figura. 5.17 Precipitaciones mensuales de la estación Cañete, para el periodo 1979-2020. Parte superior: gráfico de precipitaciones con las series de tiempo de los cuatro modelos disponibles en la base de datos. Parte inferior: Tendencia lineal de los cuatro modelos, de izquierda a derecha: CR2MET, MSWEP, CHIRPS y TMPA. Elaborado a partir de los datos de CR²-CAMELS.

Por último, la Figura. 5.17 muestra las gráficas de precipitaciones mensuales acumuladas para la estación Cañete, cuyos registros presentan patrones de evolución semejantes a los de las estaciones Estero Plegarias y Río Lebu (Figuras 5.15 y 5.16), sin embargo, en este caso los valores resultan levemente menores a los casos anteriores, con una cifra máxima de sólo 823.98 mm registrada por el modelo MSWEP en junio de 2000. Respecto del comportamiento general de la variable de acuerdo con los datos de esta estación, la tendencia general en los cuatro modelos es al decrecimiento del agua caída, tal como sucedía en los casos anteriores, con pendientes negativas levemente inclinadas.

Como se ha podido observar, la revisión de la evolución temporal de la variable precipitación acumulada mensual de las cuatro estaciones CR²-CAMELS presentan patrones de evolución muy parecidos, con una tendencia general a la disminución de las precipitaciones desde el año 1979

hasta 2020. Al respecto, destacan los registros de junio de 2000, con cifras notablemente superiores al resto, alzándolo como el año más lluvioso dentro del registro histórico. Además, el decrecimiento se hace mucho más evidente a partir de ese mismo año, sobre todo al observar el patrón de evolución del modelo TMPA. Otros momentos de máximas destacables se presentan en los años 1981, 1987, 1997, 2003, 2005 y 2014, y al comparar sus cantidades máximas de agua caída con las cifras del 2019, último año con registro completo en la serie de tiempo del modelo CR2MET, el cual posee el rango temporal más amplio, se puede constatar cómo el porcentaje de diferencia de precipitaciones oscila entre 11-47% (Tabla 5.6).

Tabla 5.6 Diferencia de precipitaciones acumuladas máximas [mm], de los años 1981, 1987, 1997, 2003, 2005 y 2014 con respecto a 2019, en base a los datos del modelo CR2MET. Realizado para de las cuatro estaciones consideradas.

Estación	Precipitaciones máximas [mm]							Diferencia [%] con respecto a 2019					
	1981	1987	1997	2003	2005	2014	2019	1981	1987	1997	2003	2005	2014
Río Curanilahue	781,04	722,34	714,26	794,63	674,2	477,64	421,24	46,1	41,7	41,0	47,0	37,5	11,8
Estero Plegarias	663,95	606,78	639,58	677,26	595,47	421,38	368,3	44,5	39,3	42,4	45,6	38,1	12,6
Río Lebu	665,26	611,74	643,77	674,84	592,52	420,03	365,09	45,1	40,3	43,3	45,9	38,4	13,1
Cañete	577,28	508,6	567,22	573	533,17	364,67	324,73	43,7	36,2	42,8	43,3	39,1	11,0

Por último, cabe destacar que, comparativamente, los datos de la estación Carriel Sur en Concepción (Figura. 5.13), guardan mayores similitudes con los patrones pluviométricos exhibidos por los modelos CHIRPS y TMPA de las estaciones provenientes de CR²-CAMELS.

Base de datos INIA

En tercer lugar, se analizan los datos de las estaciones Las Puentes, Lebu y Peleco del INIA, al igual que como se hizo en el caso de la variable temperatura.

La Figura. 5.18 presenta las series temporales para cada una de las estaciones recién mencionadas. A partir de los gráficos de esta figura, se puede notar inmediatamente que el rango temporal que posee esta fuente de datos es igual de acotado que en como lo era en el caso de las temperaturas, abarcando un máximo de 10 años en el caso de las estaciones Lebu y Peleco. Respecto de la evolución de la variable, la estación Las Puentes exhibe un patrón con precipitaciones máximas del orden de 400 mm, registrados en los meses de junio y julio para los años 2020 y 2022

respectivamente, y posee una tendencia lineal que marca un leve aumento de las precipitaciones, aunque su escaso rango temporal resulta poco representativo de la evolución de la variable en el área de estudio. Por su parte, tanto la estación Lebu como la estación Peleco poseen una tendencia al decrecimiento, aunque la pendiente negativa de esta segunda estación es marcadamente más pronunciada.

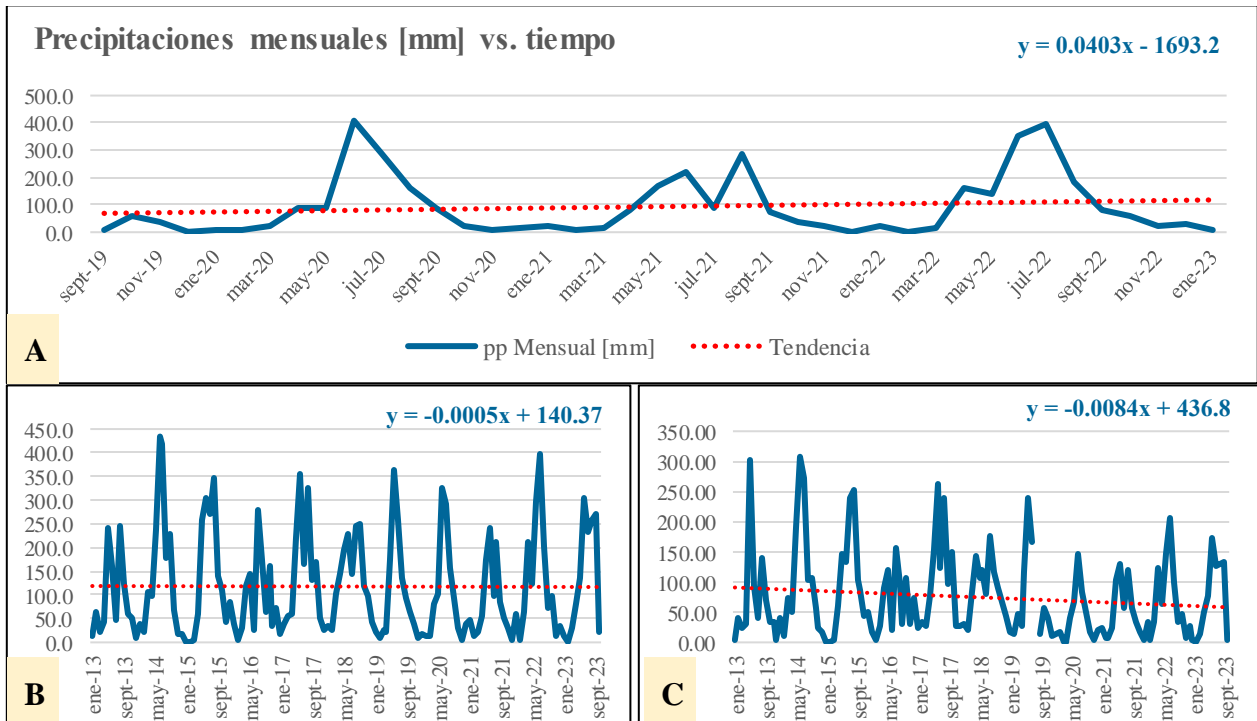


Figura. 5.18 Precipitaciones mensuales para los periodos 2019-2023 (A) Estación Las Puentes) y 2013-2023 (B) Estación Lebu y C) Estación Peleco). Elaborado a partir de los datos de INIA.

Respecto de lo anterior, aunque el rango temporal de las estaciones Lebu y Peleco también es acotado y poco representativo para el área de estudio, cabe destacar que la tendencia al decrecimiento del agua caída resulta coincidente con el comportamiento exhibido por las estaciones de las bases de datos revisadas anteriormente.

Base de datos World Clim v2.1

Tal como sucedía en el caso de las temperaturas, para complementar la información de las series temporales derivadas de las estaciones meteorológicas anteriormente analizadas, se presenta a continuación un mapa multitemporal con la evolución de las precipitaciones medias anuales, en temporada de invierno, para el periodo 1952-2022, basado en los datos de World Clim en su versión 2.1 en conjunto con CRU-TS v4.07 (Universidad de East Anglia, Reino Unido). De este último

repositorio, se extrajeron únicamente los datos de la década de 1950 para completar la información. El resultado del procesamiento del conjunto de datos se ilustra en las Figura. 5.19.

Como se aprecia en la figura, hasta el año 1972 la tendencia general es poco clara, sin embargo, desde entonces, la evolución de las precipitaciones muestra una paulatina alza hasta el año 2002, con la única excepción del año 1987, el cual decrece levemente. Esto último contrasta con la información de las series temporales de las estaciones de CR²-CAMELS, no obstante, cabe destacar que, en este caso, se trata del promedio anual y no de los datos acumulados mes a mes. Por otra parte, al continuar avanzando en el tiempo, se advierte cómo desde 2007 hasta 2022 el comportamiento promedio del agua caída en el área de estudio ha disminuido notablemente, con el año 2012 como el año menos lluvioso, alcanzando apenas entre 75-98 mm en promedio aproximadamente.

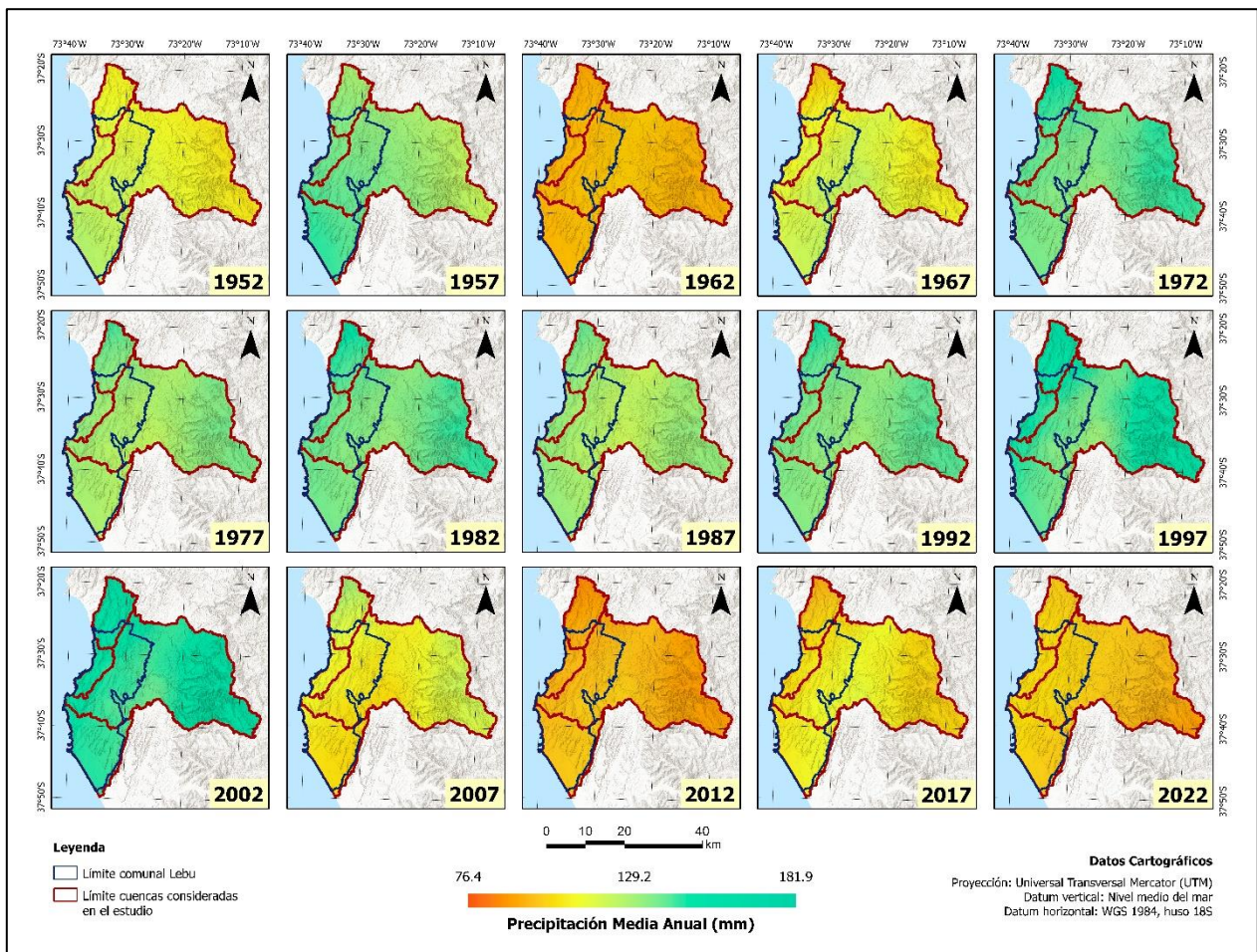


Figura. 5.19 Mapa de precipitaciones medias anuales, para el periodo 1961-2021. Elaboración propia basada en World Clim v2.1 y CRU-TS v4.07 (Universidad de East Anglia, Reino Unido).

5.2.1.3 Humedad relativa del aire

Base de datos DGAC

Para la representación de la evolución temporal de la variable humedad relativa del aire a partir de los datos de la estación Carriel Sur en Concepción, se han calculado los promedios anuales para el periodo 1966-2022, obteniéndose la gráfica de la Figura. 5.20.

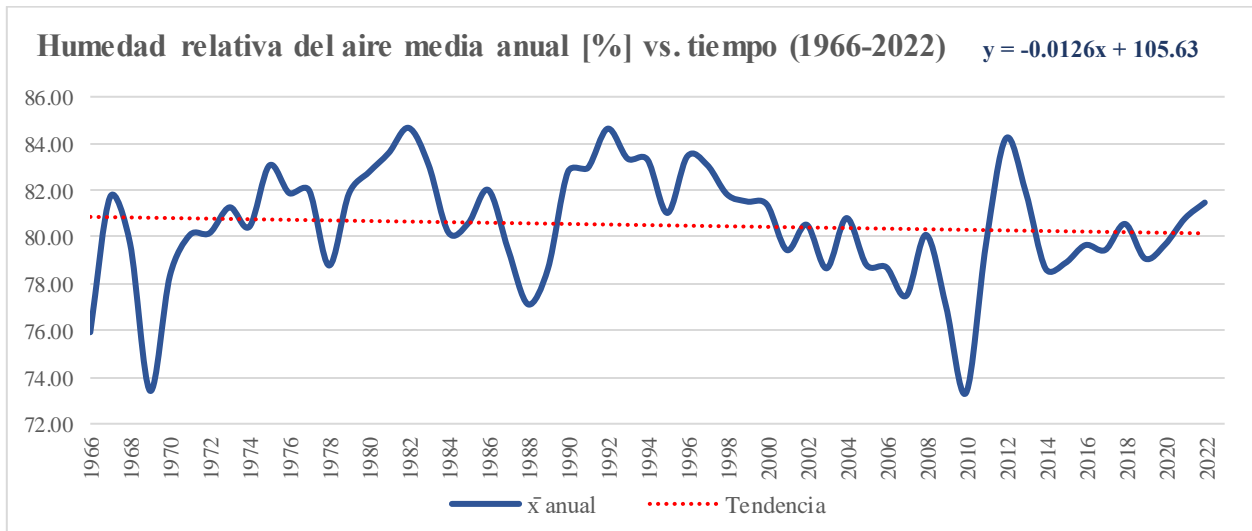


Figura. 5.20 Humedad relativa del aire media anual de la estación Carriel Sur, para el periodo 1966-2023. Elaborado a partir de los datos de DGAC.

Al respecto, se advierte en primer lugar un patrón de evolución altamente fluctuante, con porcentajes que oscilante entre el 72-86% de humedad. Dentro de este comportamiento, se distinguen algunos con una clara inclinación, como el periodo 1969-1982, el cual estuvo marcado mayoritariamente por una predisposición al alza, o el periodo 1992-2010, que abarca el mayor rango de decrecimiento relativamente continuo. Pese a lo anterior, aun con las alzas y bajas recurrentes, la tendencia general acusa un leve decrecimiento (valor negativo de la pendiente en la ecuación de la recta de la gráfica).

Por otro lado, algunos años destacan por registrar promedios anuales de humedad particularmente altos y bajos, tal es el caso de los años 1982, 1992 y 2012, con cifras de 84.67%, 84.63% y 84.21%, convirtiéndolos en los años más húmedos dentro del historial de la estación, o los años 1969, 1988 y 2010, que exhiben los promedios más bajos, con valores de 73.41%, 77.11% y 73.32% respectivamente.

Base de datos INIA

Concerniente a los datos de humedad relativa del aire obtenidos a partir de las estaciones Las Puentes, Lebu y Peleco del INIA, estas abarcan el mismo rango temporal que en los casos de las variables temperatura y precipitaciones descritos anteriormente. De la información obtenida, se han graficado los valores máximos y mínimos mensuales, tal como es posible apreciar en la Figura. 5.21.

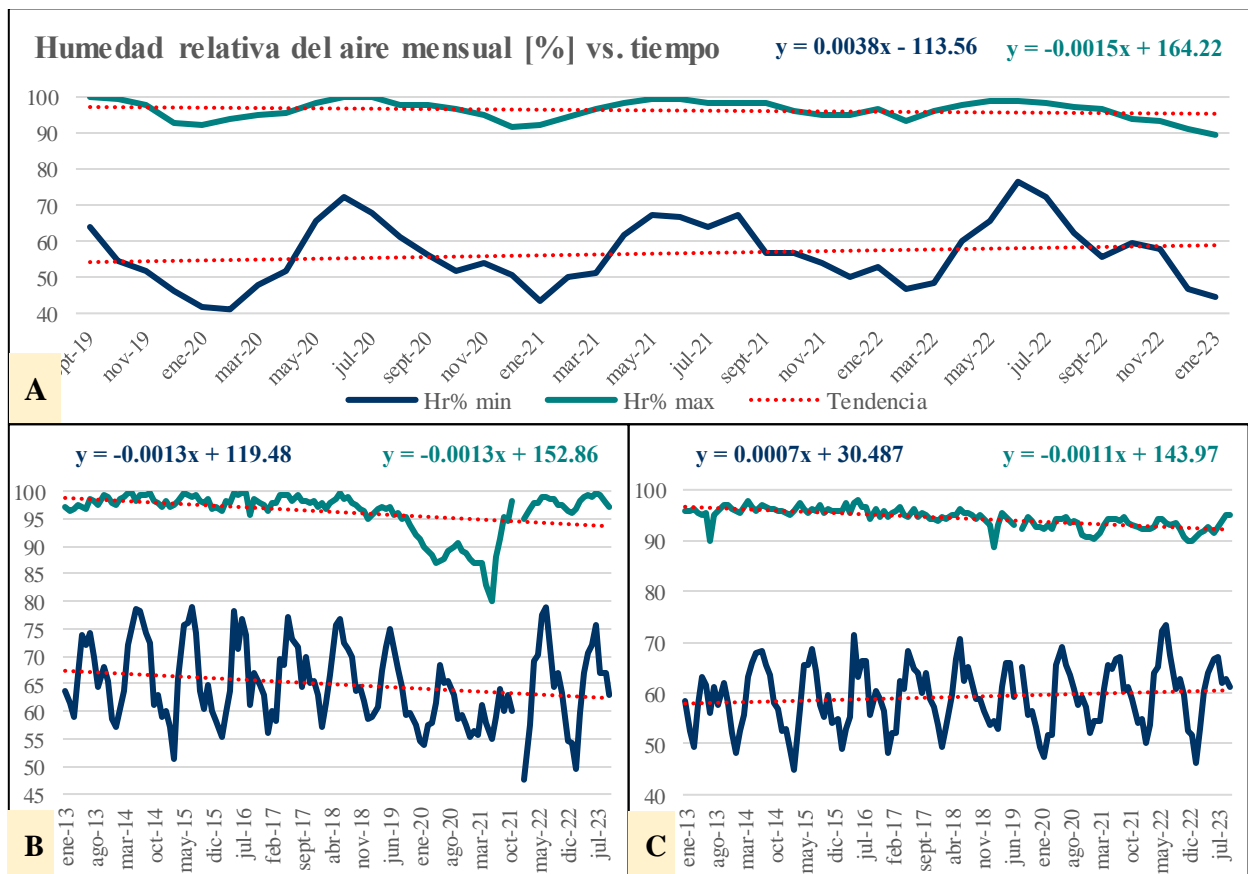


Figura. 5.21 Humedad relativa del aire mensual para los periodos 2019-2023. (A) Estación Las Puentes) y 2013-2023 (B) Estación Lebu y C) Estación Peleco). Elaborado a partir de los datos de INIA.

A partir de la figura anterior, se constata que, en los tres casos, el comportamiento general de los porcentajes de humedad relativa máximos, marca una tendencia hacia el decrecimiento, aunque este es considerablemente leve, tal como lo indican los valores de pendiente negativa en sus respectivas ecuaciones de la recta. Por su parte, los patrones de humedad relativa mínima, exhiben un comportamiento oscilatorio de alzas y bajas relativamente estable, con una inclinación hacia el aumento de la variable en el caso de las estaciones Las Puentes y Peleco (Figuras 5.21a y 5.21c), no así en el caso de la estación Lebu (Figura. 5.21b) cuya tendencia continúa siendo hacia la

disminución. En adición a lo anterior, al contrastar los valores mínimos y máximos de los años 2013 y 2022 (último año completo de la serie de tiempo) de la estación Lebu (Tabla 5.7), se constata una diferencia de casi un 20% respecto de la humedad relativa mínima, pero apenas un 0,3% de diferencia en el caso de la humedad relativa máxima.

Tabla 5.7 Diferencia entre los valores de humedad relativa mínima y máxima, entre los años 2013 y 2022 para la estación Lebu. Fuente: elaborado a partir de los datos de INIA.

Estación	Hr% mínima		Diferencia	Hr% máxima		Diferencia
	2013	2022		2013	2022	
Lebu	59,1	47,6	19,5%	99,3	99,0	0,3%

Finalmente, cabe señalar que, tal como sucedía con las variables temperatura y precipitación, aunque los datos registrados por estas estaciones ofrecen un acercamiento a la revisión de este parámetro, los rangos temporales son bastante acotados, lo que desfavorece notablemente la representatividad de la información en el área de estudio.

5.2.1.4 Índice de precipitación estandarizado (IPE)

El último de los parámetros climáticos/atmosféricos considerados en el análisis corresponde al Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), el cual, como se adelantaba al comienzo del subcapítulo, es utilizado para caracterizar la sequía meteorológica en diversas escalas temporales, lo cual resulta sumamente relevante al considerar la actual situación de escasez hídrica que afecta a gran parte del país.

El IPE considerado para el caso particular, abarca el periodo 1984-2023, con una acumulación de 36 meses (IPE-36), partiendo desde el mes de julio, considerado como una escala temporal larga, dentro de los rangos comúnmente empleados para este índice, y puede adquirir valores en un rango que va desde <-2 a >2 , donde los valores negativos indican condiciones de sequía y, las cifras positivas, marcan condiciones de lluvia por sobre la normalidad, tal como lo indica la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Escala de valores del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE). Modificado de McKee (1993).

<-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	>2	
Extrem. seco	Seco	Mod. seco	Lig. seco	Normal	Normal	Lig. lluvioso	Mod. lluvioso	Lluvioso	Extrem. lluvioso

La Figura. 5.22 presenta la evolución temporal del IPE-36 para el área de estudio. Cabe destacar que toda la información ha sido extraída de la Biblioteca de Datos Climáticos (BDC) de Chile, que a su vez se basa en los datos del Climate Prediction Center de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de Estados Unidos.

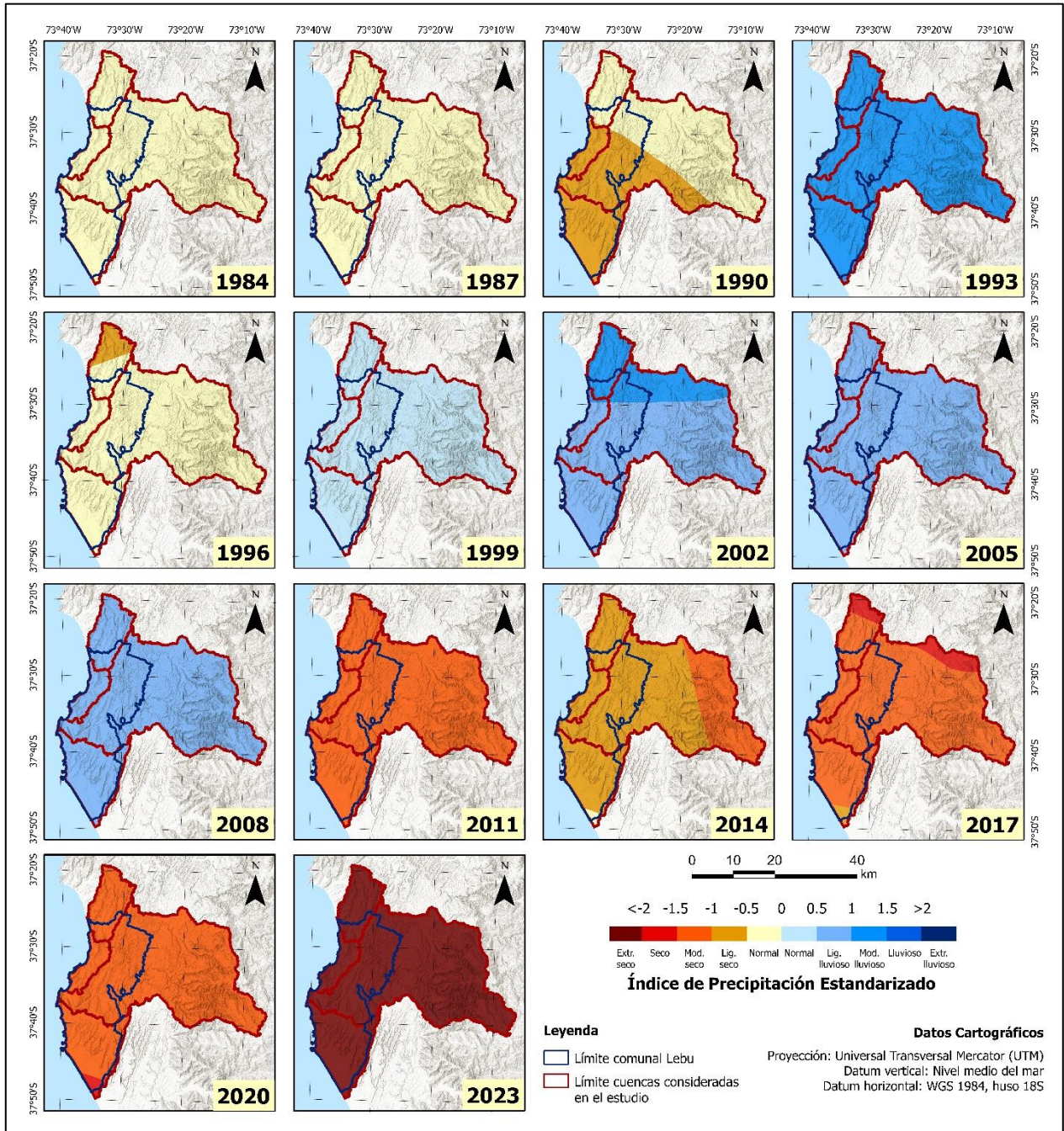


Figura. 5.22 Mapa del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) acumulado en 36 meses para el periodo 1984-2023. Modificado de Biblioteca de Datos Climáticos (<http://www.climatedatalibrary.cl>).

A partir de la figura anterior, se puede constatar cómo desde 1984 hasta 2008, el régimen imperante fue de condiciones “normales” a “ligeramente lluviosas”, y nunca sobrepasó la categoría de “ligeramente seco”, cuyo máximo exponente es el año 1990, en el que tal condición abarcó más de la mitad del área de estudio, afectando totalmente las subcuentas Costeras entre Río Quiapo y Río Lebu y Costeras entre Río Lebu y Estero Ranquilco, y parcialmente la subcuenta Río Lebu.

Posteriormente, en años más recientes, desde 2011 hasta 2023 se aprecia claramente un abrupto cambio de régimen, pasando desde una condición “ligeramente lluviosa” (2008) a “moderadamente seco” (2011) y abarcando, además, la totalidad del área de estudio. Durante 2014, domina mayoritariamente la condición de “ligeramente seco”, aunque la sequía vuelve a aumentar desde 2017 hasta 2023, alcanzando en este último año, la categoría “extremadamente seco”, la más baja dentro del registro histórico revisado.

El patrón de comportamiento de la variable difiere ligeramente al analizar los datos por medio de gráficos de IPE vs. tiempo (Figura. 5.23), en el que los periodos de acumulación considerados son mensuales y no trianuales. En el caso particular, han sido consideradas todas las comunas que abarcan total o parcialmente alguna de las subcuentas del área de estudio, y adicionalmente, la evolución en la comuna de Cañete y la totalidad de la provincia de Arauco a modo de ejercicio comparativo.

A través de una primera observación de los gráficos de la Figura. 5.23, se advierte inmediatamente cómo el patrón de evolución, en general, es notablemente similar en su forma, en todos los territorios considerados. Al respecto, se puede constatar cómo desde 1980 hasta aproximadamente 2010, dominaban las condiciones “normales” y “lluviosas” (en diferente intensidad), salvo algunas excepciones en las décadas de 1980 y 1990, en los que se registran años “ligeramente secos”. Posteriormente, desde 2010 hasta el final de la serie de tiempo, los periodos de sequía aumentan sustancialmente, sobre todo a partir de 2020, donde, se puede observar que, en la totalidad de los casos, las condiciones imperantes alcanzan el umbral de “extremadamente seco”.

No obstante, al revisar más detenidamente, es posible distinguir dos patrones ligeramente diferentes: 1. asociación de la evolución de la variable en la comuna de Arauco (Fig. 5.2.17a), junto con la de la comuna de Curanilahue (Figura. 5.23b) y el escenario general exhibido por toda la

provincia (Figura. 5.23f), y 2. asociación de la evolución observada en la comuna de Lebu (Figura. 5.23c) junto a la de las comunas de Los Álamos y Cañete (Figuras. 5.2.17d y 5.2.17e). Respecto de lo anterior, el principal contraste entre ambos patrones, se halla, por un lado, en que el régimen imperante hasta aproximadamente 1982 fue de condiciones mayormente “ligera a moderadamente lluviosas” para la asociación 1, en cambio, para la asociación 2 lo fue de condiciones mayormente “lluviosas”, y, por otro lado, una segunda diferencia se observa en el periodo 2010-2020, donde el régimen dominante en las comunas de Arauco y Curanilahue (asociación 1) es en general de condiciones “moderadamente secas”, mientras que en el caso de las comunas de Lebu, Los Álamos y Cañete, las condiciones de sequía exhiben una mayor heterogeneidad en la intensidad.

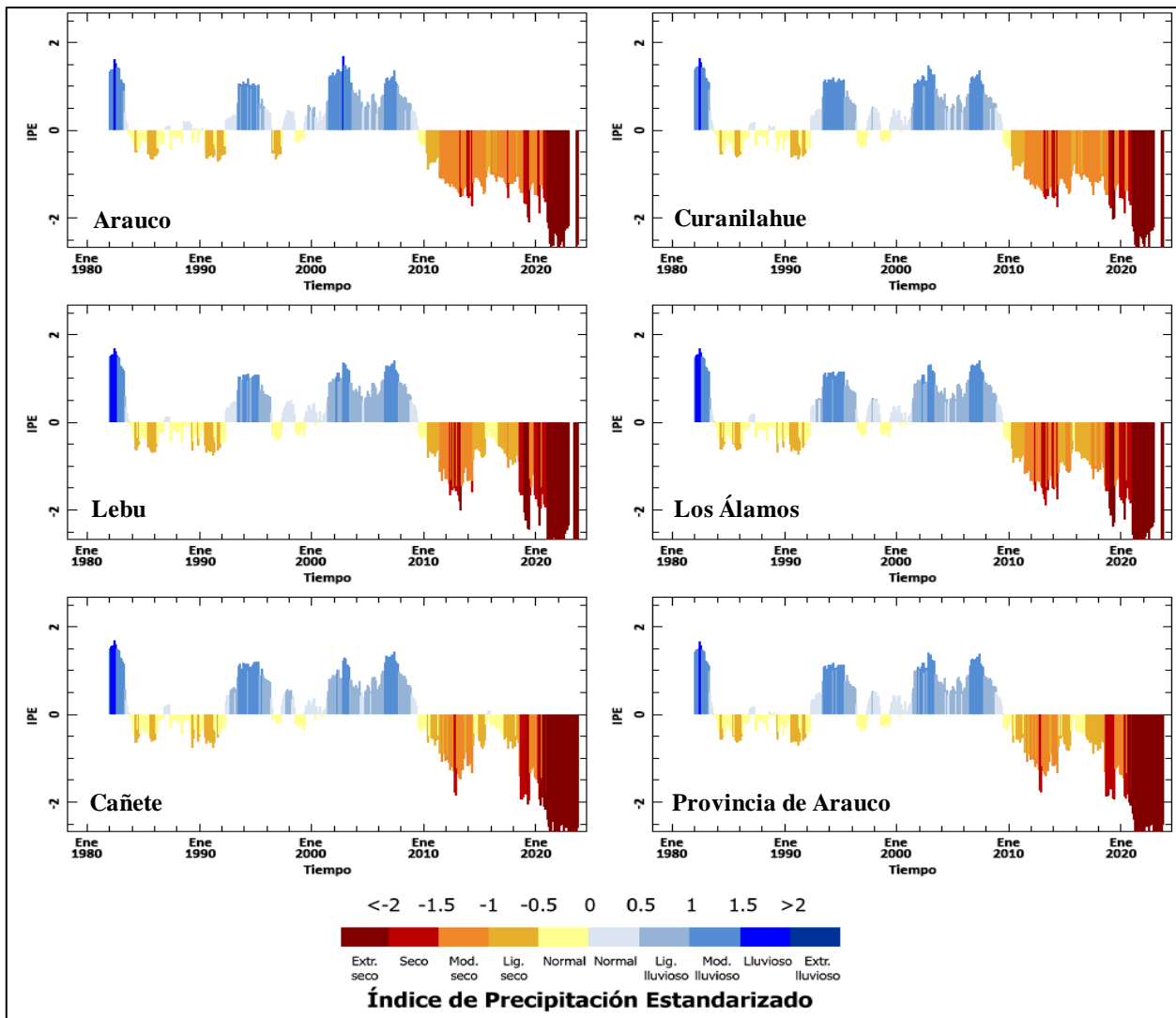


Figura. 5.23 Gráficos del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) vs. tiempo para el periodo 1984-2023. Modificado de Biblioteca de Datos Climáticos (<http://www.climatedatalibrary.cl>).

5.2.2 Parámetros oceanográficos

El segundo grupo de parámetros refiere a las variables oceanográficas, tales como la temperatura del mar, pH, concentraciones de oxígeno disuelto, hierro, nitrato, etc. Para su análisis, se han revisados dos fuentes de información, la primera corresponde a bases de datos nacionales proporcionadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y considera tres estaciones CENDHOC ubicadas en las costas de Talcahuano, Coronel y Lebu. La ubicación geográfica de las estaciones se muestra en la Figura. 5.24 y las variables disponibles y rangos temporales abarcados por cada una de estas se indica en la Tabla 5.9.

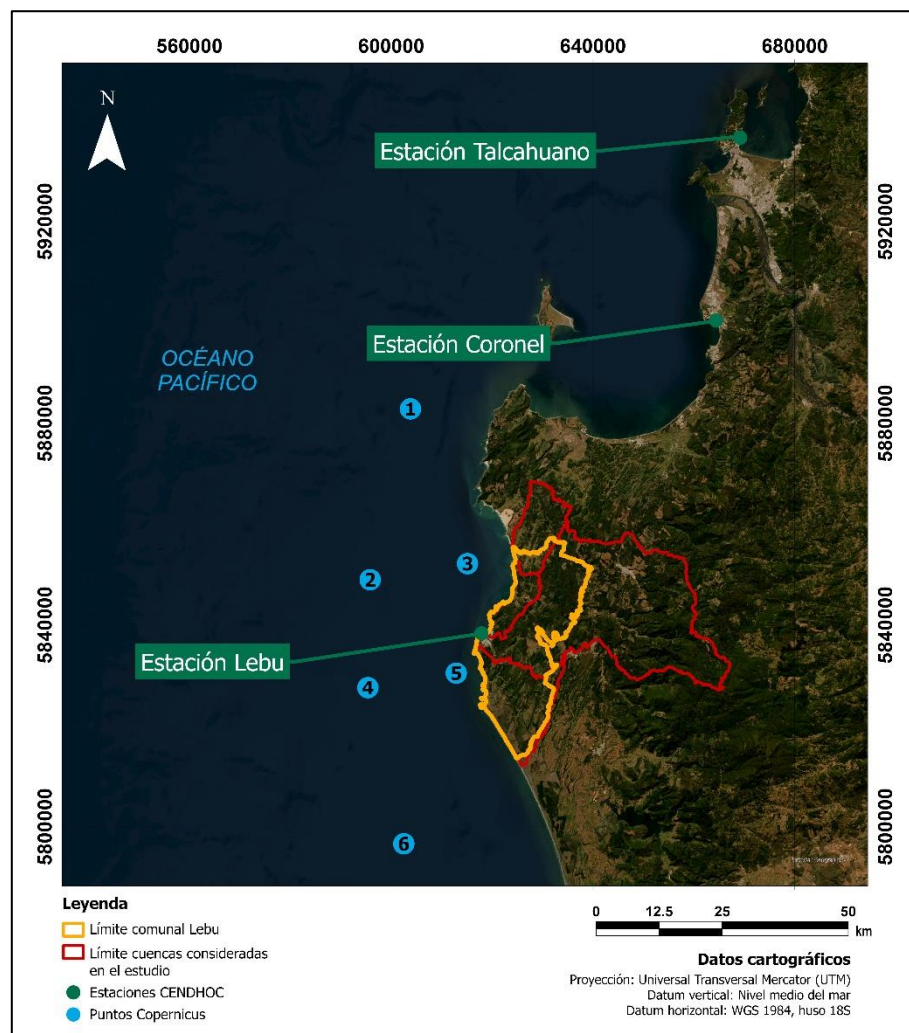


Figura. 5.24 Ubicación geográfica de las estaciones CENDHOC y de los puntos de datos extraídos de Copernicus Marine Service para el análisis de los parámetros oceanográficos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.9 Información principal de las estaciones CENDHOC utilizadas en el análisis de los parámetros oceanográficos. Fuente: Elaboración propia.

Nombre estación	Coordenadas	Rango temporal máximo	Variables
Talcahuano	36°42'03''S 73°06'22''W	1949-2022	Presión atmosférica; Temperatura del aire; Temperatura superficial del mar; Nivel medio del mar
Coronel	37°01'43''S 73°09'06''W	2012-2021	
Lebu	37°35'39''S 73°39'51''W	2010-2022	

La segunda fuente de información, corresponde a datos extraídos del repositorio web del programa de observación remota Copernicus Marine Service, de la Unión Europea. A partir de 6 puntos cercanos a las costas del área de estudio (Figura. 5.24 y Tabla 5.10), se han revisado variables fisicoquímicas dos modelos globales, calculando para cada caso, los promedios mensuales que abarcan el periodo 1993-2020.

Tabla 5.10 Coordenadas de los puntos utilizados para el análisis de los datos de los modelos de Copernicus Marine Service. Fuente: Elaboración propia.

Punto	Coordenadas	
1	37°11'42''S	73°49'48''W
2	37°30'04''S	73°54'58''W
3	37°28'12''S	73°41'53''W
4	37°41'38''S	73°55'05''W
5	37°39'58''S	73°43'12''W
6	37°58'19''S	73°49'59''W

El primer modelo, corresponde al Global Ocean Physics Reanalysis (GOPR) desarrollado por Drévillon et al., 2022, basado en el sistema de previsión mundial en tiempo real CMENS de la plataforma NEMO y, en segundo lugar, el modelo Global Ocean Biogeochemistry Hindcast (GOBH) desarrollado por Le Galloudec et al., 2022, basado en el modelo biogeoquímico PISCES también de la plataforma de modelización NEMO. El detalle de las variables disponibles en cada modelo se desglosa en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Información principal de los modelos GOPR y GOBH de Copernicus Marine Service utilizados para el análisis de las variables oceanográficas. Fuente: Elaboración propia.

Nombre del modelo	Acrónimo	Resolución espacial	Rango temporal	Variables
Global Ocean Physics Reanalysis	GOPR	0.083° × 0.083°	1993-2020	Temperatura potencial del agua de mar; Temperatura potencial del fondo marino; Salinidad
Global Ocean Biogeochemistry Hindcast	GOBH	0.25° × 0.25°	1993-2020	Clorofila; Biomasa; Hierro; Sílice; Nitrato; Oxígeno disuelto; Fitoplancton; Fosfato; pH

5.2.2.1 Base de datos SHOA

a) Presión atmosférica

El primero de los parámetros disponibles provenientes de las estaciones CENDHOC corresponde a la presión atmosférica, expresada en milibares (mbar). Al respecto, se han calculado los promedios mensuales para cada estación obteniéndose los gráficos de la Figura. 5.25.

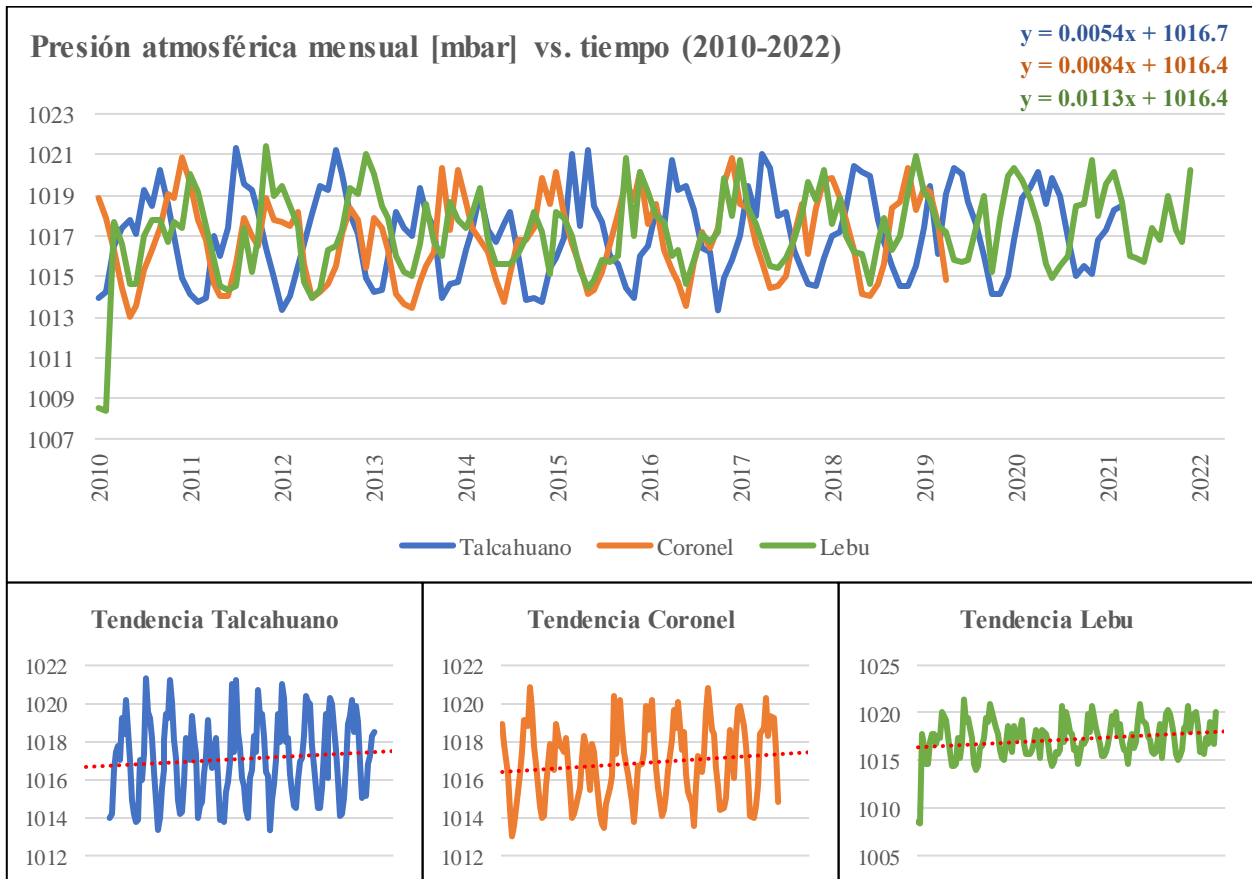


Figura. 5.25 Presión atmosférica mensual [mbar] para el periodo 2010-2022. Parte superior: gráfico de presión atmosférica con las series de tiempo de las tres estaciones CENDHOC: Talcahuano, Coronel y Lebu. Parte inferior: tendencia lineal de las tres estaciones. Elaborado a partir de los datos de SHOA.

A partir de la figura anterior se advierte inmediatamente que el rango temporal cubierto por las tres estaciones es considerablemente acotado con tan sólo 12 años en el caso más amplio, correspondiente a Lebu, mientras que Coronel, que alcanza hasta 2019, es el caso con menor disponibilidad de datos. Lo anterior resulta destacable dado que un limitado periodo de tiempo afecta directamente la representatividad de los datos.

No obstante, respecto del comportamiento de la variable, es posible mencionar por un lado que, mayormente, las variaciones de la presión atmosférica oscilan en un rango de entre 1013-1021 mbar, lo cual, ubica los registros ligeramente por sobre lo comúnmente considerado como “normal” (~1013 mbar = 1 atm). Tales presiones, levemente superiores podrían estar influenciadas por la acción de eventos de anticiclones, en las que el aire converge y es proclive a descender. Por otra parte, también es apreciable, una tendencia general hacia el aumento, tal como lo muestran las respectivas pendientes levemente positivas de las tres estaciones. Sólo un par de mediciones, registradas en 2010 por la estación Lebu, resultan anómalos frente al conjunto de datos, lo que podría indicar un breve periodo de borrasca o corresponder un error de medición.

b) Temperatura del aire

La segunda variable disponible en las estaciones oceanográficas corresponde a la temperatura del aire, medida por las boyas sobre el nivel del mar. Para este caso, también se han obtenido los promedios mensuales, que se representan en las gráficas de la Figura. 5.26.

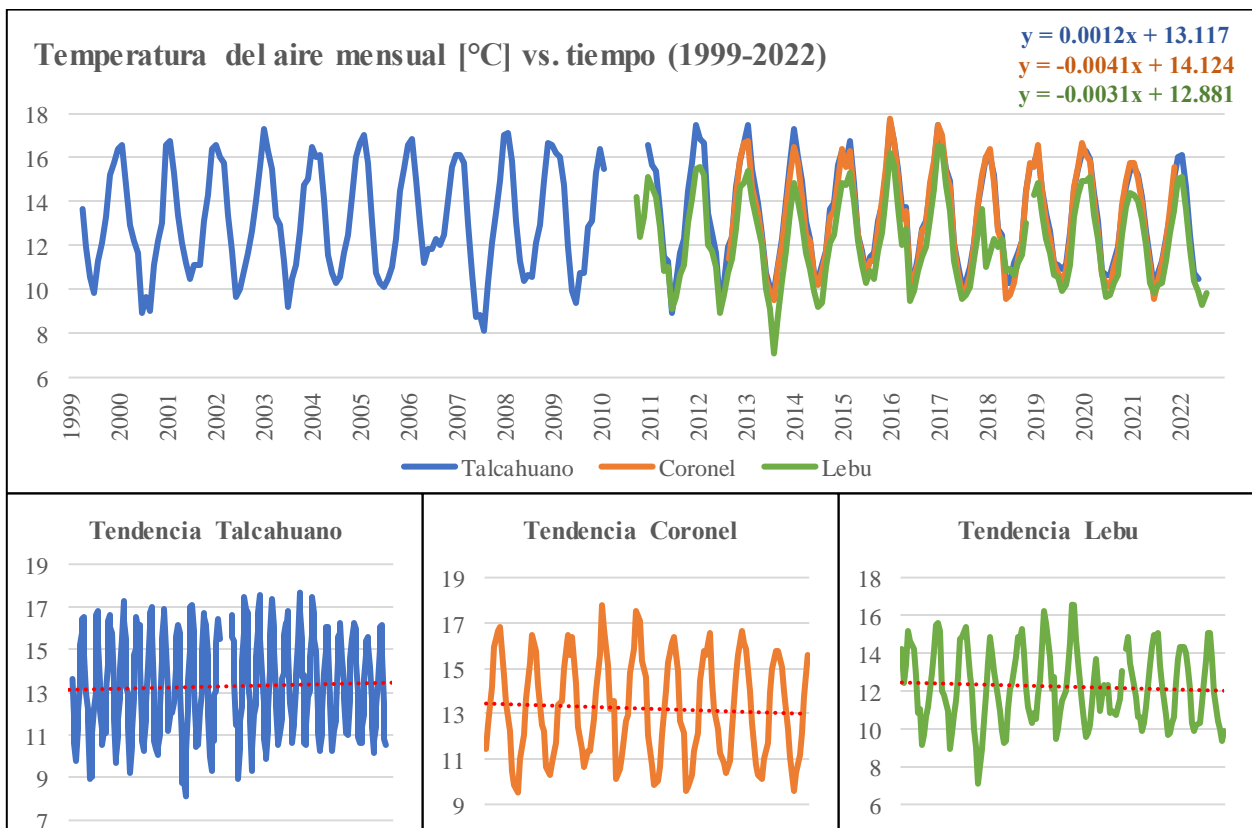


Figura. 5.26 Temperatura del aire mensual [°C] para el periodo 1999-2022. Parte superior: gráfico de temperaturas con las series de tiempo de las tres estaciones CENDHOC: Talcahuano, Coronel y Lebu. Parte inferior: tendencia lineal de las tres estaciones. Elaborado a partir de los datos de SHOA.

Respecto de la figura anterior, es posible apreciar que, aunque el rango temporal máximo abarca desde 1999 hasta 2022, sólo la estación Talcahuano posee tan amplio registro, mientras que las otras dos estaciones logran cubrir únicamente 12 y 10 años respectivamente, lo que, tal como sucedía en el caso de la presión atmosférica, coarta la representatividad de tales datos. Por otra parte, en la estación Talcahuano se observa una breve interrupción de la serie de datos en 2010, probablemente ocasionado por el terremoto de dicho año.

Pese a lo anterior, al revisar la evolución temporal de la variable, en primer lugar, se puede mencionar que las temperaturas mínimas fluctúan aproximadamente entre 8-9°C, mientras que las máximas nunca superan los 18°C. En relación al comportamiento en cada estación, se advierte que tanto en Coronel como en Lebu, se registra una tendencia leve hacia la disminución de la temperatura, mientras que en el caso de Talcahuano, la pendiente es levemente positiva, indicando una pequeña alza, sin embargo, al observar la gráfica con mayor detención, es posible distinguir que desde 1999 y hasta 2010 la tendencia general es levemente positiva, mientras que en el periodo 2010-2022, el patrón se asemeja mayormente al de las otras dos estaciones, con una leve disminución.

c) Temperatura superficial del mar

En tercer lugar, se revisaron los datos sobre la temperatura superficial del mar, para la cual también fueron calculados los promedios mensuales y graficados tal como se muestra en la Figura. 5.27.

Al respecto, inmediatamente se advierte el gran contraste existente entre los rangos temporales de las estaciones Coronel (2012-2021) y Lebu (2010-2022) en comparación con el de la estación Talcahuano (1949-2022). Sobre el comportamiento de la variable en cada estación, por un lado, el caso de Talcahuano (Figura. 5.27a), dentro de su excepcional registro histórico, cuenta con varios momentos de disminución y alza prolongados, sin embargo, en líneas generales, el patrón de evolución, denota una leve tendencia hacia el incremento de las temperaturas que, resulta constatable sobre todo, por el paulatino aumento de las temperaturas mínimas, que comienzan por debajo del umbral de los 11°C y que poco a poco va siendo superado, y ya desde 2008 en adelante, dicha cifra es rebasada por la totalidad de los datos. En el caso de la estación Coronel (Figura. 5.27b), en el limitado periodo que abarca, se muestra un patrón con temperaturas que oscilan entre

los 11-18°C con una pequeña predisposición al alza, similar a la estación Talcahuano. En tercer lugar, el caso de Lebu (Figura. 5.27c), muestra un patrón más heterogéneo y, aunque la pendiente negativa describe una leve tendencia hacia la disminución, es posible identificar varios momentos de alza de las temperaturas, a saber, entre los años 2010-2012, 2013-2016 y 2017-2019, sin embargo, tal como sucede con la estación Coronel, su escaso registro de datos, restringe la representatividad de la información.

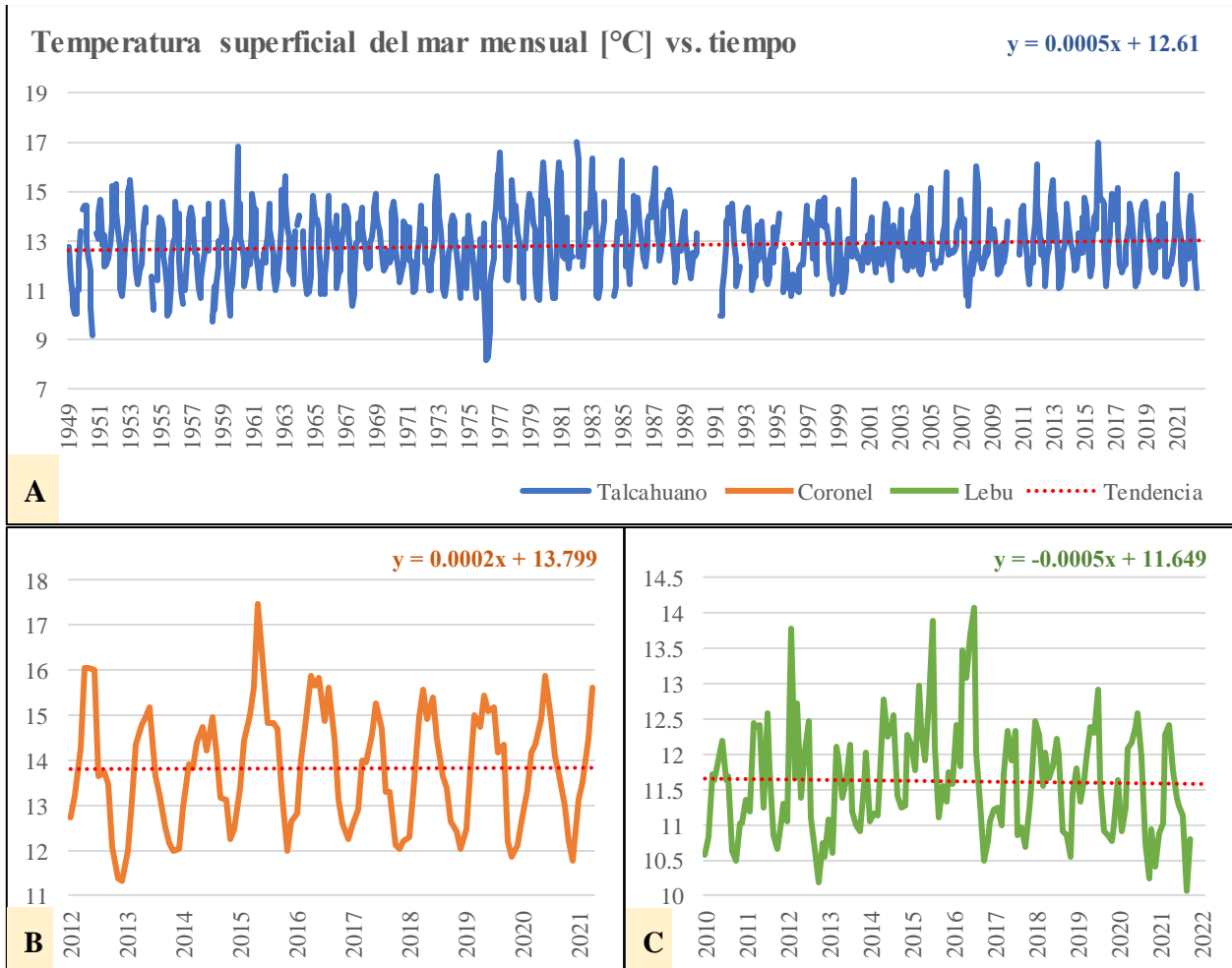


Figura. 5.27 Temperatura superficial del mar mensual [°C] para los periodos 1949-2022. (A) Estación Talcahuano), 2012-2021 (B) Estación Coronel) y 2010-2022 (C) Estación Lebu). Elaborado a partir de los datos de SHOA.

d) Nivel medio del mar

El cuarto y último de los parámetros disponibles a partir de los datos de las estaciones CENDHOC corresponde al nivel medio del mar, el cual se encuentra expresado en centímetros (cm) y, al igual

que en los casos anteriores, el análisis se lleva a cabo a través de los promedios mensuales de la variable registrados en el tiempo, tal como se puede observar en la Figura. 5.28.

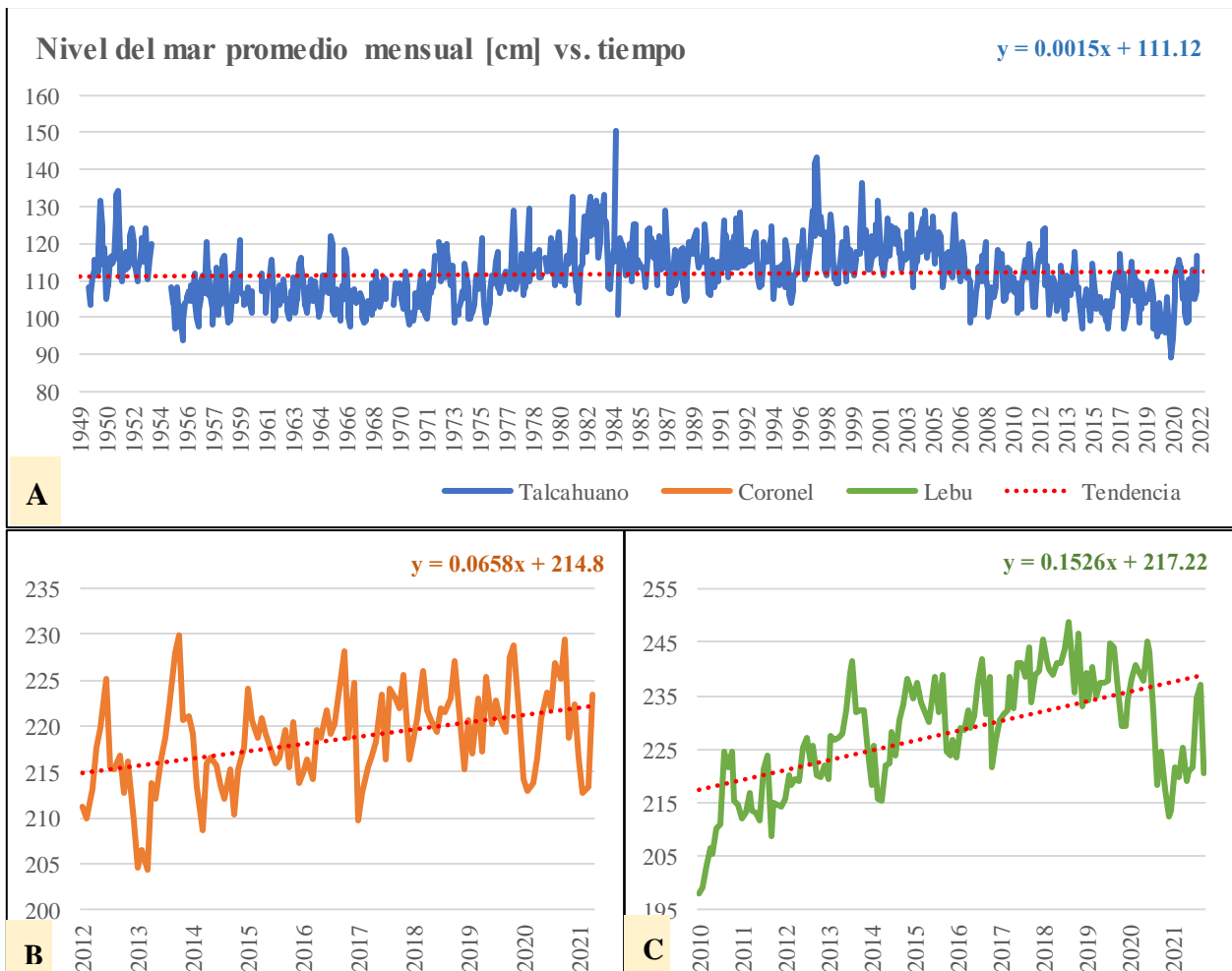


Figura. 5.28 Nivel del mar promedio mensual [cm] para los periodos 1949-2022. (A) Estación Talcahuano), 2012-2021 (B) Estación Coronel) y 2010-2022 (C) Estación Lebu). Elaborado a partir de los datos de SHOA.

En relación con la figura, en primer lugar, se puede notar que, tal como sucedía con la temperatura superficial del mar, los rangos temporales abarcados por las estaciones Coronel y Lebu difieren notablemente del de la estación Talcahuano, concretamente, corresponden a los mismos periodos que en el caso de la variable anterior.

Respecto de la evolución del parámetro y comenzando por la estación de mayor recorrido, vale decir, Talcahuano (Figura. 5.28a), se advierte un patrón heterogéneo, cuya tendencia general denotaría una pequeña alza del nivel del mar, no obstante, al observar la gráfica, es posible identificar varios periodos diferenciados, como 1950-1955, en el que sucede una disminución,

1957-1975 en el que el nivel del mar es aproximadamente estable, o 1973-1984 que denota una gran alza. Además, se puede apreciar cómo desde 1997 hasta 2020 sucede una progresiva disminución desde los 140 cm hasta los 100 cm aproximadamente y posteriormente en los últimos años, el patrón se inclina nuevamente hacia el alza. En el caso de las estaciones Coronel y Lebu (Figuras. 5.28b y 5.28c), la situación es diferente, en ambos casos el nivel del mar es superior al de Talcahuano, con más de 45 cm de diferencia y, además, ambas tendencias describen una pendiente apreciablemente positiva, aunque en el caso de Lebu, en 2021 se registra una disminución, pero que inmediatamente retoma su inclinación general hacia el aumento en los valores de la variable.

5.2.2.2 Base de datos Copernicus Marine Service

Global Ocean Physics Reanalysis (GOPR)

a) Temperatura del agua de mar

La primera variable extraída desde el modelo GOPR corresponde a la temperatura potencial del agua de mar, cuya representación gráfica, se aprecia en la Figura. 5.29.

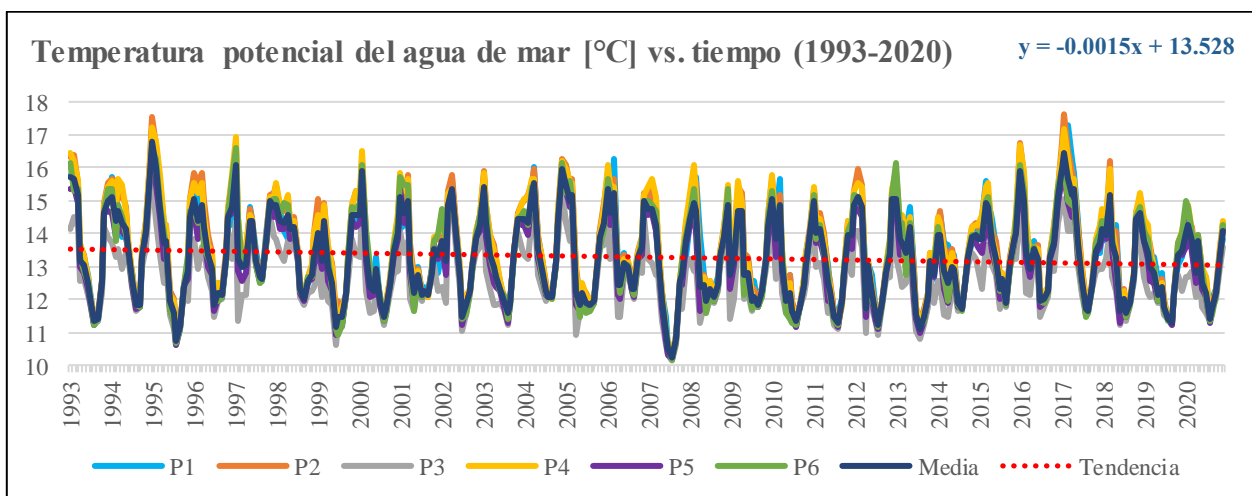


Figura. 5.29 Temperatura potencial del agua de mar [°C] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

A partir de la figura, se constata una gran similitud en el conjunto de datos, con valores cercanos en los patrones de los 6 puntos, los que oscilan mayormente entre los 11-16°C aproximadamente. Las temperaturas máximas son registradas mayormente por los puntos 2 y 4, destacando los años 1995 y 2017, ambos con valores superiores a los 17°C, por su parte, el punto 3 abarca las menores temperaturas y, en diferentes momentos, como 1999, 2005 o 2007 registra cifras por debajo de los

11°C. En cuanto a la evolución general de la variable, el patrón promedio exhibe una tendencia hacia el descenso, con una pendiente levemente negativa.

b) Temperatura del fondo marino

La siguiente variable, refiere a la temperatura potencial del fondo marino, tal como puede observarse en la gráfica de la Figura. 5.30.

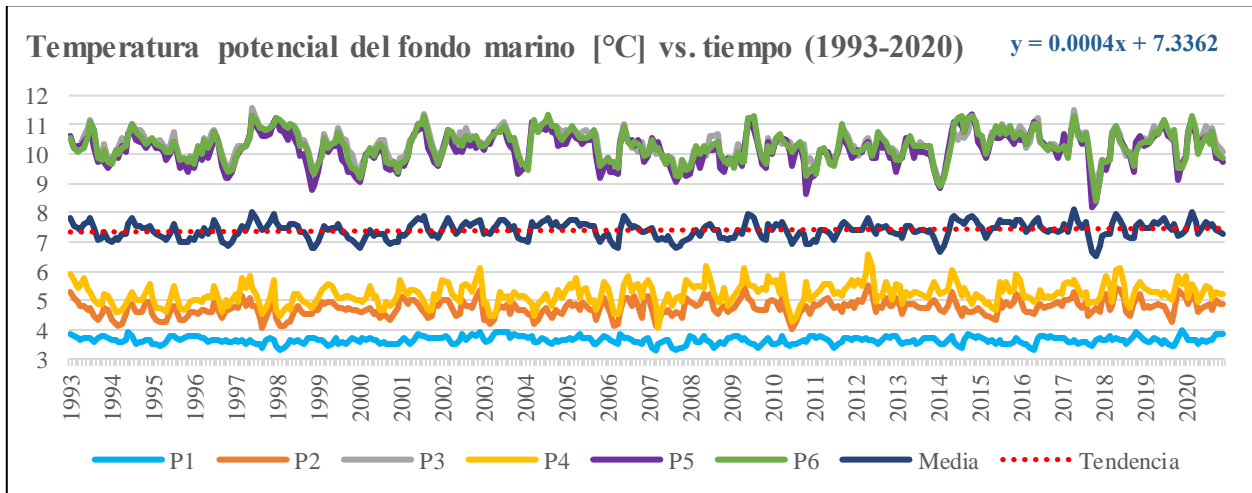


Figura. 5.30 Temperatura potencial del fondo marino [°C] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Respecto de la figura, en primer lugar, se observan temperaturas que no superan los 12°C, denotando cifras inferiores respecto de las de la variable anterior, además, destaca inmediatamente, una mayor heterogeneidad en el conjunto de datos.

Por un lado, los puntos 3, 5 y 6 describen un comportamiento bastante semejante y, en los tres casos, se registran temperaturas que oscilan entre los 9-11°C mayormente, mientras tanto, los puntos 2 y 4, también comparten un patrón similar entre ellos, pero con cifras inferiores, que en ningún caso superan el umbral de los 7°C. Por su parte, la serie del punto 1, registra las temperaturas más bajas, que apenas bordean los 4°C en algunos momentos, como 1994, 2003 o 2020. Lo anterior, podría estar influenciado por las irregularidades en el relieve del fondo marino y en las capacidades del modelo GOPR para captar estas diferencias.

En cuanto al comportamiento general del parámetro, al observar el patrón promedio, se logra apreciar una leve tendencia al alza, con una pendiente positiva poco inclinada.

c) Salinidad

La tercera variable considerada a partir del modelo GOPR corresponde a la salinidad del mar, expresada en psu. La gráfica de la Figura. 5.31 muestra la evolución de esta variable en el tiempo.

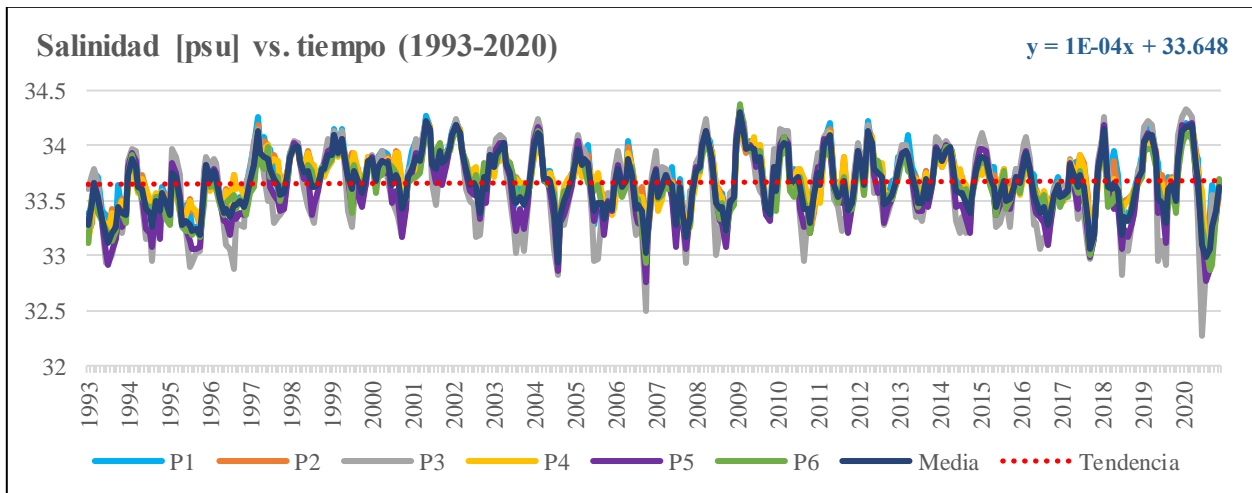


Figura. 5.31 Salinidad [psu] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Al respecto, se observa que, en el periodo considerado, la salinidad del mar ha oscilado entre los 33 y 34 psu aproximadamente. Las series de los puntos 3 y 6 poseen los registros más bajos, aunque destaca sobre todo P3, por poseer reiterados instantes por debajo de los 33 psu, entre los que destacan notablemente 2006 y 2020, con salinidades inferiores a los 32.5 psu. Además, esta misma serie registra los valores más altos, en 2009 y 2020, ambos cercanos a los 34.3 psu aproximadamente.

Por otro lado, respecto de la evolución general de la variable, se constata una muy leve inclinación hacia el aumento, sin embargo, al observar con mayor detenimiento la gráfica, es posible apreciar que el ajuste de los datos es reducido, pudiendo identificar diferentes periodos de alzas y bajas, como 1993-1997, 2006-2009 o 2016-2020 (alza), o entre los años 2001-2006 y 2009-2016 (baja).

Global Ocean Biochemistry Hindcast (GOBH)

a) Clorofila

El primero de los parámetros extraídos desde GOBH corresponde a la concentración de clorofila, expresada en mg/m^3 , cuya representación se muestra en la gráfica de la Figura. 5.32. Cabe destacar

que esta variable resulta relevante dado que es utilizada por múltiples organismos fotosintetizadores para su subsistencia, como algas verdes y pardas y fitoplancton.

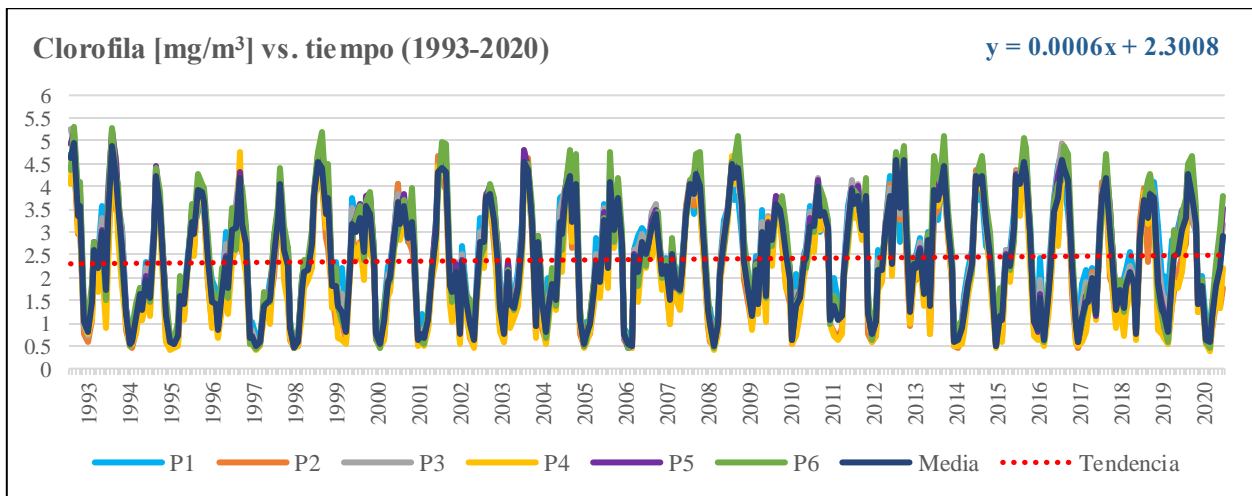


Figura. 5.32 Clorofila [mg/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Respecto de la evolución de la clorofila, se puede notar un patrón oscilatorio relativamente estable, con concentraciones que oscilan entre los 0.5-5 mg/m³ aproximadamente. No obstante, algunos episodios destacables, se registran entre los años 1993-1996, 2004-2006 o 2015-2020, en los que se puede ver una inclinación al decrecimiento, mientras que entre 1999-2001 y 2009-2013, se registran aumentos. Respecto del comportamiento general, la serie promedio indica una leve alza, aunque la inclinación positiva de la pendiente es poco apreciable.

b) Biomasa

La biomasa, otro parámetro de gran importancia en los ecosistemas marinos, corresponde al segundo parámetro analizado a partir del modelo GOBH y su evolución temporal, es apreciable en la Figura. 5.33.

A partir de la figura, se puede notar que las concentraciones varían mayoritariamente desde los 16 mg/m³, por el extremo inferior, hasta los ~175 mg/m³, por el lado superior, salvo algunas excepciones destacables, como las de los años 1993, 1994, 2012 y 2016, que superan el umbral de los 200 mg/m³.

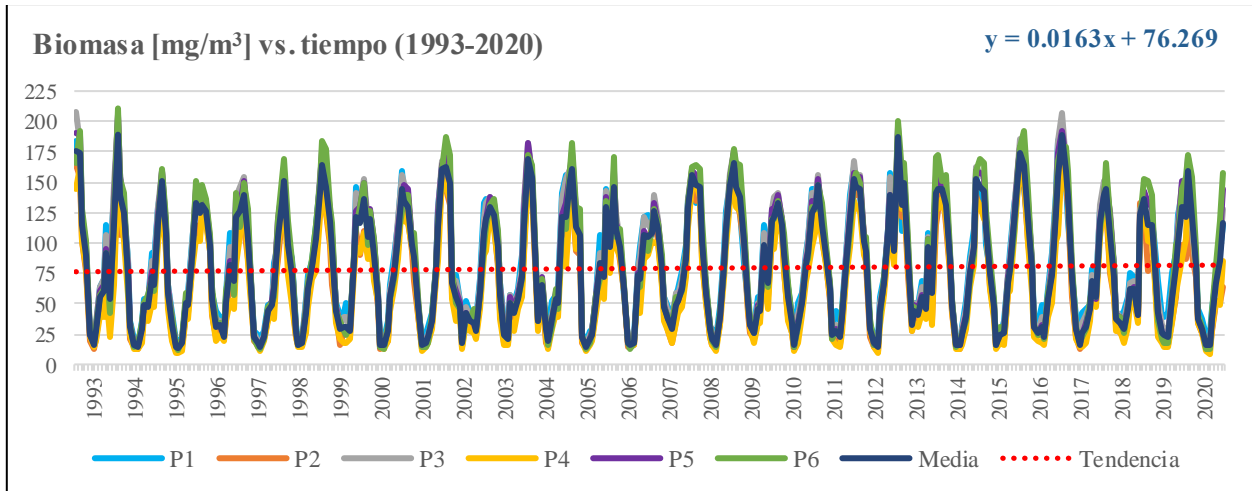


Figura. 5.33 Biomasa [mg/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Respecto de la evolución de la variable, se pueden identificar algunos momentos destacables, tales como 1993-1995, 2003-2006 o 2016-2019, en los que se registran patrones de decrecimiento, o los periodos 1995-1998, 2009-2012 o 2013-2016, en los que se constata un comportamiento contrario. En cuanto a la inclinación general, la ecuación de la recta indica una leve alza, de pendiente positiva suavemente inclinada.

c) Fitoplancton

En tercer lugar, se encuentra la concentración de fitoplancton, cuya presencia, es fundamental en el desarrollo de los ecosistemas marinos. A diferencia de los parámetros anteriores, en este caso, las concentraciones son expresadas en milimoles por metro cúbico (mmol/m³), y su representación se muestra en la gráfica de la Figura. 5.34.

A partir de la figura, se advierte un patrón oscilatorio, relativamente estable, con concentraciones mínimas del orden de los 2.5 mmol/m³, mientras que sus valores máximos, bordean mayormente el umbral de los 17.5 mmol/m³ aproximadamente. En cuanto a periodos destacables, se cuentan aquellos comprendidos entre 1993-1996, 2003-2006 y 2016-2019, durante los que se aprecia un patrón proclive al descenso de fitoplancton, mientras que entre 1996-1999 y 2009-2016, la variable tiende a aumentar.

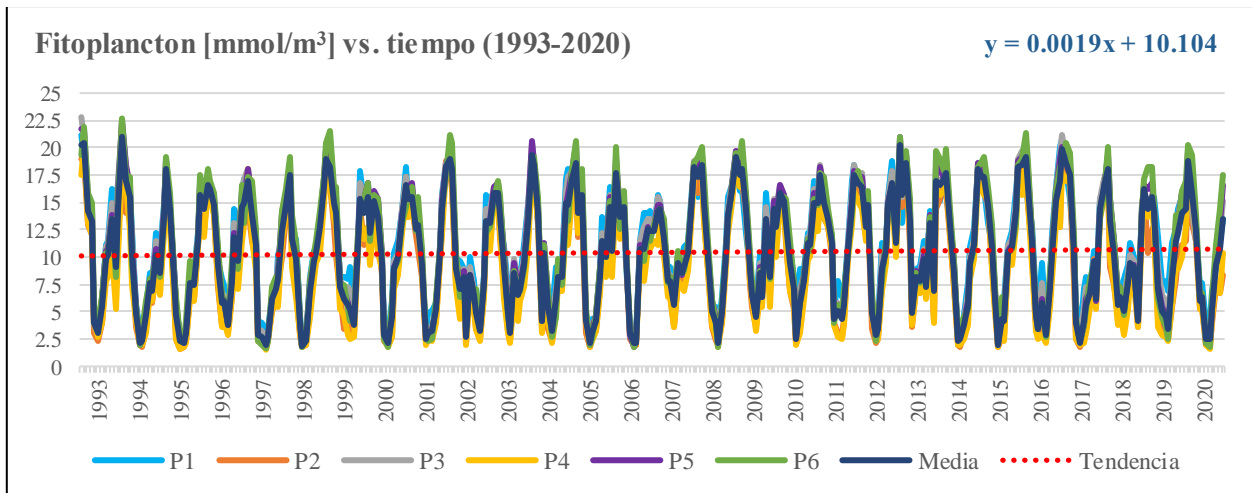


Figura. 5.34 Fitoplancton [mmol/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Por su parte, y de forma muy similar a como sucedía en los casos de la clorofila y la biomasa, la tendencia general se encuentra marcada por una leve pendiente positiva, que denotaría un alza en las concentraciones de esta variable.

d) Sílice

La sílice es otro componente que puede encontrarse en los océanos, de forma suspendida, en pequeñas partículas de arcilla o arena o por presencia de organismos como diatomeas. Su representación, se muestra en la Figura. 5.35.

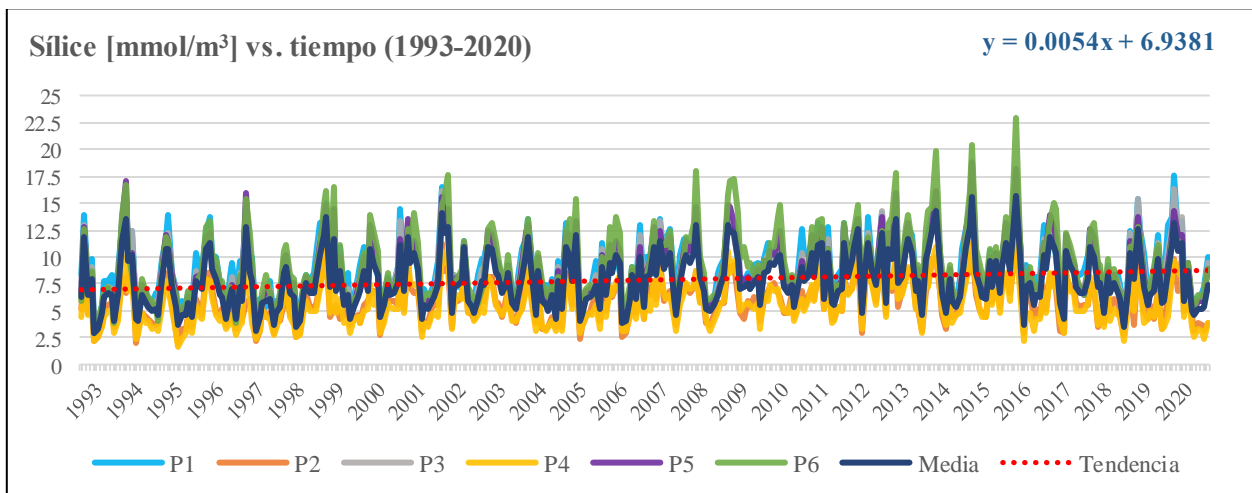


Figura. 5.35 Sílice [mmol/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Sobre su comportamiento, a partir de la figura, se puede notar que los patrones de evolución de todos los puntos son similares entre sí, aunque destacan particularmente aquellos correspondientes

a los puntos 2, 4, por abarcar mayormente las concentraciones mínimas en el orden de los 2.5-5 mmol/m³, y, por otro lado, la serie del punto 6, que posee los registros más elevados, con valores que, en reiteradas ocasiones, sobrepasan los 15 mmol/m³, incluso con una máxima de 23 mmol/m³ aproximadamente. En cuanto a periodos destacables, cabe mencionar principalmente, aquel comprendido entre los años 2010-2016, que exhibe una progresiva inclinación hacia el aumento en las concentraciones de sílice. Por su parte, la serie de valores medios, marcada por una suave pendiente positiva, denota una proclividad al alza.

e) Nitrato

Respecto de las concentraciones de nitrato a partir de los datos extraídos del modelo GOBH y cuya representación gráfica se muestra en la Figura. 5.36, se puede notar una clara tendencia general hacia el incremento de la variable, con una pendiente apreciablemente más inclinada, respecto de los casos analizados previamente.

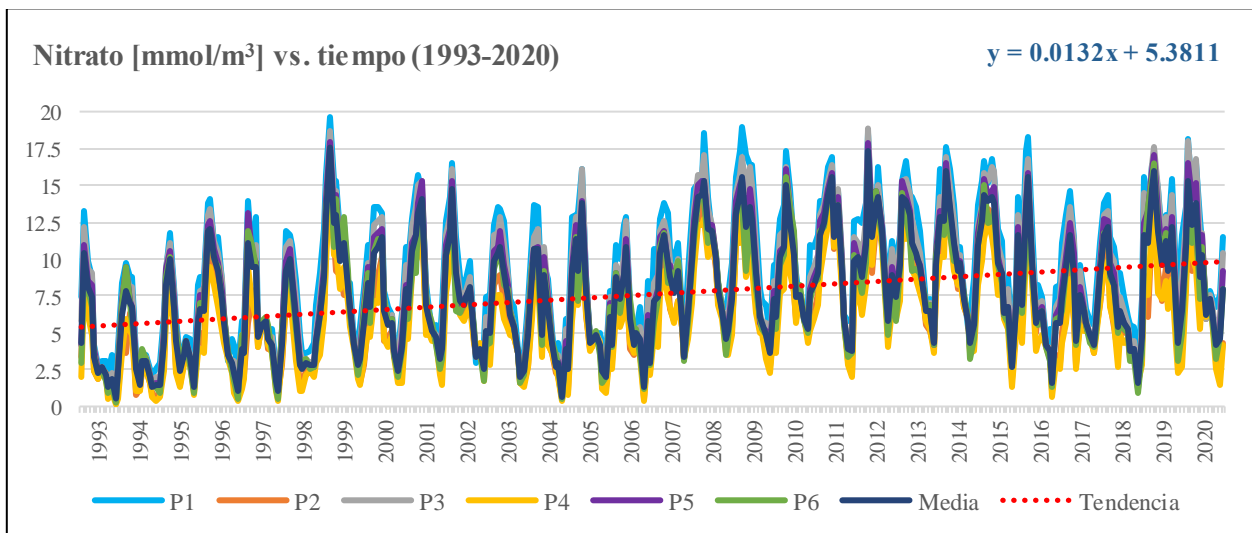


Figura. 5.36 Nitrato [mmol/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

No obstante, al revisar con mayor detención la figura, se logran identificar un par de periodos destacables, tales son los casos de 1998-2004, que manifiesta una inclinación al descenso de las concentraciones de nitrato y el periodo 2007-2015 aproximadamente, caracterizado por una considerable estabilidad. Respecto de los valores máximos, resaltan particularmente los años, 1998 y 2012, ambos con valores promedio por sobre el umbral de los 17.5 mmol/m³.

f) Fosfato

El caso del fosfato, cuyas concentraciones en el tiempo se representan en la gráfica de la Figura. 5.37, también exhibe una evolución marcada por una inclinación hacia el aumento, tal como se puede observar en la línea de tendencia.

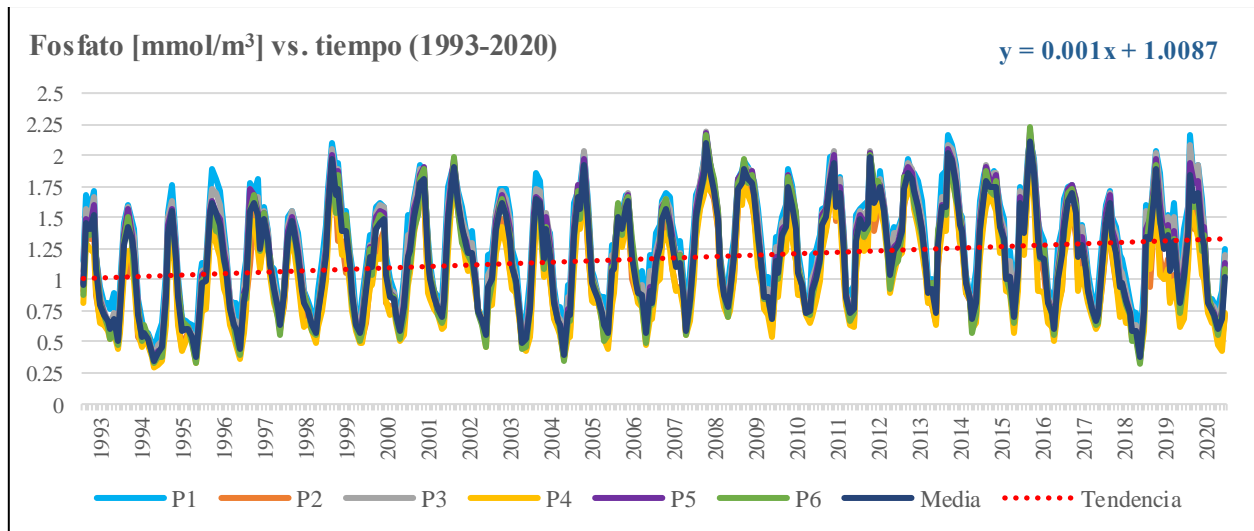


Figura. 5.37 Fosfato [mmol/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

En general, los valores oscilan entre los 0.5-1.75 mmol/m³ aproximadamente, y se aprecian patrones muy semejantes entre las series temporales de todos los puntos. En cuanto a valores extremos, destacan por el lado inferior, aquellos registrados en 1994 y 2018, ambos muy cercanos al umbral de los 0.25 mmol/m³, mientras que, en el caso de las cifras máximas, tanto 2007 como 2015, alcanzan valores muy próximos a los 2.25 mmol/m³.

g) Hierro

La séptima variable revisada, corresponde a las concentraciones de hierro, también expresada en milimoles por metro cúbico (mmol/m³) y representada en la Figura. 5.38.

A partir de la figura, se advierte inmediatamente, una mayor heterogeneidad entre las series temporales de los puntos, diferenciándose de este modo del comportamiento habitual de las variables anteriormente descritas. Además, en este caso, la evolución general, se encuentra marcada por una muy leve propensión al descenso en los valores de la variable, tal como lo indica la pendiente negativa y respectiva línea de tendencia.

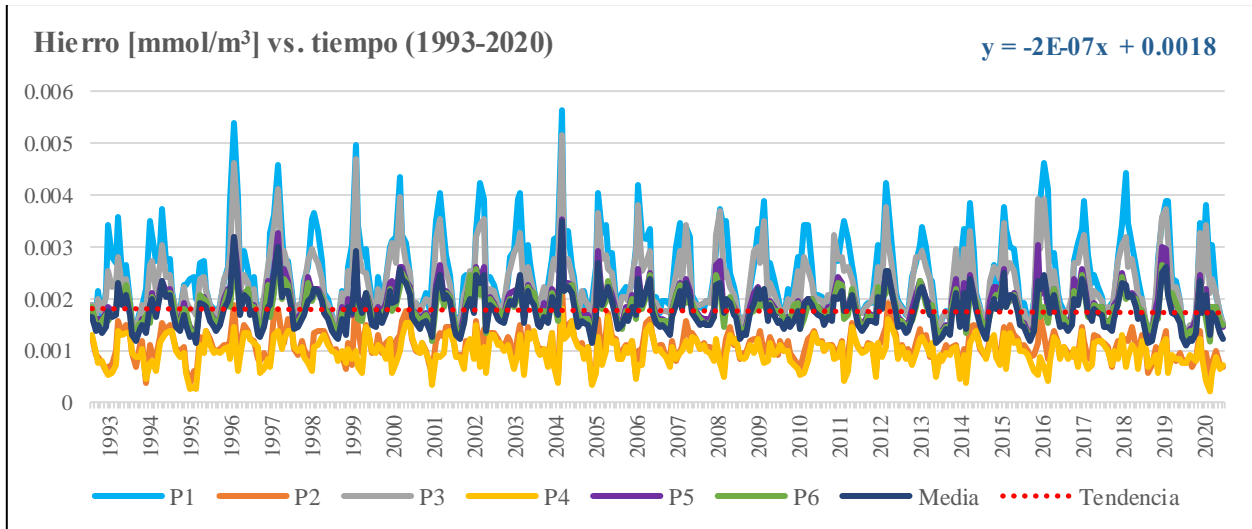


Figura. 5.38 Hierro [mmol/m^3] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Por otra parte, se puede notar que las cifras mínimas se encuentran registradas en las series de los puntos 2 y 4, cuyo comportamiento es considerablemente similar, con cifras mayormente bajo los 0.002 mmol/m^3 , mientras que, tanto P5 como P6, se encuentran más próximos al promedio, y los puntos 3 y 6, registran las mayores cifras, con instantes destacables como 1996 que supera los 0.004 mmol/m^3 o el año 2004, con el registro más alto, superior a los 0.005 mmol/m^3 .

h) Oxígeno disuelto

En cuanto al oxígeno disuelto, representado en la gráfica de la Figura. 5.39, se puede notar que, de forma similar a como sucedía con el hierro, el comportamiento general de la variable se encuentra marcado por una leve tendencia hacia el descenso de sus concentraciones, aunque en este caso, la pendiente es levemente más pronunciada.

Respecto de sus patrones de evolución, la totalidad de los puntos describen series similares y cercanas al promedio, aunque al observar con más detención, se logra apreciar que los puntos 1, 3 y 5 abarcan mayormente los valores mínimos, con concentraciones que, en reiteradas ocasiones, se encuentran por debajo de los 210 mmol/m^3 . Por su parte, la serie del punto 6 alcanza las cifras máximas, entre las que destacan los años 1995, 2010 y 2012, en los que se superan los 290 mmol/m^3 .

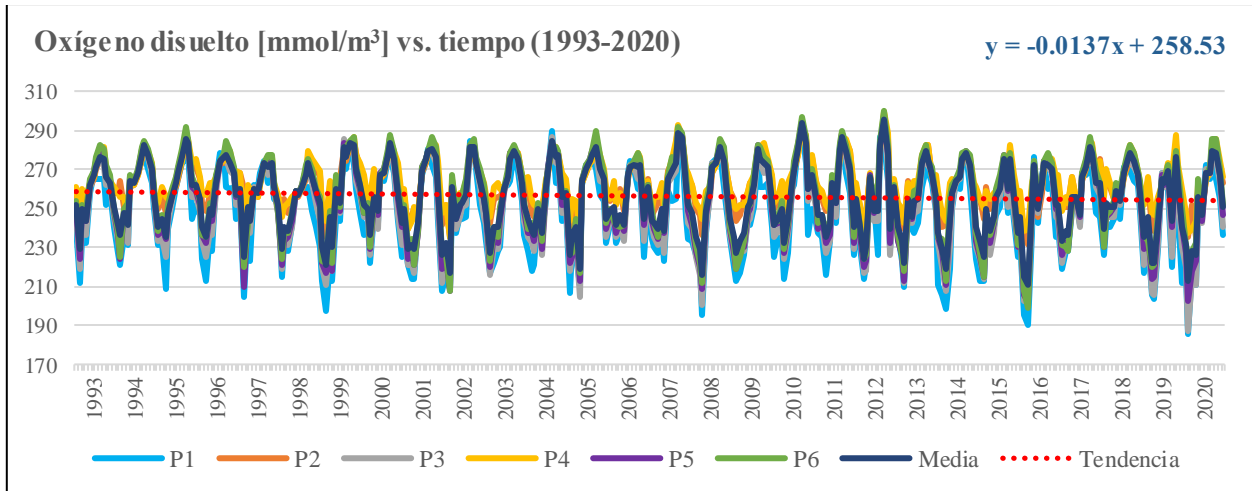


Figura. 5.39 Oxígeno disuelto [mmol/m³] para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

i) pH

Por último, se presenta la gráfica de la Figura. 5.40, que muestra la evolución temporal del pH a partir de los datos extraídos del modelo GOBH.

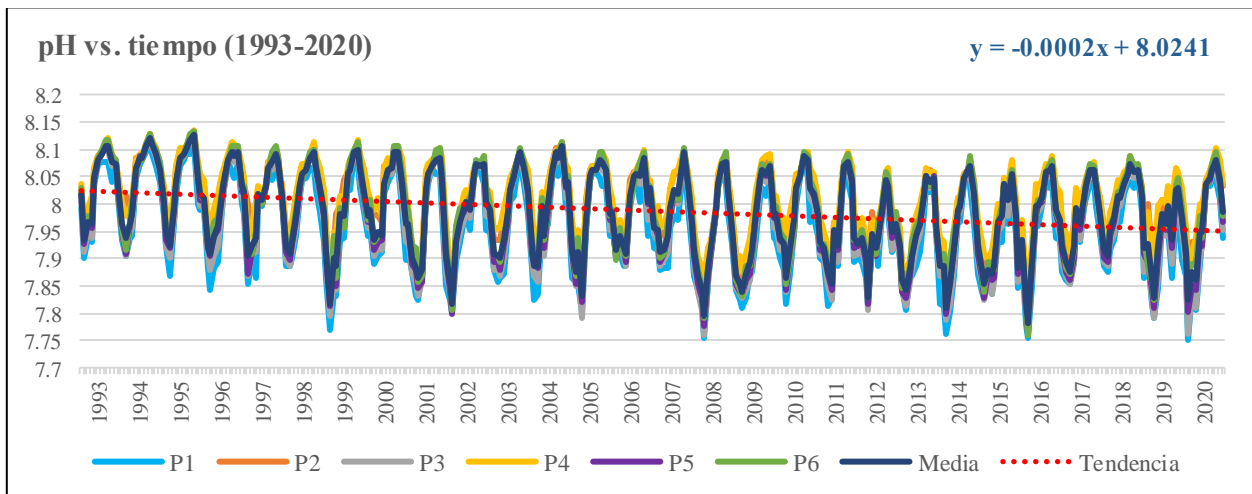


Figura. 5.40 pH para el periodo 1993-2020. Elaborado a partir de los datos de Copernicus Marine Service.

Al respecto, se puede notar una clara propensión al descenso de la variable, tal como lo indica la pendiente negativa, moderadamente pronunciada, denotando de esta manera una acidificación del agua de mar en el periodo 1993-2020, no obstante, las cifras aún se encuentran dentro del rango alcalino. Entre los valores mínimos, destacan principalmente los años 1998, 2008, 2013, 2015 y 2019, momentos que alcanzaron en algún punto, valores de pH inferiores a 7.8. Por su parte, las cifras máximas nunca superan el umbral de pH 8.15.

5.2.3 Parámetros edafológicos

Los parámetros edafológicos, vale decir, aquellos que refieren a los suelos o guardan estrecha relación con ellos, se han abordado mediante análisis, tanto a partir de datos tomados en terreno, como de datos derivados de imágenes satelitales y bibliografía.

En primer lugar, se presentan los resultados de las mediciones de pH del suelo, a partir de muestras recolectadas en terreno en la comuna de Lebu, que posteriormente fueron llevadas a laboratorio para su análisis. A partir de esta experiencia, se derivan gráficas y un cuadro comparativo entre las diferentes metodologías aplicadas. Además, se elabora un mapa con la distribución de las muestras y su respectiva clasificación, siguiendo la escala de pH del United States Department of Agriculture (USDA).

Luego, se revisa la evolución y cambios a través del tiempo en las coberturas boscosas dentro del área de estudio, para el periodo 2001-2019. Para ello, se han empleado las capas vectoriales de los catastros de uso de suelos de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), cuya información ha sido reprocesada y filtrada a través de ArcGIS Pro.

En tercer lugar, se realiza una revisión de la evolución espacio-temporal de tres índices espectrales: el índice de diferencia de vegetación normalizada (NDVI), el índice de diferencia de humedad normalizada (NDMI) y finalmente, el índice de temperatura superficial terrestre (LST), todos, derivados de cálculos aritméticos y combinaciones de bandas de imágenes satelitales.

Por último, se aborda la erosión de los suelos en el área de estudio, a través de la ecuación universal de pérdida de suelo, comúnmente conocida como USLE por sus siglas en inglés, la cual corresponde a un método aproximativo simple para la evaluación de riesgo de erosión actual y potencial en cuencas hidrográficas.

De lo anterior, cabe señalar que los procedimientos seguidos para el análisis de pH del suelo, cálculo de índices espectrales y cálculo de factores para la ecuación USLE, fueron detallados con anterioridad en el capítulo 4 de metodología (ver pág. 70).

5.2.3.1 Análisis del pH del suelo

Debido a la escasa información referida al pH de los suelos en el área de estudio, es que se optó por realizar un acotado análisis de este parámetro, a través del muestreo en diferentes puntos del territorio de la comuna de Lebu, a fin de construir una nueva base de datos con información actualizada. El mapa de la Figura. 5.41 muestra la distribución de los puntos donde fueron recogidas las muestras durante las actividades de terreno.

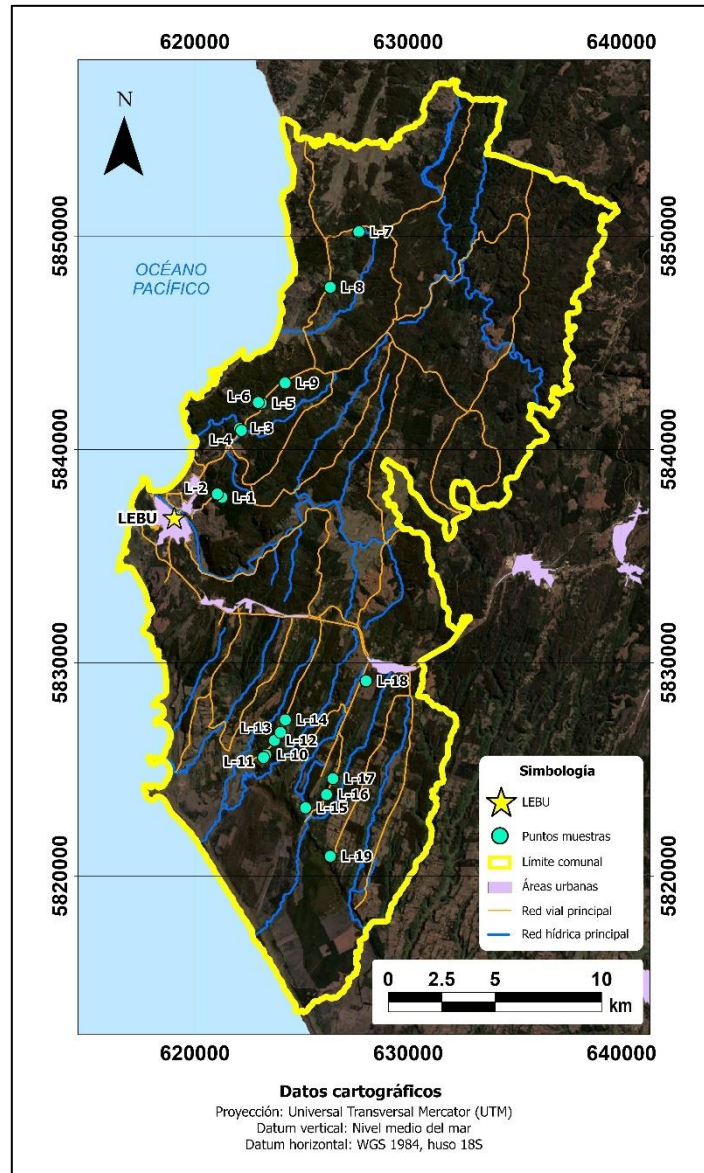


Figura. 5.41 Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de suelo visitados en terreno. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la figura recién citada, la recolección de muestras se llevó cabo fundamentalmente en los sectores norte y sur de la comuna, con un total de 9 y 10 muestras en cada área respectivamente.

Por otra parte, durante el transcurso de las labores de terreno, además de la colecta de las muestras, medición *in situ* del pH e identificación del uso de suelo actual, se llevó a cabo una observación general de las características del lugar, y se identificaron algunas especies presentes. Estas informaciones fueron recopiladas e integradas en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12 Muestras recogidas en terreno con su respectivo uso de suelo, especies reconocidas y observaciones del lugar. Fuente: Elaboración propia.

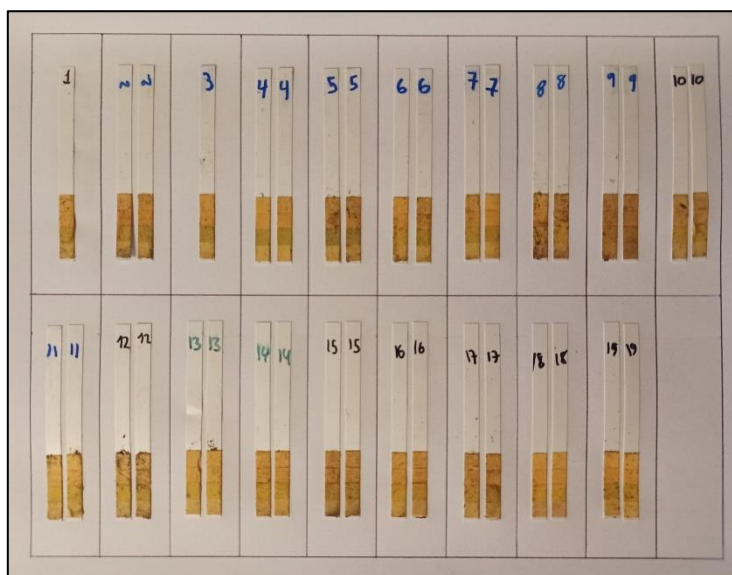
Muestra	Zona de recolección aproximada	Uso de suelo	Algunas especies reconocidas	Observaciones
L-1	Las Lianas	Nativo	Pitra (<i>Myrceugenia exsucca</i>); Olivillo (<i>Aextoxicon punctatum</i>); Naranjillo (<i>Citronella mucronata</i>); Tiaca (<i>Caldcluvia paniculata</i>); Lingue (<i>Persea lingue</i>); Laurel (<i>Laurelia sempervirens</i>); Tineo (<i>Weinmannia trichosperma</i>)	Área de bosque denso bastante prístina. Suelo húmedo y semicompacto, con abundantes raíces. Gran presencia de hojarasca de diversas especies.
L-2	Al N de Las Lianas	Plantaciones monocultivo	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>); Cardo común (<i>Cirsium vulgare</i>)	Suelo compacto con baja humedad. Presencia de hojarasca de eucalipto. Presencia de cardos en los alrededores.
L-3	Huellaco	Nativo	Peumo (<i>Cryptocarya alba</i>); Quillay (<i>Quillaja saponaria</i>); Litre (<i>Lithraea caustica</i>)	Límite entre bosque nativo y bosque mixto. Suelo relativamente húmedo, con raíces.
L-4	Huellaco	Praderas y matorrales	---	Zona con abundantes matorrales.
L-5	Huellaco	Plantaciones monocultivo	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Área afectada por incendio forestal, se observa vegetación y suelo quemados.
L-6	Huellaco	Bosque mixto	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>); Avellano chileno (<i>Gevuina avellana</i>); Zarzaparrilla (<i>Cissus striata</i>); Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	Se observa área de bosque mixto, difiere del uso indicado capa referencial CONAF 2019 (Monocultivo).
L-7	Villarrica	Terreno uso agrícola	Tabaco del diablo (<i>Lobelia tupa</i>); Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	Suelo de coloración pardo anaranjado, compacto y con poca humedad.
L-8	Villarrica	Terreno uso agrícola	Tabaco del diablo (<i>Lobelia tupa</i>)	Suelo de coloración pardo anaranjado, compacto y con poca humedad.
L-9	Huellaco	Plantaciones monocultivo	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Abundante hojarasca de eucalipto. Suelo compacto con abundantes raíces.

L-10	Morhuilla	Plantaciones monocultivo	Eucalearpto (<i>Eucalyptus globulus</i>); Lupino (<i>Lupinus sp.</i>); Cardo común (<i>Cirsium vulgare</i>); Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	Área de plantación joven (renovales). Suelo compacto y duro, de granulometría muy fina (arcillosa) y coloración pardo gris a café claro.
L-11	Morhuilla	Nativo	Cardo común (<i>Cirsium vulgare</i>); Zarzaparrilla (<i>Cissus striata</i>); Espinillo (<i>Ulex europaeus</i>)	Suelo bastante esponjado y húmedo, con pocas raíces.
L-12	Morhuilla	Plantaciones monocultivo	Eucalearpto (<i>Eucalyptus globulus</i>); Maqui (<i>Aristotelia chilensis</i>)	Suelo fino y compacto, con pocas raíces. En los alrededores hay hongos semicirculares y radiales de color blanco, pero no se identifica claramente la especie.
L-13	Morhuilla	Terreno uso agrícola	Diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>)	Suelo compacto y fino rodeado de pastizales densos.
L-14	Morhuilla	Nativo	---	Suelo semicompacto, de granulometría fina y relativamente húmedo. Ramas de árboles cubiertas por plantas trepadoras, pero no identificadas claramente.
L-15	Catriboli - Yeneco	Praderas y matorrales	Chilco (<i>Fuchsia magellanica</i>); Nalca (<i>Gunnera tinctoria</i>)	Suelo semicompacto, de granulometría fina y coloración pardo claro con tintes anaranjados. Área rodeada por abundantes matorrales y nalcas.
L-16	Catriboli - Yeneco	Plantaciones monocultivo	Zarzamora (<i>Rubus ulmifolius</i>); Cardo común (<i>Cirsium vulgare</i>); Eucalearpto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Área de plantación mayoritariamente joven (renovales). Suelo semicompacto, de granulometría muy fina (arcillosa) y coloración pardo anaranjado.
L-17	Catriboli - Yeneco	Terreno uso agrícola	---	Suelo compacto y fino rodeado de pastizales densos.
L-18	Laguna Pehuén	Nativo	Boldo (<i>Peumus boldus</i>); Arrayán (<i>Luma apiculata</i>)	Área con abundante hojarasca. Suelo bastante húmedo, de color pardo pálido a grisáceo.
L-19	Colhue	Nativo	Chupones (<i>Greigia sphacelata</i>); Arrayán (<i>Luma apiculata</i>)	Bosque nativo denso. Suelo semicompacto, de color café oscuro con abundantes raíces.

A partir de este cuadro se puede constatar en primer lugar, cómo la mayor parte de los usos de suelo actuales coinciden con el uso indicado en la capa vectorial utilizada como base, siendo la única excepción, el suelo de la muestra L-6, recolectada en Huellaco, donde se observó un área de bosque mixto, con reconocible presencia de especies nativas como avellano chileno (*Gevuina avellana*) en conjunto con árboles de plantación forestal, particularmente eucaliptos (*Eucalyptus globulus*). Lo anterior, puede hallar fácil explicación, dado que el material de referencia: el Catastro de usos de suelos de la Región del Biobío, extraído de CONAF, es del año 2019, correspondiendo a información considerablemente reciente.

Por otro lado, resulta destacable la abundante presencia de diversas especies de flora nativa en los puntos visitados, tales como Maqui (*Aristotelia chilensis*), Boldo (*Peumus boldus*); Arrayán (*Luma apiculata*), entre otras, las que han sido ampliamente reconocidas como comunes de recolección silvestre por parte de las comunidades locales.

En cuanto al análisis de pH en las muestras de suelo, la primera metodología empleada, consistió en la medición *in situ*, mediante tiras indicadoras de pH marca MERCK (Fotografía 5.1).



Fotografía 5.1 Tiras indicadoras de pH MERCK utilizadas en las mediciones de terreno.

Posteriormente, se procedió con la aplicación de dos metodologías de análisis en laboratorio, una primera medición en muestra aún húmeda, y luego, una segunda medición en muestra seca. La Tabla 5.13 recoge los resultados obtenidos de las mediciones de acuerdo con las tres metodologías empleadas.

Tabla 5.13 Valores de pH en las muestras de suelo recopiladas, de acuerdo a las tres metodologías empleadas. pH 1 y pH 2 (Terreno); pH-metro 1 (Análisis #1 en muestra húmeda) y pH-metro 2 (Análisis #2 en muestra seca). Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Uso de suelo	TERRENO		MASA (g)			ANÁLISIS #1 (Muestra húmeda)		ANÁLISIS #2 (Muestra seca)		Error x
		pH 1	pH 2	Muestra húmeda	Muestra seca	%	pH-metro 1	T °C	pH-metro 2	T °C	
L-1	Nativo	4,50	-	478,14	452,46	5,37	5,53	23,3	5,07	22,4	0,46
L-2	Plantaciones forestales	5,00	5,00	463,00	427,03	7,77	5,73	23,4	5,26	23,9	0,47

L-3	Nativo	5,50	-	486,31	457,43	5,94	7,15	23,9	6,95	23,2	0,20
L-4	Praderas y matorrales	5,00	5,00	449,10	430,08	4,24	5,28	24,1	5,14	23,4	0,14
L-5	Plantaciones forestales	7,00	7,00	416,86	393,45	5,62	6,93	24,0	6,66	23,2	0,27
L-6	Bosque mixto	5,00	5,00	443,71	414,94	6,48	5,13	23,7	5,08	23,4	0,05
L-7	Terreno uso agrícola	5,00	5,00	600,73	577,41	3,88	4,64	24,4	4,63	23,0	0,01
L-8	Terreno uso agrícola	4,50	5,00	550,88	527,79	4,19	4,58	24,5	4,46	23,7	0,12
L-9	Plantaciones forestales	5,00	5,00	481,23	448,77	6,75	6,18	24,6	6,23	23,2	0,05
L-10	Plantaciones forestales	5,00	5,00	465,22	441,24	5,15	5,65	24,5	5,45	23,2	0,20
L-11	Nativo	5,00	5,00	457,07	432,22	5,44	5,67	24,2	5,5	23,1	0,17
L-12	Plantaciones forestales	5,00	5,00	533,40	511,02	4,20	5,55	25,1	5,29	22,9	0,26
L-13	Terreno uso agrícola	5,00	5,00	518,67	497,63	4,06	5,36	25,8	5,22	22,9	0,14
L-14	Nativo	5,00	5,00	485,73	454,71	6,39	5,14	24,4	5,01	23,6	0,13
L-15	Praderas y matorrales	5,50	5,00	529,54	507,61	4,14	6,12	25,5	6,02	24,1	0,10
L-16	Plantaciones forestales	5,00	5,00	535,49	508,57	5,03	5,2	25,4	5,02	23,4	0,18
L-17	Terreno uso agrícola	5,00	5,00	481,71	466,08	3,24	5,15	25,4	5,2	23,8	0,05
L-18	Nativo	5,00	4,50	494,87	457,69	7,51	4,56	25,3	4,26	22,6	0,30
L-19	Nativo	5,00	5,50	535,65	509,61	4,86	6,2	25,2	6,01	23,4	0,19

A partir del cuadro anterior, en primer lugar, se puede señalar que la diferencia de masas entre muestra húmeda y muestra seca es inferior al 10% en la totalidad de las muestras, constatando que los tiempos transcurridos entre la aplicación de ambas metodologías fueron válidos y prudentes para el desarrollo del análisis.

Por otro lado, al comparar los valores obtenidos de las tres metodologías se advierte que, aunque gran parte de las mediciones de terreno se muestran levemente más ácidas que sus contrapartes de laboratorio, los valores se ajustan considerablemente bien a las mediciones con pH-metro, aunque se identifican algunas excepciones con valores un poco más disímiles, como las muestras L-1, L-3, L-9, L-19 y L-18, donde las primeras cuatro, muestran un incremento del pH, es decir, una alcalinización de las muestras y la última exhibe una pequeña disminución, es decir, una leve acidificación. Adicionalmente, al examinar el tipo de uso de suelo en cada muestra, es posible señalar que, la mayor parte de las muestras procedentes de bosque nativo, oscilan entre un rango de pH 4 a 6, salvo la muestra L-3 y L-19 que registraron un pH de 7.15 y 6.2 en sus respectivas mediciones de laboratorio en muestra húmeda. Por su parte, las muestras correspondientes a suelos de plantaciones forestales se encuentran en el rango de 5 a 6, con excepción de las muestras L-5 y

L-6, ambas con registros de $\text{pH} > 6$. En este punto, cabe destacar que la muestra L-5 fue recogida en un terreno donde se observó la acción de un incendio forestal reciente al momento del terreno, lo cual pudo influir en el resultado de su medición. Continuando con el resto de muestras; L-6, correspondiente a la muestra de bosque mixto, posee la menor diferencia de todas entre las mediciones realizadas y marca un valor de $\text{pH} \sim 5$ en todos los casos. En cuarto lugar, referente a las muestras extraídas de suelos de praderas y matorrales, estas corresponden a L-4 y L-15, ambas se encuentran en el rango de $\text{pH} 5-6$ y se observa que la última de estas, muestra mayor heterogeneidad entre sus mediciones. Por último, las muestras L-7, L-8, L-13 y L-17, corresponden a suelos de terrenos de uso agrícola y se ubican en el rango de $\text{pH} 4-5.5$ aproximadamente; en particular, las primeras dos muestras exhiben una pequeña acidificación con respecto a sus mediciones de terreno, mientras que las últimas dos, se comportan de manera contraria, con un leve incremento de su pH .

Lo anteriormente descrito, puede notarse con mayor facilidad y claridad al examinar visualmente la información, tal como se observa en los gráficos de las Figuras 5.42 y 5.43.

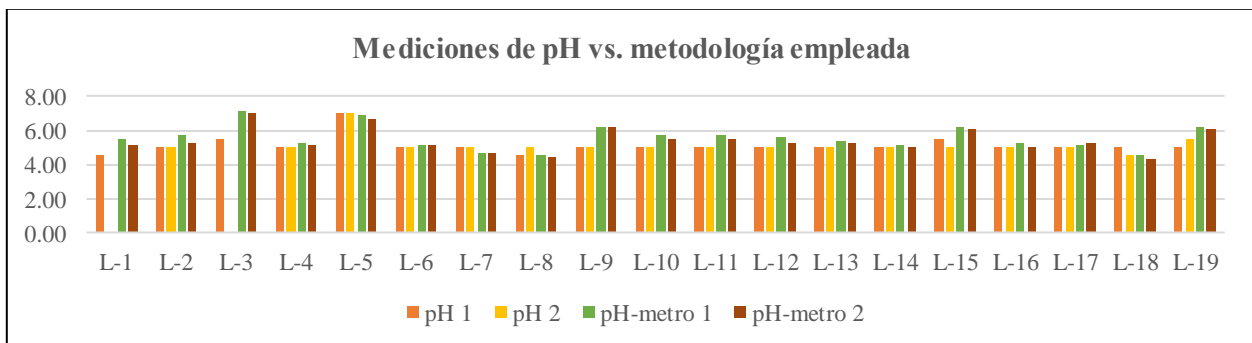


Figura. 5.42 Mediciones de pH vs. las tres metodologías empleadas en el análisis. En pH 1 y pH 2 (Terreno); pH-metro 1 (Análisis #1 en muestra húmeda) y pH-metro 2 (Análisis #2 en muestra seca). Fuente: Elaboración propia.

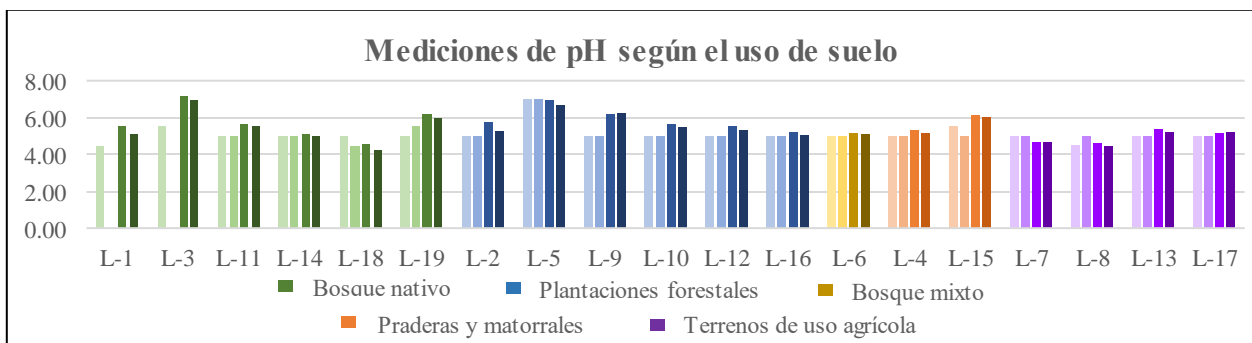


Figura. 5.43 Mediciones de pH según el uso de suelo. Barras de izquierda a derecha: pH 1 y pH 2 (Terreno); pH-metro 1 (Análisis #1 en muestra húmeda) y pH-metro 2 (Análisis #2 en muestra seca). Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente a los análisis de laboratorio, se compilaron los resultados de estas dos pruebas y se determinó el rango correspondiente de cada muestra de acuerdo con la escala de pH para suelos propuesta por la USDA (Tabla 5.14). De acuerdo a esta clasificación se elaboraron los mapas de la Figura. 5.44.

Tabla 5.14 Escala de pH para suelos. Modificado de USDA (1998).

Denominación	Rango de pH	
Ultra ácido	< 3,5	
Extremadamente ácido	3,5–4,4	
Muy fuertemente ácido	4,5–5,0	
Fuertemente ácido	5,1–5,5	
Moderadamente ácido	5,6–6,0	
Ligeramente ácido	6,1–6,5	
Neutro	6,6–7,3	
Ligeramente alcalino	7,4–7,8	
Moderadamente alcalino	7,9–8,4	
Fuertemente alcalino	8,5–9,0	
Muy fuertemente alcalino	> 9,0	

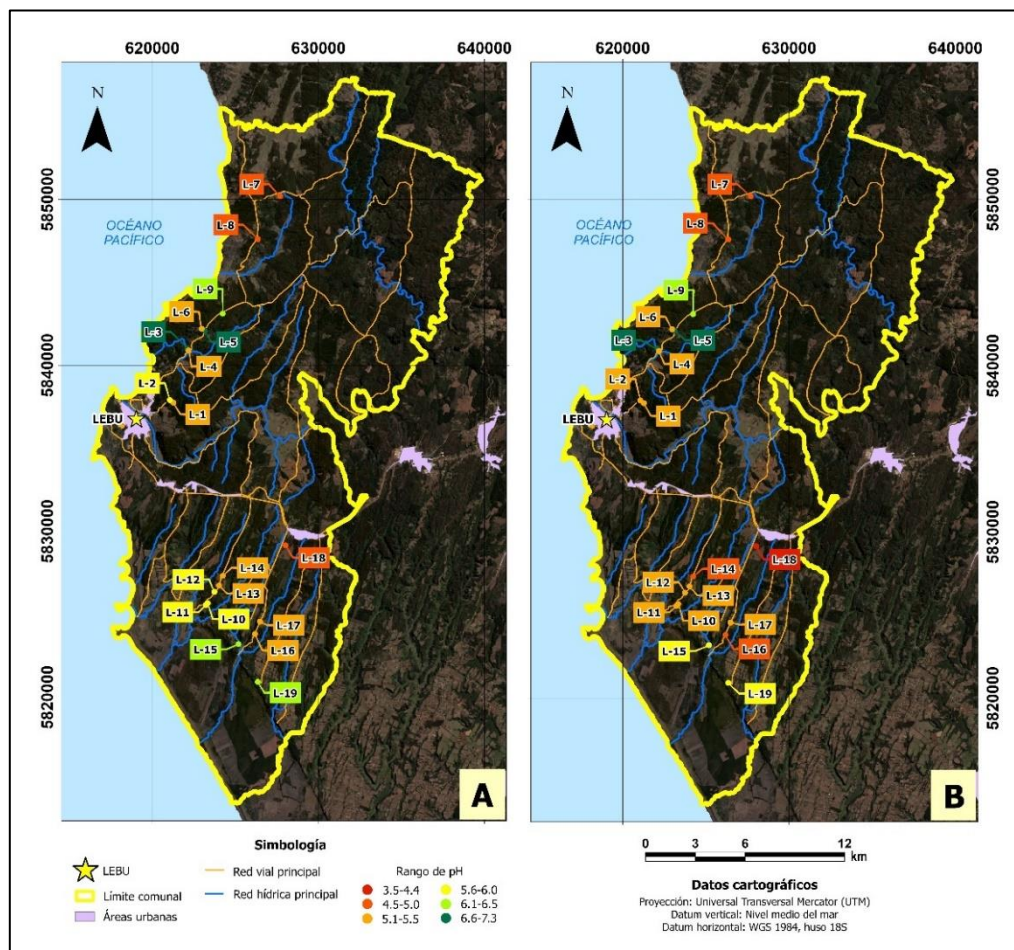


Figura. 5.44 Mapas de los rangos de pH a partir de los resultados de los análisis de laboratorio. En A) análisis #1 – muestra húmeda y en B) análisis #2 – muestra seca.

A partir de la figura anterior, se advierte que la mayor parte de las muestras se encuentran en un rango de pH 4.5-6.5, lo que las ubica en las denominaciones que van desde “muy fuertemente ácido” a “ligeramente ácido”, con sólo dos muestras (L-3 y L-5) que alcanzan el rango de pH “neutro” de acuerdo a la escala empleada. Por otra parte, se aprecia cómo en el sector norte de la comuna, casi la totalidad de las muestras no sufrieron variación en su rango de pH de una medición a la otra, salvo la muestra L-2, que mostró una leve disminución, cambiando de “moderadamente ácido” a “fuertemente ácido”. Mientras tanto, en el sector sur de Lebu, la variación es más notoria, donde 8 de las 10 muestras recolectadas cambiaron de denominación, experimentando una leve acidificación, a saber, L-10, L-11 y L-12, cambiaron de “moderadamente ácido” a “fuertemente ácido”; L-14 y L-16, pasaron de “fuertemente ácido” a “muy fuertemente ácido”, L-15 y L-19, de “ligeramente ácido” a “moderadamente ácido”, y L-18, que disminuyó de “fuertemente ácido” a “extremadamente ácido”, alcanzando la denominación más baja entre todas las muestras.

5.2.3.2 Cambio de uso de suelos

El segundo parámetro considerado refiere al uso de los suelos en el área de estudio, para lo cual, se sometió a revisión, la evolución temporal de la cobertura de bosques, vale decir, áreas ocupadas por bosque nativo, plantaciones forestales y bosque mixto, esto, debido a la preponderancia que tienen este tipo de usos en el área de estudio. De esta manera, mediante el reprocesamiento y filtración de la información contenida en los diferentes catastros de usos de suelo extraídos de CONAF, se elaboró el mapa multitemporal de evolución de la cobertura boscosa, para el periodo 2001-2019, cuyo resultado se puede observar en la Figura. 5.45.

A partir de la figura, se puede apreciar que entre 2001-2019, la cobertura boscosa en el área de estudio ha experimentado cambios más bien sutiles, donde la evolución de los terrenos ocupados por bosque nativo y mixto no son fácil o claramente detectables, siendo las plantaciones forestales, el mayor contraste distinguible, advirtiéndose una extensión territorial mayor. Lo anterior, es posible de identificar, por un lado, hacia el sector norte del área de estudio, concretamente en la subcuenca del Río Quiapo, donde se aprecia un aumento del área cubierta por predios forestales y, de la misma forma, hacia el lado sur, en la subcuenca Costeras entre Río Lebu y Estero Ranquilco, donde el incremento se hace incluso más evidente.

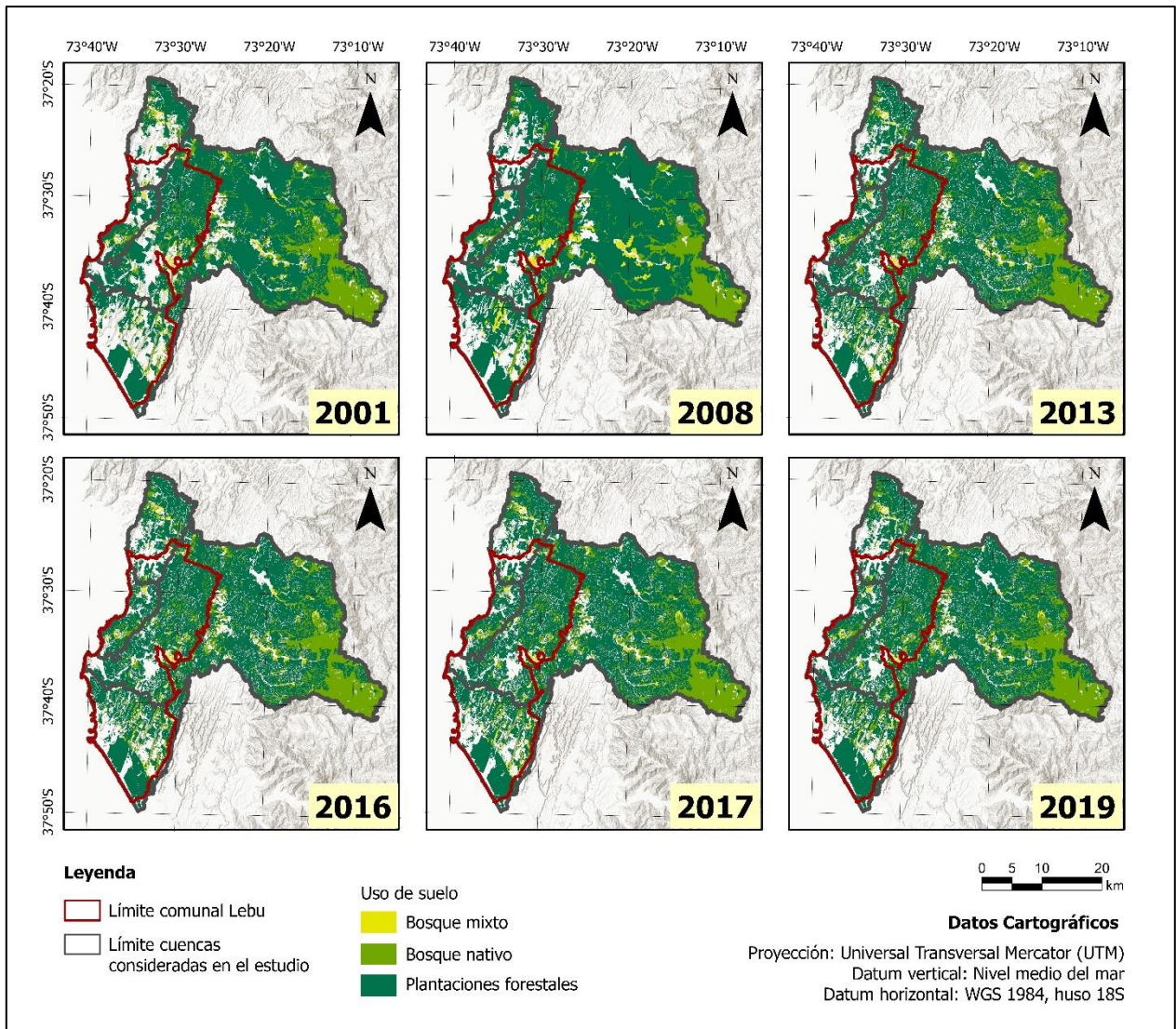


Figura. 5.45 Mapa de coberturas boscosas en el área de estudio, para el periodo 2001-2019. Elaborado a partir de capas vectoriales de CONAF.

Por otro lado, al examinar la información por medio de gráficas de barras, se observa con mayor claridad la evolución completa. La Figura. 5.46, presenta el avance de las diferentes coberturas de suelos boscosos en el periodo considerado. Al respecto, inmediatamente destaca el año 2008, cuyo comportamiento se muestra completamente anómalo, con cifras notablemente superiores al resto de los datos. Esto, podría estar ocasionado por diferentes razones, tales como errores de medición o sobreestimación en el catastro de suelos de dicho año. Sin embargo, al observar con mayor detención la gráfica, es posible notar que proporcionalmente, la altura de las barras se asemeja de manera considerable al comportamiento de otros años, lo cual denota coherencia en el conjunto de

datos del periodo. Además, la distribución geográfica de las coberturas boscosas en 2008, también se aproxima bastante al resto de años como se observa en la Figura. 5.45.

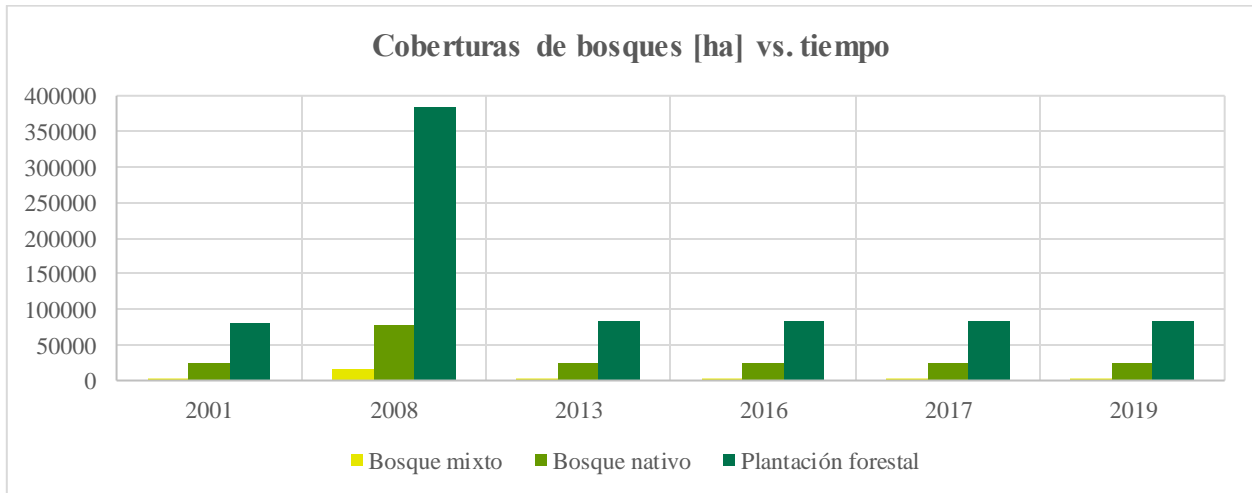


Figura. 5.46 Coberturas boscosas en el área de estudio expresadas en hectáreas vs. tiempo, para el periodo 2001-2019. Elaborado a partir de capas vectoriales de CONAF.

Teniendo en consideración lo anteriormente descrito, es posible reexaminar la evolución temporal de las coberturas de suelos boscosos expresadas esta vez en porcentajes, tal como se muestra en la Figura. 5.47. A partir de esta nueva gráfica, la visualización de la información resulta mucho más clara y se constata que, tal como se advertía en la Figura. 5.45 los cambios de estos tipos de uso de suelo, han experimentado variaciones leves en el periodo considerado, donde el mayor contraste se observa en un incremento de la superficie de plantaciones forestales desde 2001 a 2019.

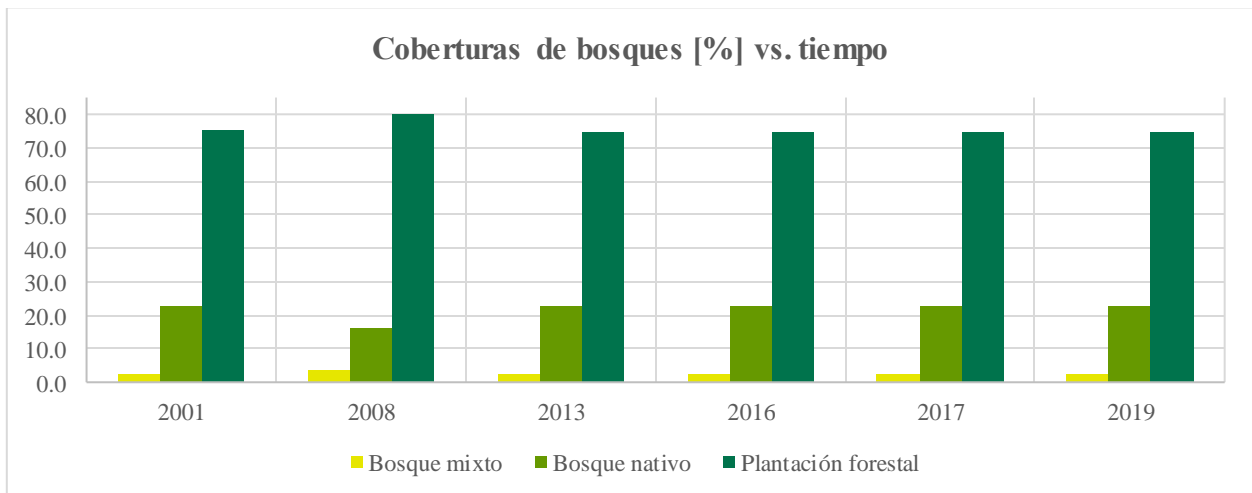


Figura. 5.47 Coberturas boscosas en el área de estudio expresadas en porcentajes vs. tiempo, para el periodo 2001-2019. Elaborado a partir de capas vectoriales de CONAF.

5.2.3.3 Índices espectrales

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El primero de los índices espectrales analizados permite distinguir zonas con presencia de vegetación verde y caracterizar su distribución espacial. La Figura. 5.48 presenta el mapa multitemporal, resultado del procesamiento de imágenes satelitales en época de verano en el periodo 1986-2022.

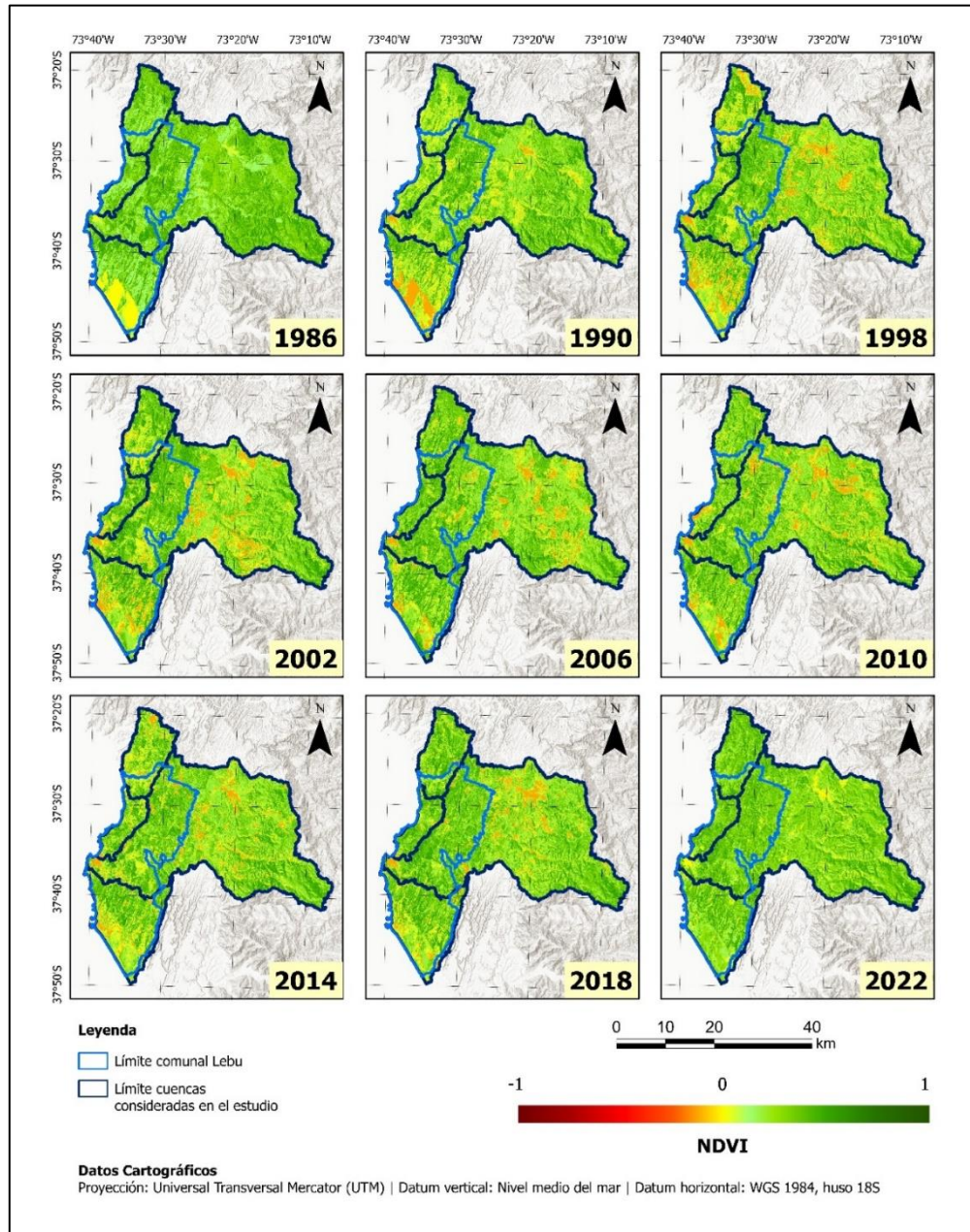


Figura. 5.48 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el área de estudio para el periodo 1986-2022. Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura anterior, cabe señalar en primer lugar, que la representación de 1994 no fue posible, dado que no se encontraron imágenes disponibles para ese año. Por otra parte, al examinar la evolución del parámetro, se advierte cómo desde 1986 hasta 2022, las variaciones han sido en general sutiles, con leve aumento de NDVI, el cual durante todo el periodo considerado, oscila entre tonalidades anaranjadas-amarillas, por su extremo inferior, transitando hacia coloraciones verdosas pálidas a moderadas, en el extremo superior de la escala de colores, lo cual se refleja concretamente en valores en un rango de -0.15 a 0.6, es decir áreas con escasa vegetación hasta áreas con vegetación moderada a densa.

Pese a lo anterior, al observar más detenidamente la Figura. 5.48, es posible distinguir algunos cambios significativos, por ejemplo, en el periodo 1986-1998 sucede una disminución de zonas vegetadas, marcada por el incremento de áreas anaranjadas, sobre todo hacia el flanco NE de la cuenca del río Lebu. También se logra apreciar el aumento de áreas de vegetación entre 2002-2022 en las subcuencas del río Quiapo (sector norte) y Costeras entre río Lebu y estero Ranquilco (sector sur), de manera similar a como se observó en el mapa de usos de suelos boscosos en el subcapítulo anterior.

Adicionalmente, se presenta la gráfica de la Figura. 5.49, la cual resume el comportamiento del parámetro y permite constatar la leve tendencia de aumento en el área de estudio, tal como lo muestran los valores medios de NDVI.

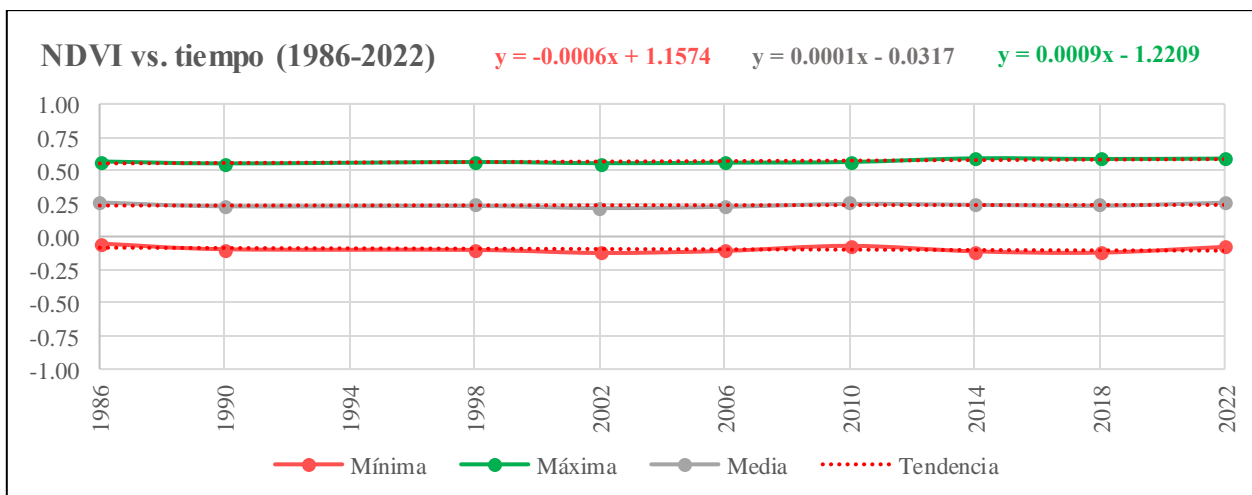


Figura. 5.49 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) vs. tiempo en el área de estudio, para el periodo 1986-2022. Fuente: elaboración propia.

Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI)

El segundo índice considerado, correspondiente al NDMI, permite analizar el contenido de humedad y monitorear el grado de estrés hídrico en zonas vegetadas. La Figura. 5.50 presenta el mapa multitemporal de este parámetro, resultado del procesamiento de imágenes satelitales en época de verano en el periodo 1986-2022.

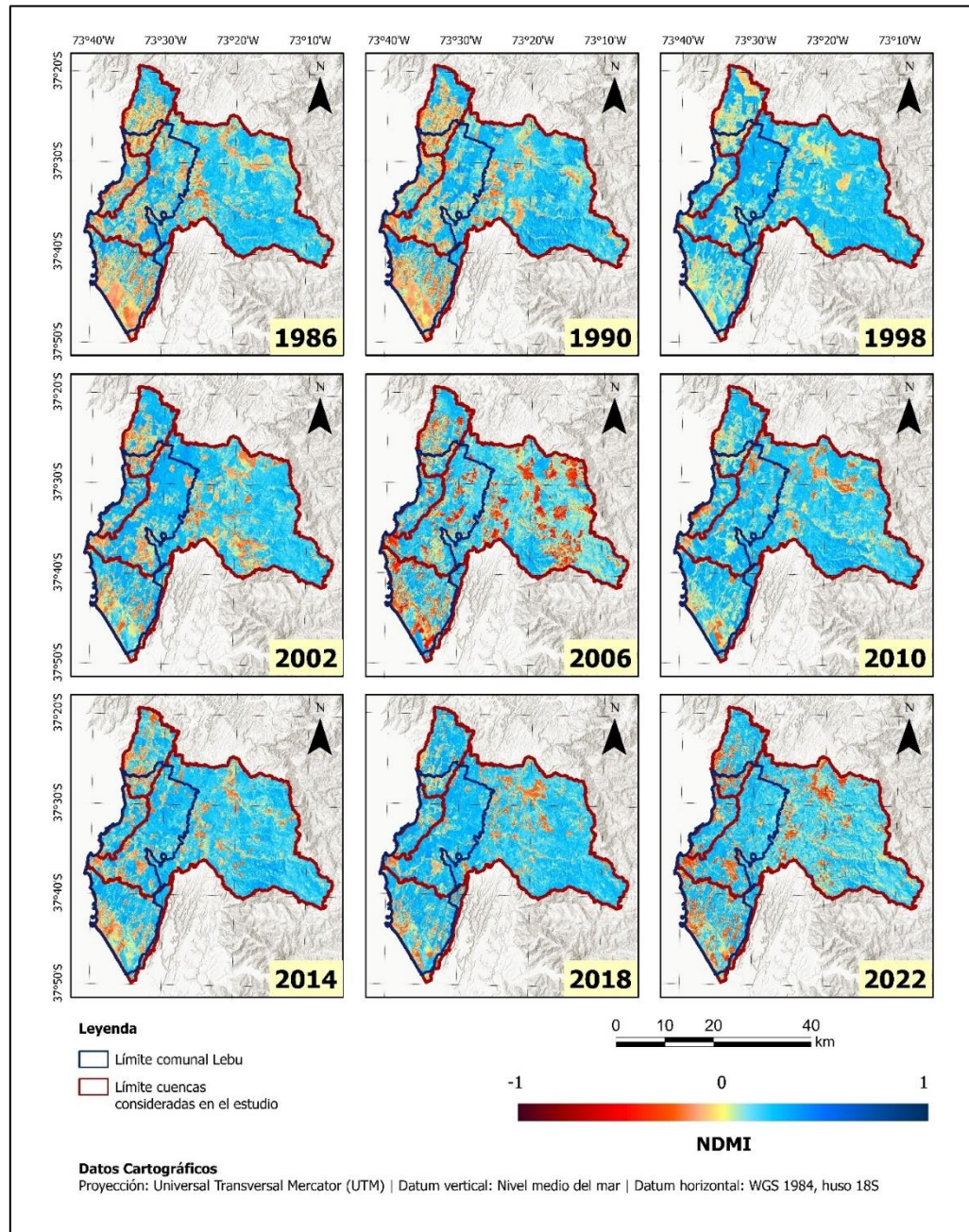


Figura. 5.50 Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) en el área de estudio para el periodo 1986-2022. Fuente: elaboración propia.

En primer lugar, cabe señalar que, tal como sucedía en el caso del NDVI, la representación de 1994 no fue posible, dada la no disponibilidad de imágenes satelitales para ese año.

Respecto de la evolución del parámetro, se aprecia en general, que los registros de NDMI se mueven desde tonalidades rojas-anaranjadas por el lado inferior, hasta coloraciones celestes, por el lado superior, aproximadamente en el sector central de la escala de color, lo que equivale concretamente a un rango de valores entre -0.51 y 0.43. Lo anterior, indicaría por un lado zonas con contenido de humedad moderada, pero alto estrés hídrico (valores ≤ 0) mientras que, aquellas áreas con cifras positivas, denotan mayor humedad y menos afectación por estrés hídrico.

Al observar con mayor detención la Figura. 5.50, se logra distinguir que 1990 posee los valores más altos de NDMI, focalizados mayormente hacia el flanco oriental de la subcuenca del río Lebu, donde pasa de tonos celestes a azules. Sin embargo, este mismo año, se encuentra entre aquellos con mayor superficie de zonas anaranjadas, junto a 1986 y 2006, siendo este último, el año con los valores más bajos y, por tanto, con mayor estrés hídrico. Por otra parte, también es posible notar una disminución de áreas rojizas desde 2002-2022 (con excepción de 2006), lo cual puede hallar explicación en el aumento de uso de suelos boscosos, por el aumento de predios forestales en los últimos 20 años. Finalmente, la gráfica de la Figura. 5.51, resume el comportamiento del parámetro y permite constatar una atenuada tendencia hacia el decrecimiento de NDMI en el área de estudio, reflejada en la baja pendiente negativa de sus valores medios.

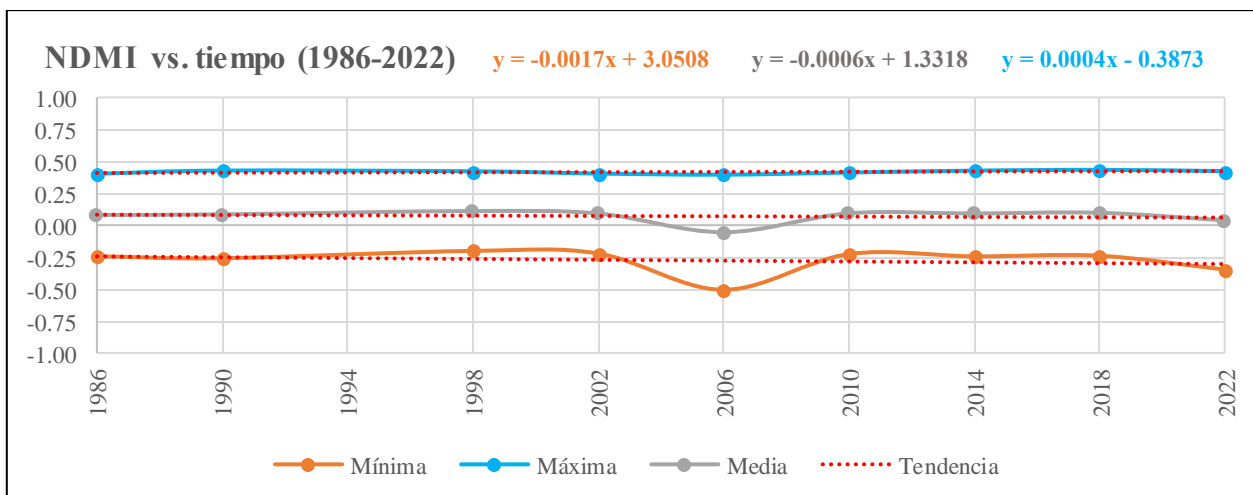


Figura. 5.51 Índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI) vs. tiempo en el área de estudio, para el periodo 1986-2022. Fuente: elaboración propia.

Temperatura superficial terrestre (LST)

El tercer y último de los índices espectrales analizados, corresponde al LST, el cual permite realizar una revisión de las temperaturas radiativas del suelo en el área de estudio. La Figura. 5.52 presenta el mapa multitemporal obtenido para este parámetro, a partir del procesamiento de imágenes satelitales en época de verano en el periodo 1986-2022.

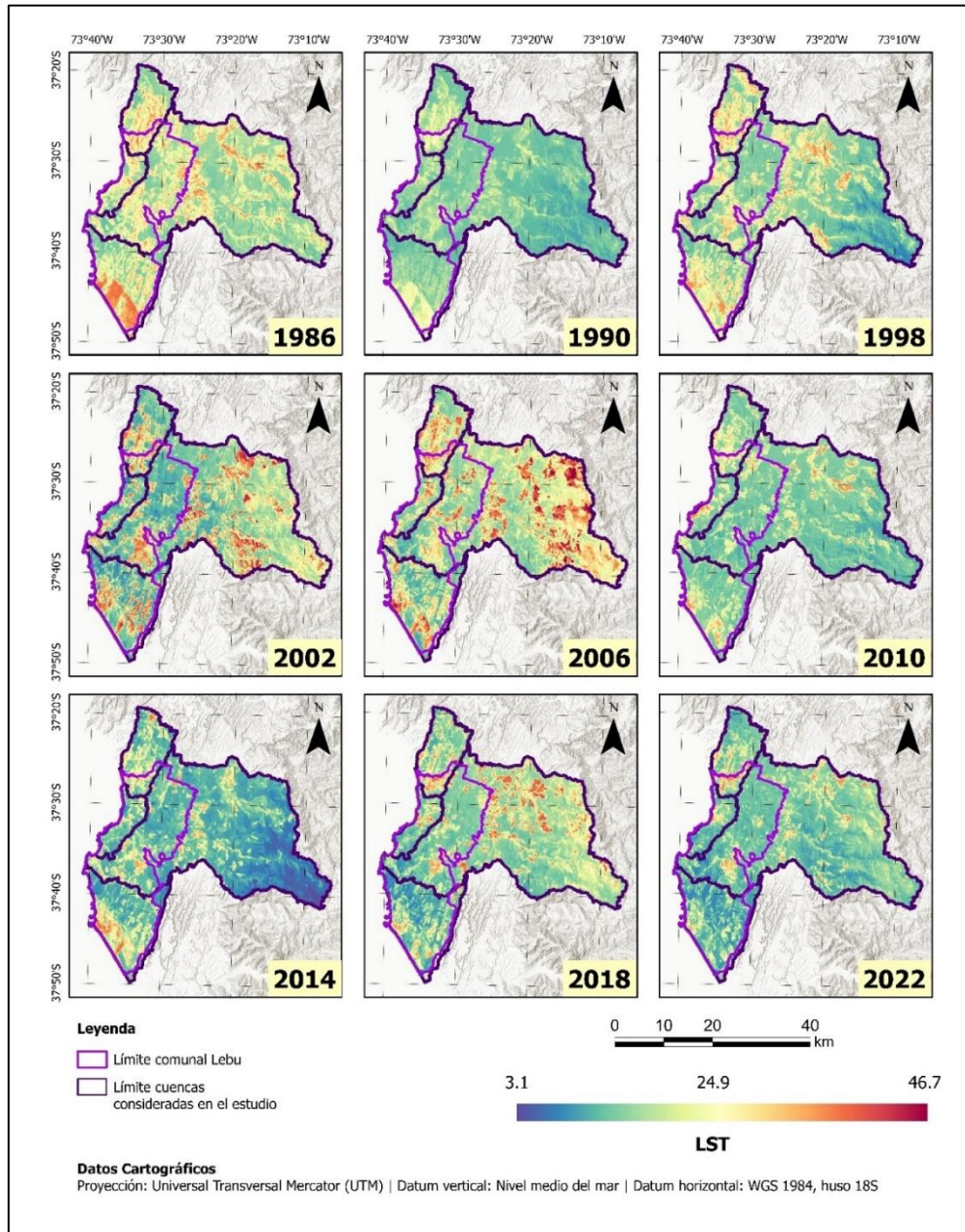


Figura. 5.52 Índice de temperatura superficial terrestre (LST) en el área de estudio, para el periodo 1986-2022. Fuente: elaboración propia.

Ante todo, cabe mencionar que, tal como sucedía en el caso de los índices espectrales anteriormente descritos, la representación de 1994 tampoco fue posible para este caso.

En relación con la evolución espacio-temporal del parámetro, a partir de la Figura. 5.52, es posible notar que, en general, no se aprecia una tendencia clara, aunque algunos momentos sí resultan destacables; tal es el caso del año 2006, que registra los valores más altos, sobre todo hacia el sector NE de la subcuenca del río Lebu, con tonos anaranjados a rojizos, que reflejan temperaturas por sobre los 45°C. Por su parte, el periodo 2014-2022, ha registrado valores, moderados a bajos, con coloraciones azules a turquesa pálido, equivalentes a temperaturas aproximadamente menores a los 15°C. Lo anterior, podría estar relacionado nuevamente, al hecho de que, en los últimos años, la cobertura boscosa ha visto un incremento, debido en gran medida, al auge de los predios forestales.

Por último, se presenta la gráfica de LST vs. tiempo, tal como lo muestra la Figura. 5.53, donde es posible notar que el comportamiento de la variable en el periodo 1986-2022 ha sido considerablemente heterogéneo, aunque, de acuerdo con el patrón de sus valores medios, la tendencia lineal, denota una tenue disminución de la temperatura superficial terrestre.

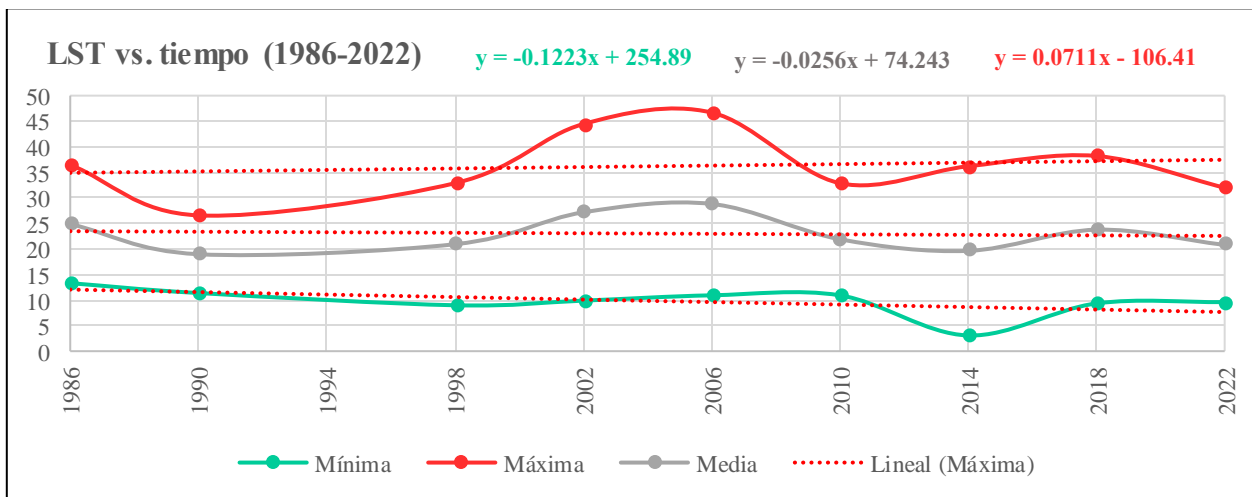


Figura. 5.53 Índice de temperatura superficial terrestre (LST) vs. tiempo en el área de estudio, para el periodo 1986-2022. Fuente: elaboración propia.

Correlación entre índices espectrales

Una vez presentados los resultados particulares de cada índice espectral, se procedió a evaluar la correspondencia que tales parámetros guardan entre ellos. Para este ejercicio comparativo, se analizaron las tendencias LST vs. NDVI, LST vs. NDMI y NDVI vs. NDMI, en dicho orden y para los años 1986, 2006 y 2022 del periodo considerado, tal como se observa en los gráficos de la Figura. 5.54.



Figura. 5.54 Correlación LST-NDVI, LST-NDMI y NDVI-NDMI para los años 1986, 2006 y 2022. Fuente: elaboración propia.

A partir de la figura anterior, es posible notar, por un lado, una correlación lineal negativa de NDVI y NDMI con respecto a LST, observándose que, a mayores valores de los primeros dos parámetros, el LST tiende a ser menor o, dicho de otro modo, mientras más vegetación y más humedad (menos estrés hídrico), la temperatura del suelo se inclina a cifras más bajas. Por su parte, el mejor ajuste de datos se observa al correlacionar NDVI con NDMI, mostrando una relación lineal positiva, vale decir, a mayores valores de NDVI, también crece el NDMI o, dicho de otra forma, a mayor presencia de vegetación, también tiende a disminuir el estrés hídrico en el área de estudio.

5.2.3.4 Erosión hídrica actual y potencial

El último parámetro edafológico analizado, corresponde a la erosión hídrica de los suelos, vale decir, aquella que se encuentra estrechamente relacionada a la influencia de las precipitaciones sobre un área determinada. Para ello, tal como se señalaba al comienzo del subcapítulo, se ha realizado el ejercicio de evaluación de la erosión actual y potencial mediante el método de la ecuación universal de pérdida de suelos, comúnmente conocido como USLE por sus siglas en inglés.

La Figura. 5.55 presenta los mapas de erosión hídrica actual y potencial, obtenidos para el área de estudio, así como también, los mapas temáticos de cada uno de los parámetros empleados en el cálculo de la ecuación.

En primer lugar, respecto del factor de erosividad de la lluvia (R), se puede notar que la mayor erosividad se concentra hacia la zona central de la subcuenca del río Lebu y los valores más bajos están focalizados hacia el sector NW del área de estudio, concretamente en la subcuenca del río Quiapo. Aplicando una clasificación basada en Panagos et al. (2017) (Tabla 5.15), el factor R dentro del área de estudio podría ser clasificado como “ligeramente alto”, indicando una no despreciable influencia de las precipitaciones sobre la evolución de los suelos.

Tabla 5.15 Clasificación del factor de erosividad de la lluvia (R). Modificado de Panagos et al. (2017).

Nº	Rango de R [MJ*mm/ha*h]	Denominación
1	[0 – 100[Extremadamente bajo
2	[100 – 200[Muy bajo
3	[200 – 400[Bajo
4	[400 – 700[Ligeramente bajo
5	[700 – 1150[Normal
6	[1150 – 1700[Normal
7	[1700 – 3100[Ligeramente alto
8	[3100 – 5200[Alto
9	[5200 – 7400[Muy alto
10	≥7400	Extremadamente alto

Sobre el factor de erodabilidad del suelo (K), inmediatamente se advierte que la influencia de los suelos en el rango de 0.03 – 0.031 ton*h/MJ/cm delimitan una zona dentro del área de estudio que aporta notoriamente sobre el escenario de erosión tanto actual como potencial, otorgándoles denominaciones considerablemente menores que en el resto del territorio. Lo anterior, podría estar

vinculado, al hecho de que aquellos suelos corresponden fundamentalmente a suelos delgados (baja potencia) y de texturas franco arcillosas a limosas (granulometría fina).

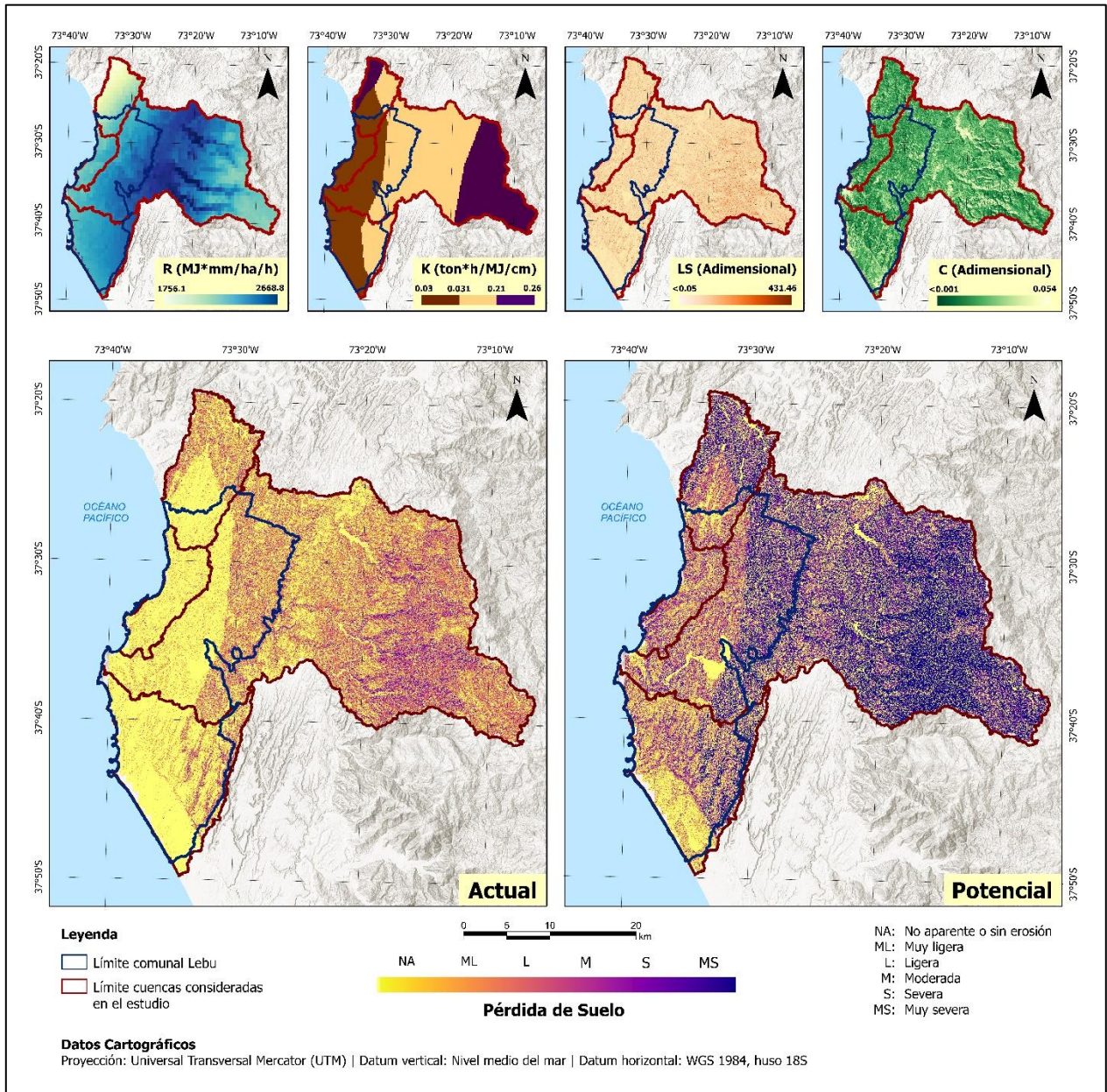


Figura. 5.55 Mapa de erosión hídrica actual y potencial en el área de estudio. Parte superior: mapas temáticos de los factores determinantes requeridos por la ecuación USLE, parte inferior: mapas de erosión hídrica actual (izquierda) y potencial (derecha). Fuente: elaboración propia.

Respecto del factor topográfico (LS), se advierte que la influencia de las pendientes sobre la erosión actual es relativamente baja, lo que se refleja en las tonalidades anaranjadas pálidas para la mayor parte del territorio, quedando aquellos valores más altos, relegados hacia el lado Este de la

subcuenca del río Lebu. Lo anterior puede hallar su explicación debido a las características del relieve del área de estudio, que corresponden mayormente a planicies costeras, caracterizadas por pendientes suavizadas y cerros que rondan tan sólo los ~230 m s. n. m., mientras que las mayores cumbres, emplazadas hacia el sector oriental en una franja NE-SW, pertenecen a la cordillera de Nahuelbuta que corresponde a su vez, a un dominio fisiográfico distinto.

En cuarto lugar, el factor de influencia de la cobertura vegetal (C), exhibe una notoria presencia dentro del área de estudio, manifestada por la predominancia de bosques tanto de plantaciones forestales como nativo. Al respecto, el comportamiento es similar a como sucedía con el índice NDVI, aunque en este caso, son los valores de C más bajos, cercanos a 0, aquellos que denotan áreas con abundante presencia de cobertura vegetal, mientras que los valores más altos marcan zonas descubiertas o desprovistas de vegetación.

El conjunto total de parámetros recién descritos, se interrelacionan a través de una operación multiplicativa, para dar como resultado la estimación de erosión hídrica actual y potencial, denominada factor A en ambas ocasiones, donde la diferencia capital entre ambas, viene marcada por la ausencia del factor C en el segundo caso, es decir, un escenario que supone que la cubierta vegetal ha desaparecido completamente. Lo anterior, resulta en dos mapas que denotan panoramas altamente contrastantes, tal como se puede apreciar en la Figura. 5.55. En este punto, cabe destacar que, aunque los mapas han sido clasificados cualitativamente, los rangos específicos, han sido elaborados basándose en los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las características propias del área de estudio, y los mismos se encuentran expresados en ton/ha*año como se muestra en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Clasificación propuesta de la erosión [ton/ha*año] en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Nº	Rango de erosión [ton/ha*año]	Denominación
1	<0,5	No aparente o sin erosión
2	0,5 – 1	Muy ligera
3	1 – 5	Ligera
4	5 – 10	Moderada
5	10 – 50	Severa
6	>50	Muy severa

Continuando con la descripción del factor A, en primer lugar, se observa que la erosión actual en el área de estudio oscila desde las denominaciones “no aparente o sin erosión” y “ligera” donde gran parte de la comuna de Lebu se encontraría poco afectada por procesos erosivos, hasta áreas que alcanzan el estatus de “moderada” a medida que se avanza hacia el este, transitando paulatinamente hacia un nuevo dominio fisiográfico, de elevaciones mayores y pendientes más pronunciadas (cordillera de Nahuelbuta).

En segundo lugar, ante un escenario hipotético, sin cobertura vegetal, la situación cambiaría notablemente, donde el riesgo de erosión pasaría de “moderado” a “severo” o “muy severo” en los casos más extremos. De la misma forma, también resulta notable cómo el área de la comuna de Lebu se vería drásticamente afectada, pasando de zonas prácticamente sin afectación aparente a erosiones “moderadas” a “severas”.

Finalmente, cabe resaltar que el cálculo de erosión hídrica actual y potencial por medio del método USLE, no queda exento de limitaciones, las que son discutidas en el capítulo 6 (ver pág. 200) y, por tanto, supone sólo una aproximación del escenario real, para cuya evaluación, se requeriría de datos actualizados y medidos en terreno, que, para el caso particular del presente trabajo, no fue posible obtener.

5.2.4 Parámetros hídricos

El cuarto grupo de parámetros considerados en este estudio corresponde a aquellos relacionados directamente con los recursos hídricos presentes en el área, tales como ríos, esteros, vertientes, lagos, lagunas, etc., cuyos datos han sido extraídos fundamentalmente desde los reportes estadísticos del repositorio de Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas, y del Registro Público de Derechos de Aprovechamientos de Aguas, ambos pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA).

Desde allí, se obtuvieron los reportes históricos sobre: caudales medios mensuales, derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) y calidad de aguas. Respecto de estas informaciones, para el área de estudio se cuenta con datos de caudales medios mensuales a partir de tres estaciones fluviométricas: Río Curanilahue, Estero Plegarias y Río Lebu y, en el caso de la calidad de las aguas, se registran cuatro estaciones: APR Plegarias, APR Santa Rosa de Lebu, APR Pehuén y Río Lebu, aunque lamentablemente, sólo esta última posee datos disponibles, por lo que el resto fueron descartadas. En la Tabla 5.17 se desglosa el detalle de las estaciones recién citadas y se destacan en negrita, aquellas consideradas para el análisis.

Tabla 5.17 Información principal de las estaciones fluviométricas registradas en el repositorio de estadísticas de la Dirección General de Aguas. Elaboración propia.

Nombre estación	Comuna	Base de Datos	Coordenadas	Rango temporal máximo	Información de interés	Información disponible
Río Curanilahue	Curanilahue	Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas (DGA)	37°28'48.00"S 73°20'24.00"W	2009-2021	Caudal medio mensual	
Estero Plegarias	Curanilahue		37°29'24.00"S 73°20'24.00"W	2009-2021	Caudal medio mensual	
APR Plegarias	Curanilahue		37°31'09.50"S 73°20'37.01"W	2018-2023	Calidad de aguas	Sin información disponible
Río Lebu	Los Álamos		37°36'20.18"S 73°29'52.89"W	1963-2022	Caudal medio mensual y calidad de aguas	
APR Santa Rosa de Lebu	Lebu		37°38'44.19"S 73°37'31.07"W	2018-2023	Calidad de aguas	Sin información disponible
APR Pehuén	Lebu		37°39'59.00"S 73°32'41.00"W	2018-2023	Calidad de aguas	Sin información disponible

Referido a los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA), en el portal web de la DGA, figuran archivos históricos separados por región, dentro de los cuales, es posible hallar el detalle

por comuna de las informaciones de los DAA subterráneos y superficiales. De lo anterior, se han extraído sólo aquellos datos referidos a DAA que se encuentran inscritos dentro de alguna de las subcuencas del área de estudio.

5.2.4.1 Caudal

En relación con los datos de caudales medios mensuales, en primer lugar, se presenta la evolución temporal de la variable en las estaciones Río Curanilahue y Estero Plegarias (Figura. 5.56), cuyo rango temporal abarca desde 2009 hasta 2021.

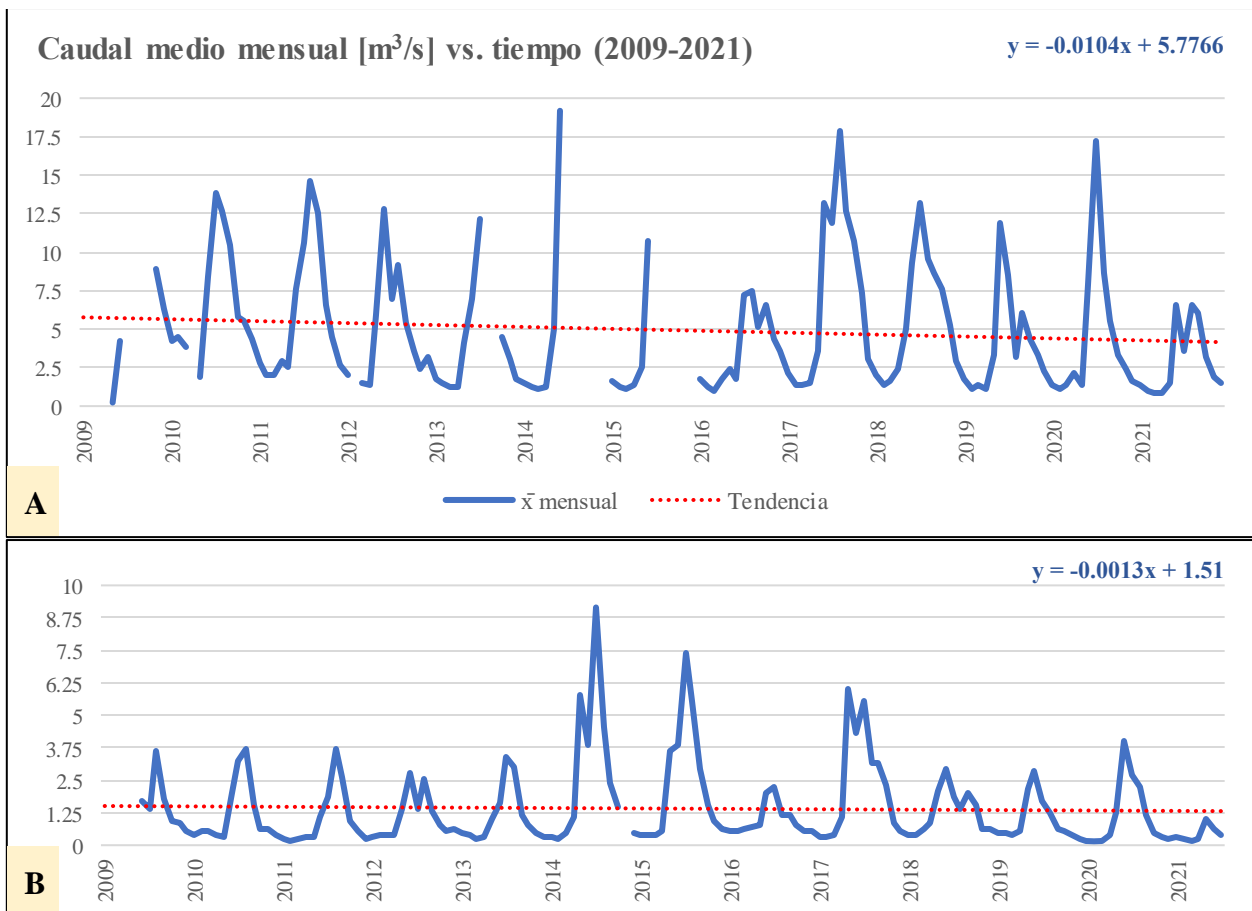


Figura. 5.56 Caudal medio mensual para el periodo 2009-2021. (A) Estación Río Curanilahue y B) Estación Estero Plegarias. Elaborado a partir de los datos de DGA.

A partir de la figura, se logra apreciar que tanto el río Curanilahue como el estero Plegarias han experimentado descenso de sus caudales, tal como lo indican sus respectivas líneas de tendencia, aunque la disminución se percibe con mayor claridad en el primer caso, cuya pendiente negativa es bastante más pronunciada. En línea con lo anterior, al comparar los periodos de caudal mínimo y máximo en años iniciales y terminales de las series de tiempo en ambas estaciones (Tabla 5.18),

se observa una diferencia general de más del 50% en el caso del río Curanilahue, mientras que, el estero Plegarias ha experimentado un notable decrecimiento del 53.1% en periodos de estiaje, pero un leve crecimiento del 8.1% en momentos de máximo caudal.

Tabla 5.18 Comparación entre caudales máximos y mínimos en años iniciales y terminales de las series de tiempo de las estaciones: Río Curanilahue y Estero Plegarias. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Estación	Caudal [m ³ /s]				Diferencia [%]	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
	2011		2021			
Río Curanilahue	2,05	14,61	0,79	6,58	61,5	55,0
	2010		2020			
Estero Plegarias	0,32	3,69	0,15	3,99	53,1	8,1

No obstante, si bien los patrones de evolución de la variable muestran una tendencia general hacia el descenso, el rango temporal en ambas estaciones es reducido (poco más de 10 años), y además se ve interrumpido (vacíos de información), sobre todo en el caso del río Curanilahue (Figura. 5.56a), lo cual afecta considerablemente la representatividad de los datos.

En segundo lugar, se cuenta con datos de caudal medio mensual del río Lebu para el periodo 1963-2022, tal como lo muestra la Figura. 5.57a. Al respecto, se advierte inmediatamente, una importante fragmentación de los datos, con vacíos de varios años en el registro histórico, siendo el periodo 1988-2014, el más extenso de todos, con 26 años de ausencia de información. Debido a lo anterior, se ha optado por adicionar gráficas parciales de los periodos 1963-1971, 1976-1988, 2014-2022 (Figuras 5.57b-d), las cuales agrupan la mayor cantidad de datos ininterrumpidos o cercanos en el tiempo y permiten un análisis más detallado de la evolución de la variable.

Respecto del comportamiento general del caudal del río Lebu, pese a las carencias en el registro, se puede constatar una baja significativa en sus cifras, observándose cómo hasta 1988 el caudal medio estuvo por sobre el umbral de los 150 m³/s la mayor parte del tiempo, mientras que, los años más recientes, cuentan con un máximo de tan sólo 123.23 m³/s, registrado en 2014 (Figura. 5.57d). Además, la línea de tendencia general (Figura. 5.57a) también denota un decrecimiento y, las tendencias parciales (Figuras 5.57b-d) con pendientes negativas cada vez más pronunciadas, sólo reafirman este patrón.

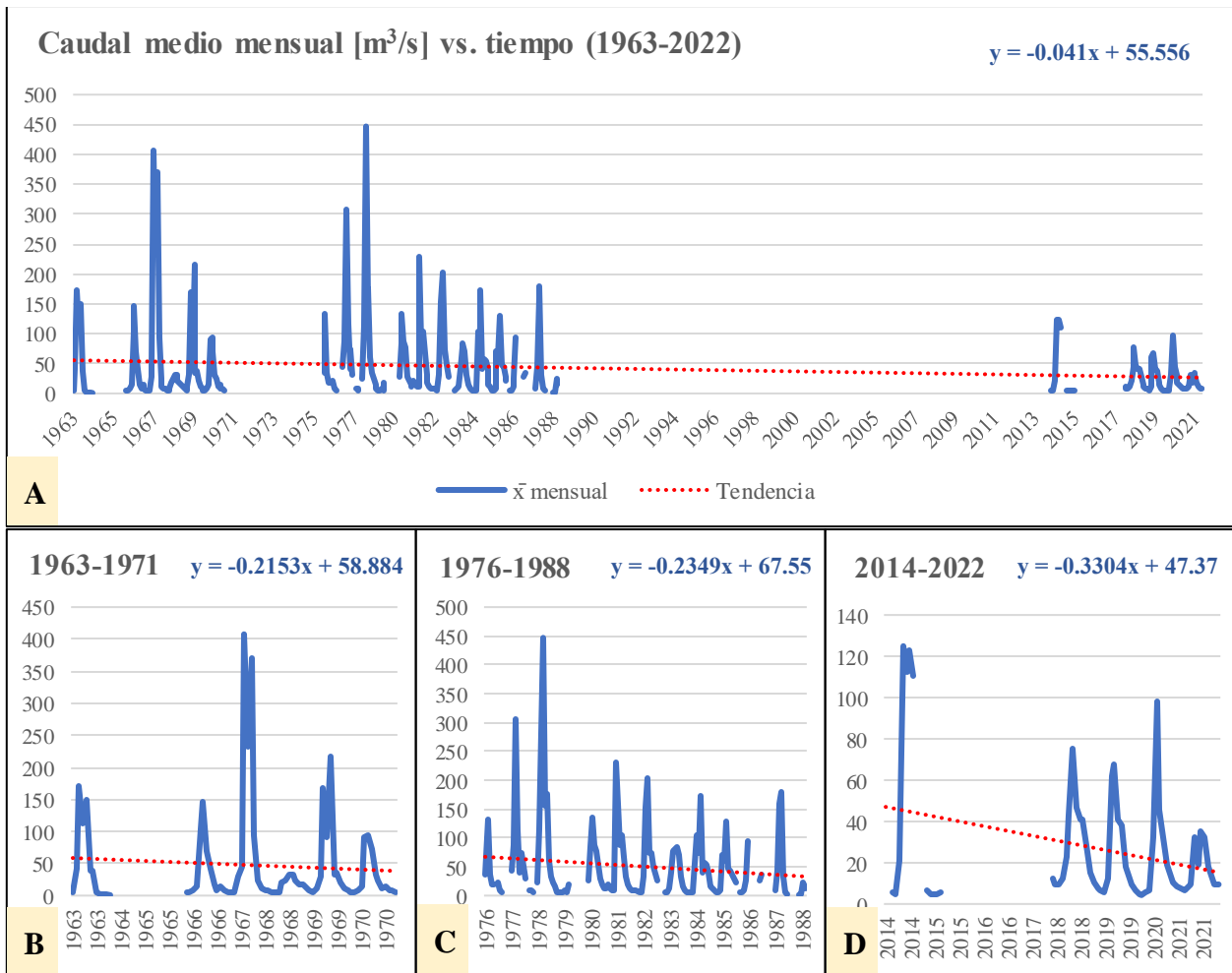


Figura. 5.57 Caudal medio mensual [m³/s] de la estación Río Lebu, para el periodo 1963-2022. En A) rango temporal completo, B) periodo 1963-1971, C) periodo 1976-1988 y D) periodo 2014-2022. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Por otra parte, se compararon los momentos de mínimos y máximos dentro de cada periodo parcial (Tabla 5.19), considerando para ello, años que contasen con un mínimo de 2/3 de datos registrados. De lo anterior, fue posible apreciar diferencias negativas de más del 50% y, al contrastar 1963 (año inicial) con 2021 (último año con registro completo), tal cifra ascendió al 81.1% de diferencia entre caudales máximos.

Adicionalmente, cabe señalar, que dos comparativas: 1963-1970 y 1963-2021, poseen diferencias positivas significativas entre periodos de estiaje, de más del 60% en ambos casos. Lo anterior, está vinculado, en parte, debido a los dos mayores eventos sísmicos que han azotado el centro y sur del país, vale decir: terremoto 9.5 Mw de 1960 y terremoto 8.8 Mw de 2010 que, dentro de sus múltiples consecuencias desastrosas, ocasionaron el desecamiento de variados cursos de agua, entre ellos el

río Lebu, dejándolo innavegable (Duhart et al., 2010; Quezada et al., 2012), por lo que, el hecho de que el caudal mínimo en años posteriores experimentase un alza, sería indicador de una recuperación progresiva en el curso normal del río, no así, las diferencias de caudal máximo, que pueden verse fuertemente afectadas debido al déficit pluviométrico de los últimos años.

Tabla 5.19 Comparación entre caudales mínimos y máximos en años iniciales y terminales de los periodos parciales: 1963-1971, 1976-1988 y 2014-2022 de la serie de tiempo de la estación Río Lebu. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Estación	Caudal [m ³ /s]				Diferencia [%]	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Río Lebu	1963		1970			
	3,73	172,07	6,25	94,72	67,6	-45,0
	1977		1985			
	5,63	307,32	4,46	129,374	-20,8	-57,9
	2018		2021			
	9,08	75,665	6,87	32,52	-24,3	-57,0
	1963		2021			
	3,73	172,07	6,87	32,52	84,2	-81,1

Finalmente, como último ejercicio comparativo, se presentan el contraste de los caudales máximos más destacables para todo el periodo considerado con respecto a 2021 (Tabla 5.20), observándose diferencias que oscilan entre 73.97-92.72%.

Tabla 5.20 Diferencia entre los años de mayores caudales registrados con respecto a 2021. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Estación	Caudal máximo [m ³ /s]				Diferencia [%] con respecto a 2021		
	1967	1978	2014	2021	1967	1978	2014
Río Lebu	407,64	446,81	124,92	32,52	-92,02	-92,72	-73,97

5.2.4.2 Derechos de aprovechamiento de agua (DAA)

El segundo grupo de datos considerados para evaluar el estado de los comunes hídricos dentro del área de estudio corresponden a los denominados derechos de aprovechamiento de aguas o simplemente DAA. Estos, de acuerdo a la naturaleza de la fuente de agua, se clasifican en derechos subterráneos o superficiales y los últimos, a su vez, en superficiales corrientes y superficiales detenidos. Bajo tales términos se entiende por agua subterránea, aquellas que están ocultas bajo tierra y que no han sido alumbradas, mientras que, por aguas superficiales, se agrupa a todas

aquellas que se encuentran naturalmente a la vista, ya sea, escurriendo por cauces naturales o artificiales (corrientes) o acumuladas en depósitos naturales o artificiales, como lagos, lagunas, pantanos, estanques, embalses, etc. (detenidas).

Respecto del área de estudio, en ella se encuentran inscritos 570 DAA, siendo estos mayoritariamente de tipo superficial corriente, con un total de 443, lo que equivale al 77.7% del total de datos, luego, tal cifra es seguida de 101 derechos de agua subterráneos (17.7%), y finalmente 26 de tipo superficial detenido. La distribución geográfica, junto con el caudal medio anual en L/s que cada uno de estos DAA ocupa, se presenta en el mapa de la Figura. 5.58.

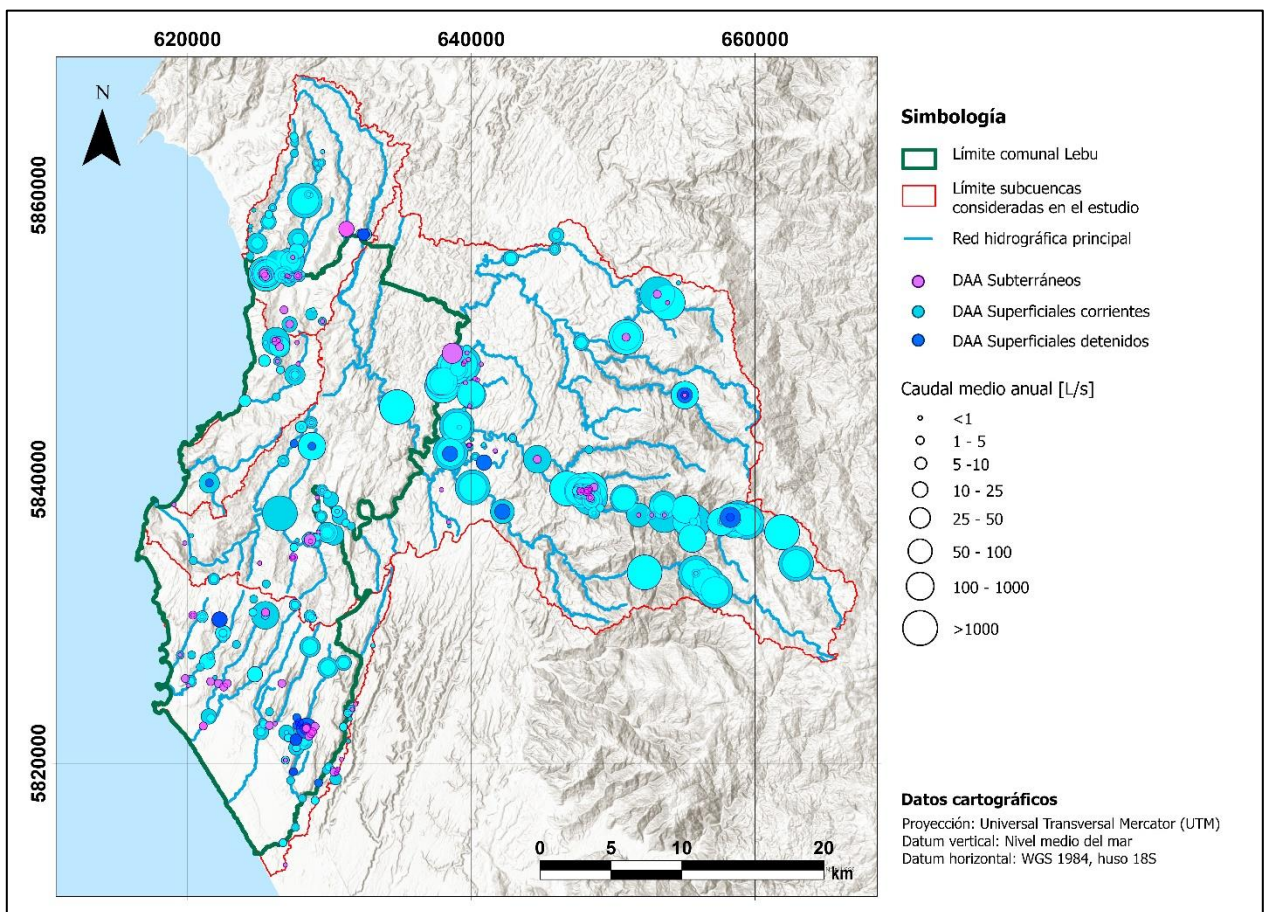


Figura. 5.58 Mapa de distribución geográfica de DAA subterráneos y superficiales en el área de estudio. Se señala en cada caso su respectivo caudal medio anual. Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

A partir de la figura anterior, se puede notar en primer lugar, que la mayor concentración de DAA superficiales corrientes se distribuye hacia el sector oriental de la subcuenca del Río Lebu, correspondiente específicamente, al cauce del río Trongol, y otros cuantos un poco más al sur, a lo largo del río Pilpilco. Además de ello, estos corresponden a los DAA con mayor caudal medio

anual, con cifras superiores a los 50 L/s. En segunda instancia, una gran porción de los datos también se reparte por todo el territorio comunal de Lebu, aunque de forma mucho más heterogénea; no obstante, destaca hacia el norte, una aglomeración de DAA superficiales corrientes dentro de la subcuenca del Río Quiapo, mientras que en la subcuenca Costeras entre Río Lebu y Estero Ranquilco, hacia el sur, se observa cómo gran parte de los DAA subterráneos y superficiales detenidos se dispersan a lo largo de esteros y quebradas.

Por otra parte, al revisar los DAA de acuerdo con el tipo de fuente de agua (Tabla 5.21 y Fig. 5.59), se puede notar que la mayor parte provienen de ríos o esteros, con un total de 383 registros, equivalente al 67.2% del total de datos, seguido de un 17.7% de derechos de agua subterráneos provenientes de acuíferos, mientras que el menor porcentaje de todos, tan sólo un 0.7%, corresponde a 4 registros provenientes de quebradas.

Tabla 5.21 Distribución porcentual de los DAA en el área de estudio, según la clasificación de la fuente. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Naturaleza del Agua	Clasificación de la fuente	DAA por tipo de fuente	% respecto de la naturaleza del agua	% respecto del total de datos
Superficial corriente	Quebrada	4	0,9	0,7
	Río/Estero	383	86,5	67,2
	Vertiente	56	12,6	9,8
Superficial detenido	Lago/Laguna	26	100,0	4,6
Subterráneo	Acuífero	101	100,0	17,7

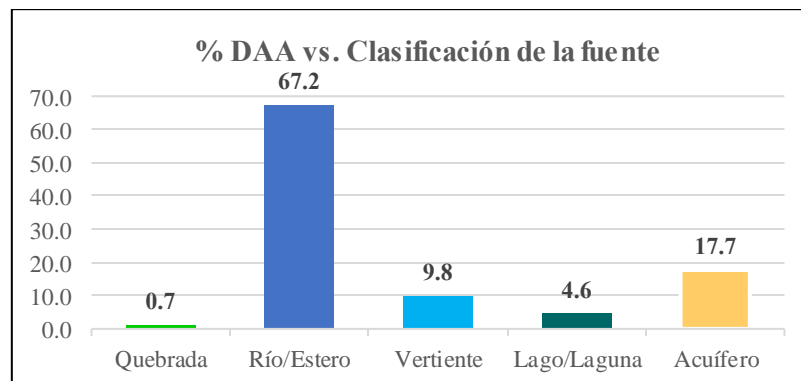


Figura. 5.59 DAA en el área de estudio según la clasificación de la fuente. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Otro aspecto relevante de revisar, lo constituye el uso que se da al agua a partir de estos DAA. En relación con ello, tal como lo muestra la Tabla 5.22, se puede notar que los principales usos corresponden a “Bebida/Usos domésticos/Saneamiento”, seguido de “Energía hidroeléctrica” y

finalmente “Riego”, con un 11.2%, 8.9% y 6.2% respectivamente, aunque con 413 registros, equivalente al 72.4% del total en el área de estudio, la mayor parte de los DAA carece de un uso especificado, además, al desglosar este porcentaje de acuerdo con la naturaleza del agua, se advierte que equivale al 69.5% de los derechos de tipo superficial corriente, al 96.2% de los de tipo superficial detenido y al 79.2% de los de tipo subterráneo.

Tabla 5.22 Usos del agua de los DAA en el área de estudio. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Naturaleza del Agua	Uso del agua	DAA por tipo de uso	% respecto de la naturaleza del agua	% respecto del total de datos
Superficial corriente	Bebida/Usos doméstico/Saneamiento	55	12,4	9,6
	Energía hidroeléctrica	51	11,5	8,9
	Piscicultura	2	0,5	0,4
	Riego	22	5,0	3,9
	Sector silvoagropecuario	1	0,2	0,2
	Otros usos	4	0,9	0,7
	No especificado	308	69,5	54,0
Superficial detenido	Riego	1	3,8	0,2
	No especificado	25	96,2	4,4
Subterráneo	Bebida/Usos doméstico/Saneamiento	9	8,9	1,6
	Riego	12	11,9	2,1
	No especificado	80	79,2	14,0

En relación con los propietarios de los DAA, estos se encuentran distribuidos tal como se muestra en la Tabla 5.23. Al respecto, se puede notar que la mayor parte corresponde a personas individuales, abarcando en total el 68.6% de los registros, a ello le sigue un 8.9% por parte de las diferentes comunidades indígenas presentes en el área de estudio y, en tercer lugar, un 7.8% perteneciente a empresas del sector hidroeléctrico.

Tabla 5.23 Propietarios de DAA en el área de estudio. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Tipo de propietario	DAA totales	%
Inmobiliaria Parque Los Boldos	1	0,2
R.P. Butamal Hidroeléctrica S.A.	2	0,4
Trusal S.A.	2	0,4
Cristalerías Toro S.A.I.C.	2	0,4
Maderas Arauco	2	0,4
Forestal Arauco	2	0,4
Foraction Chili S.A	3	0,5
Agrícola y Forestal Farellón Ltda.	3	0,5
Agrícola Pehuén Ltda.	4	0,7
Agrícola y Comercial Don Juan S.A.	4	0,7
Dirección de Obras Hidráulicas	6	1,1
ESSBIO S.A.	7	1,2

Agrícola y Forestal Quinahue	8	1,4
JJ.VV. Quiapo-Villarrica-Maquehua-Tren Tren	10	1,8
Forestal Mininco S.A.	14	2,5
Comités de APR	16	2,8
Empresa Eléctrica El Pinar	18	3,2
Sociedad Hidroenergías para Chile	24	4,2
Comunidades indígenas	51	8,9
Persona individual	391	68,6

Sin embargo, la información de la tabla anterior, sólo considera el número de derechos de agua que cada tipo de propietario posee, sin considerar la cuota de consumo particular de cada uno de estos. Por ello, al revisar las estadísticas de los DAA cuyo caudal de consumo es ≥ 10 L/s (Tabla 5.24), se aprecia que aproximadamente una tercera parte del total de registros en el área de estudio alcanzan esta cifra.

Tabla 5.24 DAA con caudal anual ≥ 10 L/s. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Naturaleza del agua	DAA totales	% respecto de la naturaleza del agua	% respecto del total de datos
Superficial corriente	165	37,25	28,95
Superficial detenido	7	26,92	1,23
Subterráneo	3	2,97	0,53

Finalmente, al examinar con mayor detalle las cifras anteriores, se logra identificar que, 66 registros poseen un caudal de consumo anual ≥ 500 L/s (Tabla 5.25), abarcando al grupo de mayor caudal anual en el área de estudio.

Tabla 5.25 Propietarios de DAA con caudal anual ≥ 500 L/s. Elaborado a partir de los datos de DGA.

Titular	DAA totales	% respecto de la muestra
Sociedad Hidroenergías para Chile	20	30,3
Empresa Eléctrica El Pinar	17	25,8
Francisco Díaz Fuenzalida	8	12,1
Mirta Astudillo Burgos	6	9,1
Luis Concha Cuevas	5	7,6
R.P. Butamal Hidroeléctrica	2	3,0
Paula Elís Auad	6	9,1
Comunidad Indígena Yani Mapu Lafken	1	1,5
Dirección de Obras Hidráulicas	1	1,5
Total muestra	66	

Al respecto, se puede notar que, de estos DAA, la mayor parte pertenece a dos empresas del sector hidroeléctrico, correspondientes a Sociedad Hidroenergías para Chile (30.3%) y Empresa El Pinar (25.8%), que conjuntamente, alcanzan un 56.1% del total, seguido de personas individuales que

agrupadas alcanzan el 37.6%. Por su parte, R.P Butamal Hidroeléctrica, posee el 3% de estos derechos de agua y tanto la comunidad indígena Yani Mapu Lafken como la Dirección de Obras Hidráulicas son titulares de un 1.5% del total. Su distribución se muestra en el gráfico de la Figura. 5.60.

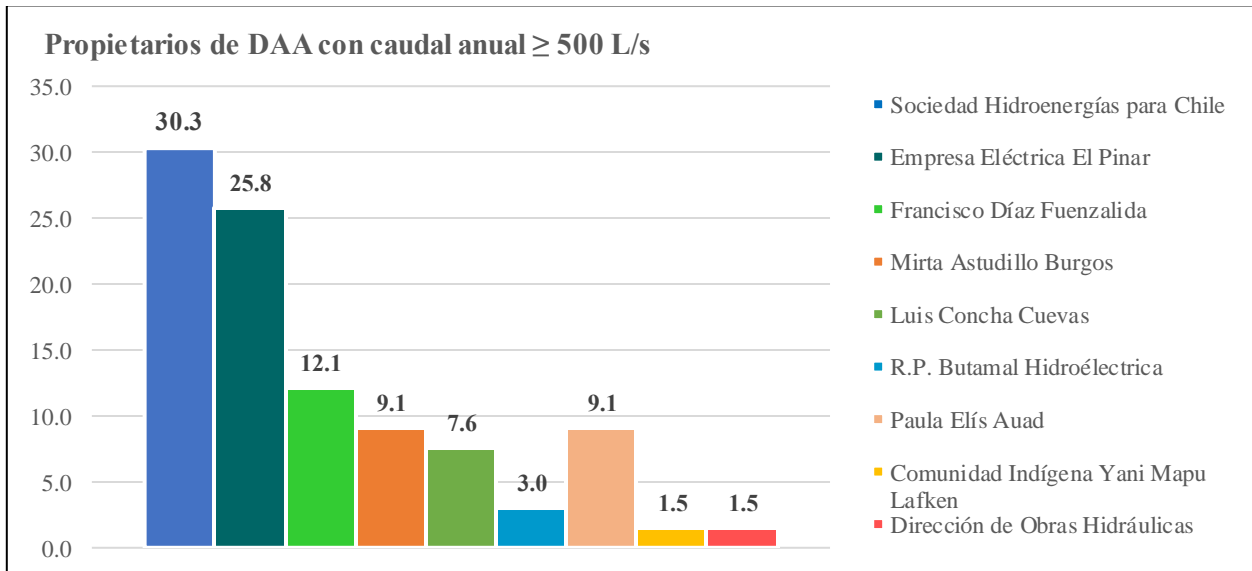


Figura. 5.60 Distribución porcentual de propietarios de DAA con caudal anual ≥ 500 L/s. Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

5.2.4.3 Calidad del agua

En tercer lugar, se procedió a la revisión de los datos referidos a la calidad del agua del río Lebu, a partir de la estación DGA homónima que, tal como se mencionó al comienzo del subcapítulo, es la única que posee información de este tipo.

A partir de allí se confeccionó la Tabla 5.26, en la que se agrupan las variables disponibles en tres categorías, según corresponda a un parámetro fisicoquímico, elemento mayoritario o elemento traza, y se compararon los registros con respecto a la norma NCh409, que establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en el país, así como también con respecto a la norma NCh1333, la cual, en la misma línea que la anterior, establece los estándares que deben cumplir las aguas destinadas a otros usos, como por ejemplo, el agua para riego.

Cabe destacar que, el rango temporal completo abarcado por la estación corresponde a 1984-2020, no obstante, existe un gran vacío en la información (14 años), entre 1988-2001, ambos años

inclusive, por ello, para la representación de las variables en gráficas, se optó por considerar el periodo con mayor cantidad de datos, correspondiente a 2002-2020.

Tabla 5.26 Porcentaje de cumplimiento de normas NCh409 y NCh1333 de las variables disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 1984-2020. Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

Tipo de variable	Nombre	N° Total de datos registrados	NCh409			NCh1333		
			Límite máximo	% que cumple	Años con 1+ incumplimientos	Límite máximo	% que cumple	Años con 1+ incumplimientos
Fisicoquímico	pH	64	6,5-8,5	93.75	1984-85, 2003-04	5,0-9,0	100	-
	Conductividad eléctrica	63	NN	NA	-	≤ 750 mhos/cm	100	-
	Temperatura	65	NN	NA	-	30 °C	100	-
	Oxígeno disuelto	58	NN	NA	-	5 mg/L mínimo	89.7	2005-06, 2010
Elemento mayoritario	Cloro (Cl)	54	400 mg/L	100	-	200 mg/L	100	-
	Calcio (Ca)	49	NN	NA	-	NN*	NA*	-
	Magnesio (Mg)	43	125 mg/L	100	-	NN*	NA*	-
	Potasio (K)	42	NN	NA	-	NN*	NA*	-
	Sodio (Na)	43	NN	NA	-	NN*	NA*	-
	Sulfato (SO ₄)	26	500 mg/L	100	-	250 mg/L	100	-
Elemento traza	Cobre (Cu)	60	2,0 mg/L	100	-	0,20 mg/L	100	-
	Hierro (Fe)	64	0,3 mg/L	12.5	1984-87, 2002-2020	5,0 mg/L	98.4	2007
	Aluminio (Al)	36	NN	NA	-	5,0 mg/L	97.2	2007
	Arsénico (As)	52	0,01 mg/L	100	-	0,1 mg/L	100	-
	Cadmio (Cd)	50	0,01 mg/L	100	-	0,01 mg/L	100	-
	Cobalto (Co)	46	NN	NA	-	0,05 mg/L	100	-
	Cromo (Cr)	38	NN	NA	-	0,1 mg/L	100	-
	Manganeso (Mn)	56	0,1 mg/L	94.6	2005, 2007	0,2 mg/L	100	-
	Mercurio (Hg)	48	0,001 mg/L	79.2	2003, 2005, 2013-16	0,001 mg/L	79.2	2003, 2005, 2013-16
	Molibdeno (Mo)	37	NN	NA	-	0,01 mg/L	32.4	2002-04, 2006-14
	Nitrato (NO ₃)	31	50 mg/L	100	-	NN	NA	-
	Níquel (Ni)	45	NN	NA	-	0,2 mg/L	100	-
	Plata (Ag)	51	NN	NA	-	0,2 mg/L	100	-
	Plomo (Pb)	47	0,05 mg/L	83.0	2013-16	5,0 mg/L	100	-
	Selenio (Se)	33	0,01 mg/L	100	-	0,02 mg/L	100	-
Zinc (Zn)	33	3,0 mg/L	100	-	2,0 mg/L	100	-	

NN: No normado // NA: No aplica // *: No normado independientemente, pero sí por medio del sodio porcentual (Na%).

A partir de la tabla anterior se puede notar que gran parte de las variables normadas por NCh409 o NCh1333, cumplen con los límites máximos establecidos, sin embargo, se presentan casos de algunas variables que infringen tales requisitos en algún año del periodo considerado, como el pH aluminio o manganeso, aunque estos, lo hacen en un porcentaje considerablemente bajo. Distinto son los casos del hierro, mercurio, plomo y molibdeno, los que exhiben un porcentaje de incumplimiento elevado, a saber, 87.5%, 20.8%, 17% y 67.6% respectivamente. Lo anterior, destaca notablemente, sobre todo en los tres primeros elementos, al tratarse, por un lado, de un alto contenido de Fe, y por otro, de dos metales pesados tóxicos (Hg y Pb), además de que, tales faltas se encuentran en la norma NCh409, la cual refiere a la calidad del agua potable.

Respecto de las variables fisicoquímicas, presentadas en la Figura. 5.61, en primer lugar, cabe mencionar la consideración que tienen las normas sobre cada una de ellas. Por un lado, la NCh409 sólo toma el pH como requisito, mientras que, en la NCh1333 se presentan límites máximos para

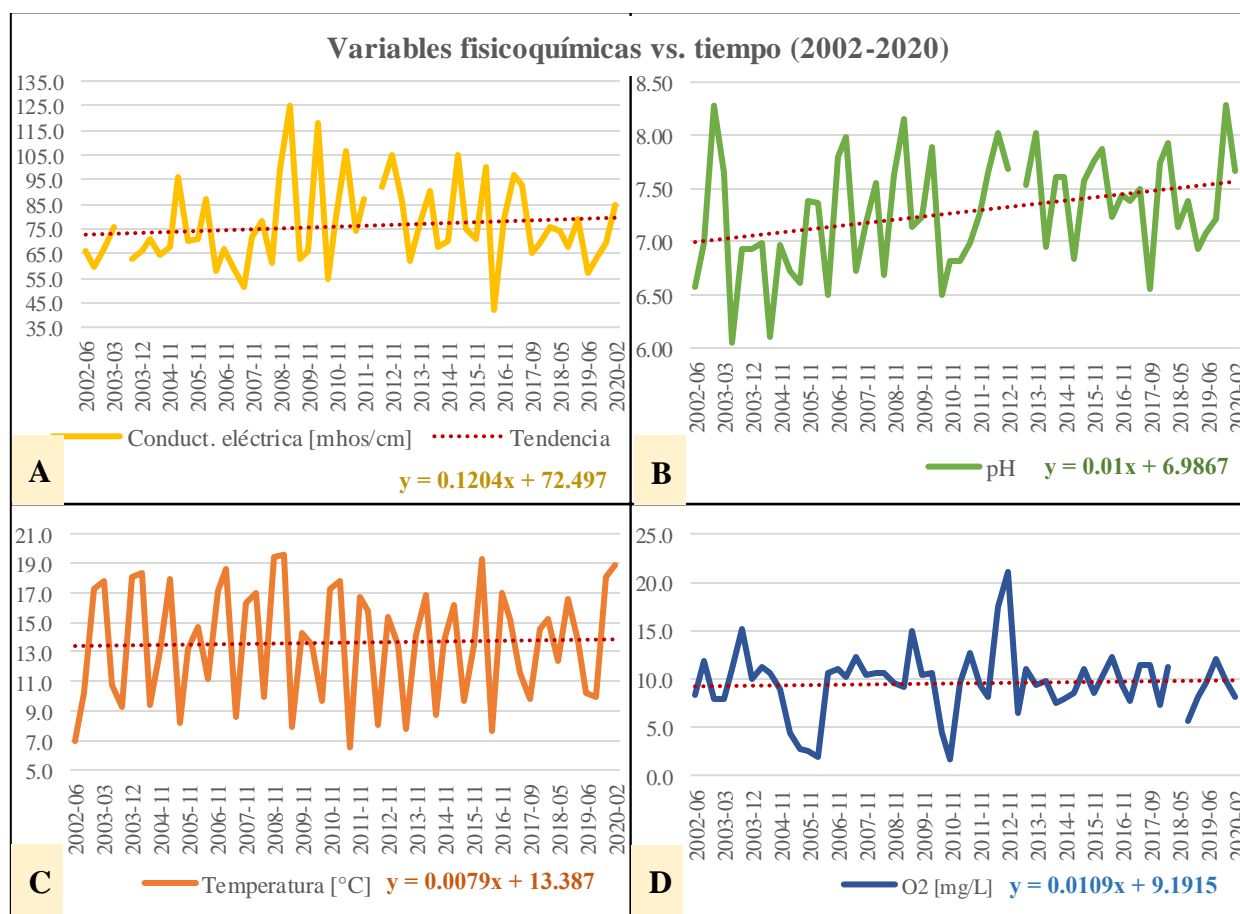


Figura. 5.61 Variables fisicoquímicas disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 2002-2020. En A) Conductividad eléctrica [mhos/cm], B) pH, C) Temperatura [°C] y D) Oxígeno disuelto [mg/L]. Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

todos los casos (indicados en la Tabla 5.25), aunque estos se encuentran diferenciados según el uso, en particular, la conductividad eléctrica es señalada dentro de los estándares a tener en cuenta para aguas destinadas a riego, el pH y la temperatura lo son para aguas destinadas a recreación con contacto directo, y el oxígeno disuelto, queda relegado a aguas destinadas a vida acuática.

Sobre el comportamiento individual de cada parámetro, en el caso de la conductividad eléctrica (Figura. 5.61a) se puede observar que esta cumple a cabalidad el límite máximo, dado que sus valores oscilan entre 35-125 mohs/cm aproximadamente, lo que corresponde a una cifra notablemente inferior a la normada. Además, aunque su tendencia general muestra un leve crecimiento en el tiempo, al examinar en más detalle la gráfica, es posible notar cómo desde 2008 en adelante, los registros han decrecido en valor paulatinamente. En cuanto al pH (Figura. 5.61b), sus valores se encuentran en el rango de 6.0-8.3 aproximadamente y, su tendencia general hacia el aumento resulta mucho más evidente que en el resto de variables; por lo demás, la gráfica permite constatar que, aunque en los primeros años se exhiben valores que infringen la norma NCh409, estos no se encuentran demasiado alejados del límite permitido. Por último, sobre la temperatura y oxígeno disuelto (Figuras. 5.61c y 5.61d), se advierte que, tal como sucedía con los dos parámetros anteriores, estos también exhiben un patrón con una leve tendencia hacia el aumento, aunque, durante todo el periodo, la temperatura nunca excede los 21°C, manteniéndose de este modo, dentro de lo permitido, mientras que el oxígeno disuelto, supera los 5.0 mg/L la mayor parte del tiempo, sin embargo, posee algunos momentos puntuales con cifras notoriamente bajas, tal es el caso de 2006 o 2010, donde se registraron tan sólo 2.0 mg/L y 1.6 mg/L respectivamente.

Continuando con los elementos mayoritarios, a partir de la gráfica de la Figura. 5.62, cabe reiterar ante todo, que el registro histórico presenta una considerable fragmentación en los datos, con varios vacíos de información, que quedan de manifiesto en los puntos aislados presentes en el patrón de evolución de los elementos. Respecto del cumplimiento de las normas NCh409 y NCh1333, se constata que tanto el cloro, magnesio y sulfato, se encuentran en todo momento, dentro de los límites permitidos, contando además que sus cifras se alejan notablemente de estos. Por su parte, aunque la información disponible permite incluir los patrones de evolución del calcio, potasio y sodio, no es posible señalar algún aspecto particular de estos elementos, puesto que no se encuentran normados de forma individual ni por la NCh409 ni la NCh1333, no obstante, esta última

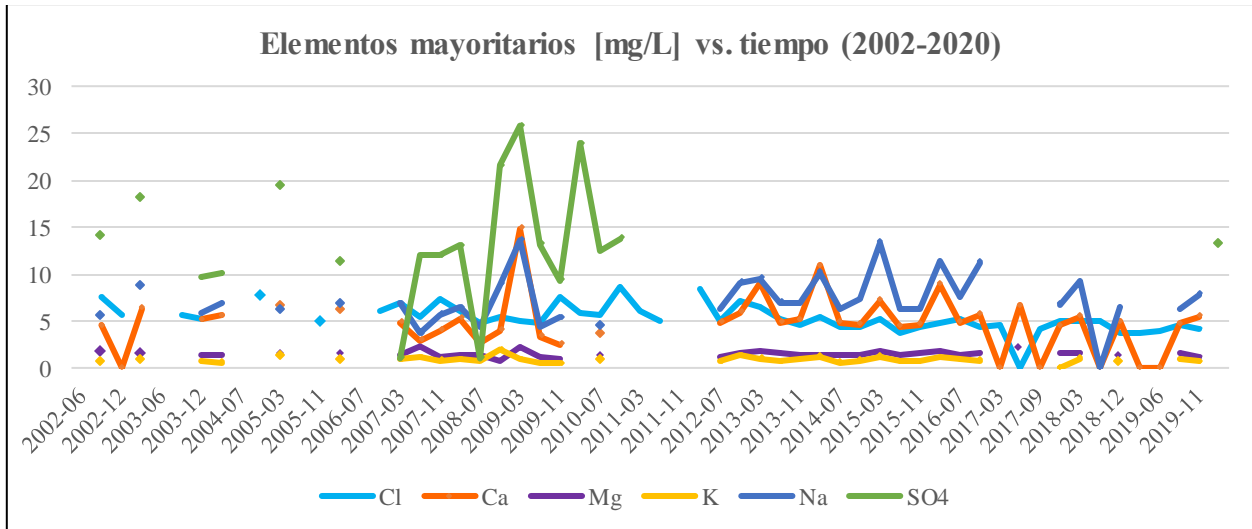


Figura. 5.62 Elementos mayoritarios [mg/L] disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 2002-2020. Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

si considera un parámetro denominado “sodio porcentual” o “Na%”, el cual, involucra tanto a los tres elementos recién mencionados como al magnesio, por medio de la relación de sus concentraciones expresadas en miliequivalentes por litro (meq/L) de acuerdo con la expresión:

$$Na\% = \frac{Na}{Na + Ca + Mg + K} * 100 \quad (13)$$

Al realizar los cálculos correspondientes con los datos disponibles, se obtiene el patrón de evolución del sodio porcentual para la estación Río Lebu, tal como lo muestra la Figura. 5.63.

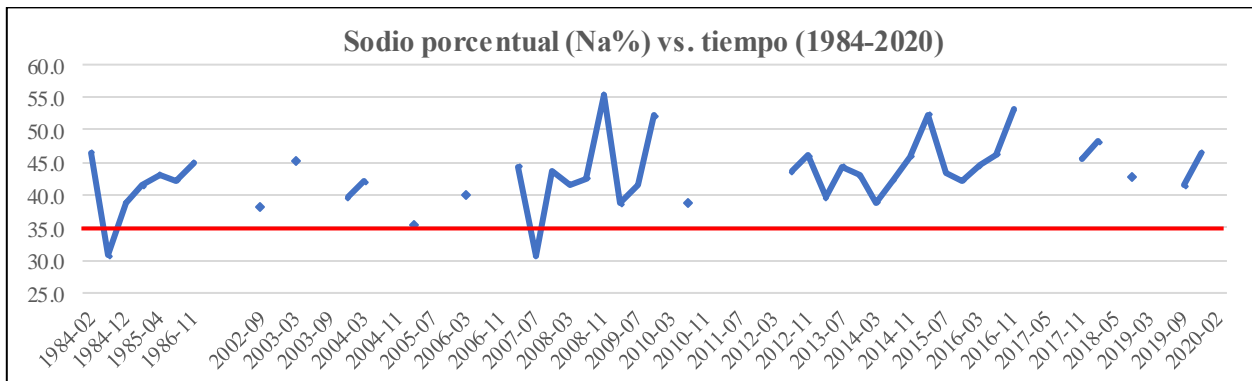


Figura. 5.63 Sodio porcentual (Na%) de la estación Río Lebu, para el periodo 1984-2020. La línea roja marca el límite máximo (35%) aceptado por la norma NCh1333. Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

Al respecto, la NCh1333 establece un límite máximo del 35% y, tal como se observa en el gráfico, gran parte del registro histórico se encuentra excediendo dicha cifra, donde tan sólo dos años (1984 y 2007) presentan un valor cercano a 30%.

Finalmente, la Figura. 5.64, presenta el patrón de evolución de las concentraciones de los principales elementos traza disponibles en los datos de la estación Río Lebu. Al respecto, la situación de cumplimiento de las normas de aquellos elementos menores no presentes en las gráficas, se encuentra señalada en la Tabla 5.25.

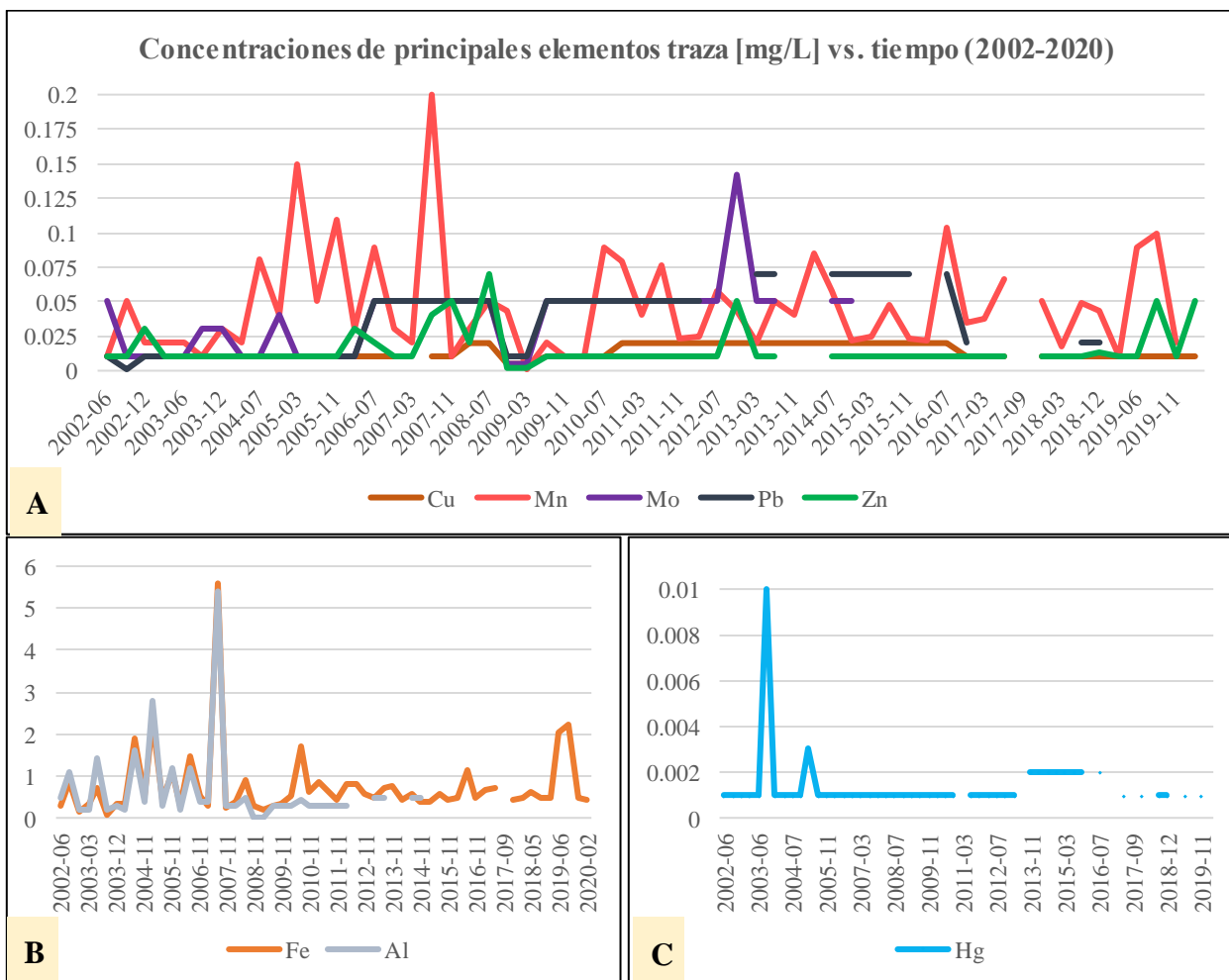


Figura. 5.64 Concentraciones de los principales elementos traza disponibles en la estación Río Lebu, para el periodo 2002-2020. En A) Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Plomo (Pb) y Zinc (Zn); B) Hierro (Fe) y Aluminio (Al) y C) Mercurio (Hg) Fuente: Elaborado a partir de los datos de DGA.

A partir de la figura anterior, se puede notar nuevamente, la fragmentación de la información, similar a como sucedía con los elementos mayoritarios. Respecto del primer grupo de elementos (Figura. 5.64a), se constata que tanto el cobre como el zinc registran en todo momento, cifras notablemente inferiores a sus respectivos estándares normados, no así, el resto de elementos (Mn, Mo y Pb), destacando particularmente, el caso del molibdeno, el cual, no sólo infringe la NCh1333 durante la mayor parte del registro, sino que, además, tales cifras se posicionan apreciablemente por sobre límite máximo establecido. En relación con el hierro y el aluminio (Figura. 5.64b), se

puede apreciar que el rango temporal que abarcan es sumamente diferente, siendo el de este último elemento, mucho más acotado. Por otra parte, comparten un patrón similar, e incluso, registran el dato con la cifra más alta en el mismo momento (año 2007) que, en ambos casos, resulta anómalo al resto de datos, y corresponde a un valor por sobre el límite permitido. Esto resulta destacable dado que, en caso de tratarse de un error de medición del instrumento, sus porcentajes de cumplimiento de las normas podrían cambiar, de 12.5% (NCh409) y 98.4% (NCh1333) a 14.1% y 100% respectivamente en el caso del hierro y, de 97.2% (NCh1333) a 100% en el caso del aluminio. Por último, respecto del mercurio (Figura. 5.64c), se constata que, en reiteradas ocasiones, registra valores por sobre lo permitido, además de que, el resto de datos, se encontrarían precisamente en el límite máximo, aunque, cabe destacar que, esto último, podría deberse a que tales valores estuviesen bajo el umbral de detección del instrumento.

5.2.5 Parámetros geomorfológicos

Para abordar los parámetros vinculados a formas del relieve dentro del área de estudio, se procedió en primer lugar, a analizar los cambios en la morfología costera de las playas frente a las principales localidades del territorio, siendo estas desde norte a sur: Quiapo, Villarrica, Millongue, Lebu, Mina Costa y Chimpe-Morhuilla, cuya ubicación se muestra en el mapa de la Figura. 5.65. Además de lo anterior, se realizó una revisión aproximativa de la erosión y acreción del río Quiapo entre los años 2002-2022, a fin de constatar los cambios en dicho periodo. Cabe destacar que, dada la extensión del río en cuestión, se optó por analizar el último tramo de este, es decir, en la zona de desembocadura, abarcando una longitud aproximada de 2 km. Ambos análisis fueron llevados a cabo a partir de imágenes satelitales extraídas desde Google Earth, las cuales fueron, ingresadas y procesadas en el software ArcGIS Pro. A partir de ello, se elaboraron mapas de evolución de la morfología costera y de la morfología del río Quiapo, además de tablas y gráficas que muestran las variaciones en las respectivas superficies, expresadas en hectáreas.

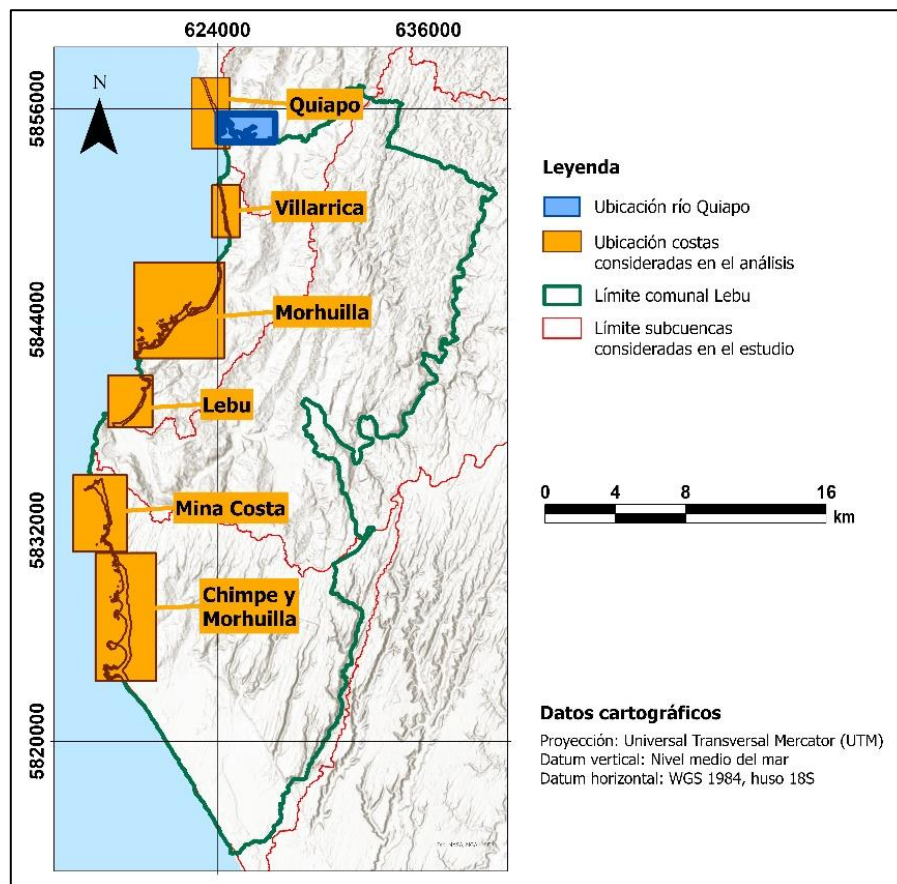


Figura. 5.65 Ubicación del río Quiapo y de las costas frente a las principales localidades del área de estudio. Fuente elaboración propia.

5.2.5.1 Morfología costera

Tras el terremoto 8.8 M_w del 27 de febrero de 2010, las costas de la región del Biobío experimentaron un alzamiento cosísmico generalizado de entre ~ 1.5 -2m, provocando el ensanchamiento de playas y la emersión de múltiples plataformas de abrasión marina y roqueríos (Duhart et al., 2010; Quezada et al., 2012). A continuación, se presentan las variaciones experimentadas por las costas frente a las principales localidades del área de estudio para el periodo 2002-2022.

a) Sector Quiapo

El primer caso analizado, corresponde al del sector Quiapo, cuya evolución temporal se muestra en la Figura. 5.66.

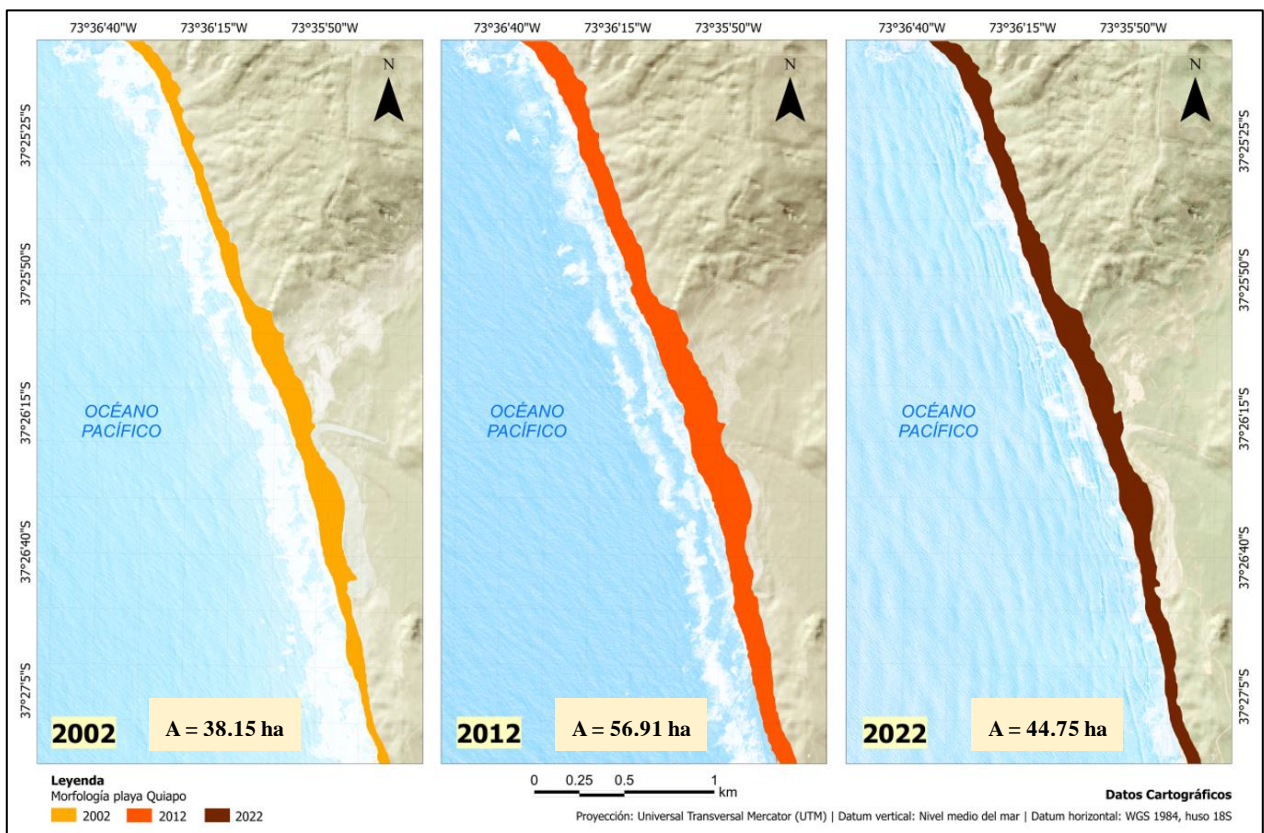


Figura. 5.66 Evolución de la morfología costera en el sector Quiapo para el periodo 2002-2022. A = Superficie de playa. Fuente: Elaboración propia.

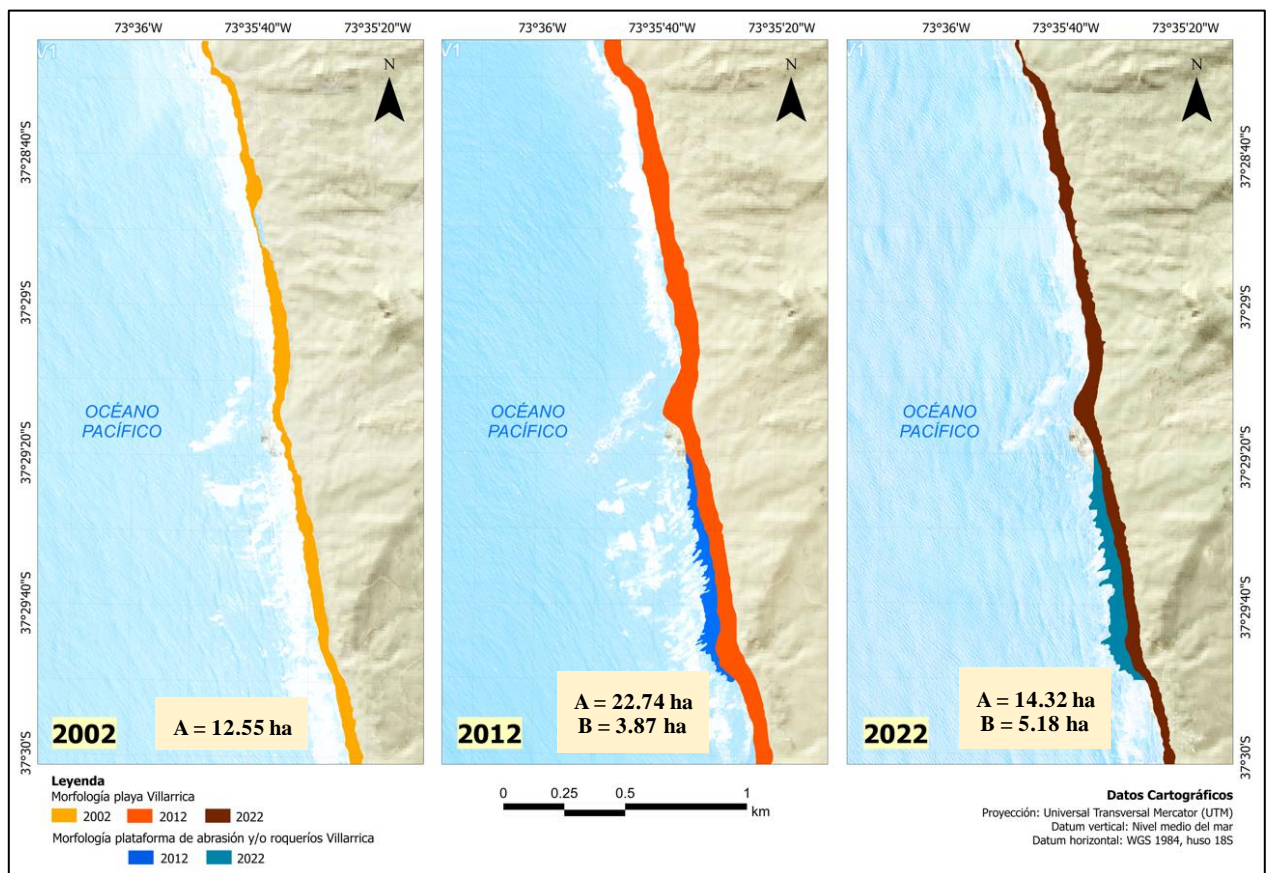
A partir de la figura, se puede constatar que, en años posteriores al terremoto, la zona de playa de Quiapo experimentó una notoria ampliación, que significó una variación de 18.75 ha entre 2002 y 2012, correspondiente al 49.2%. No obstante, se puede apreciar que, conforme al transcurso de los

años, la costa habría sufrido una nueva disminución paulatina, concretamente, entre 2012 y 2022, la superficie costera pasó de abarcar 56.91 a 44.75 hectáreas aproximadamente, significando un cambio del 21.4%.

b) Sector Villarrica

Un poco más al sur se encuentra la localidad de Villarrica, cuya costa también ha sido sometida a evaluación (Figura. 5.67).

A partir de la figura, se advierte en primer lugar, una morfología muy similar a la de Quiapo, con una playa extensa y recta, sin embargo, a diferencia del caso anterior, en Villarrica se constata la presencia de una plataforma de abrasión marina hacia la mitad inferior del área, la cual, posterior al terremoto, experimentó una notable emersión.



En concreto, la diferencia de superficie de playa entre 2002 y 2012 corresponde a 10.19 ha, es decir, un incremento del 81.2%, sin embargo, tal como sucedía en la costa anterior, entre 2012 y 2022, la variación constata una disminución de la superficie de playa del 37% aproximadamente. En relación con la plataforma de abrasión, mientras durante 2012 abarcaba alrededor de 3.87 ha, para 2022 dicha superficie era de 5.18 ha, suponiendo un aumento del 33.8%, no obstante, cabe destacar que tal diferencia, podría estar relacionada a procesos erosivos o a diferencias en los momentos de captura de las imágenes satelitales, de tal forma que, la escena de 2022 corresponda a un momento de marea inferior a la de 2012.

c) Sector Millongue

En tercer lugar, se encuentra la costa frente a Millongue, donde, tal como se aprecia en la Figura. 5.68, se puede notar una morfología diferente al de los dos casos anteriores. Esta vez, el borde costero exhibe dos geoformas diferentes desde el inicio del periodo considerado, con una oblonga zona de playa que ocupa una superficie de 24.73 ha, junto con una incipiente área de plataforma de abrasión marina y algunos roqueríos que alcanzan un total de 8.99 ha.

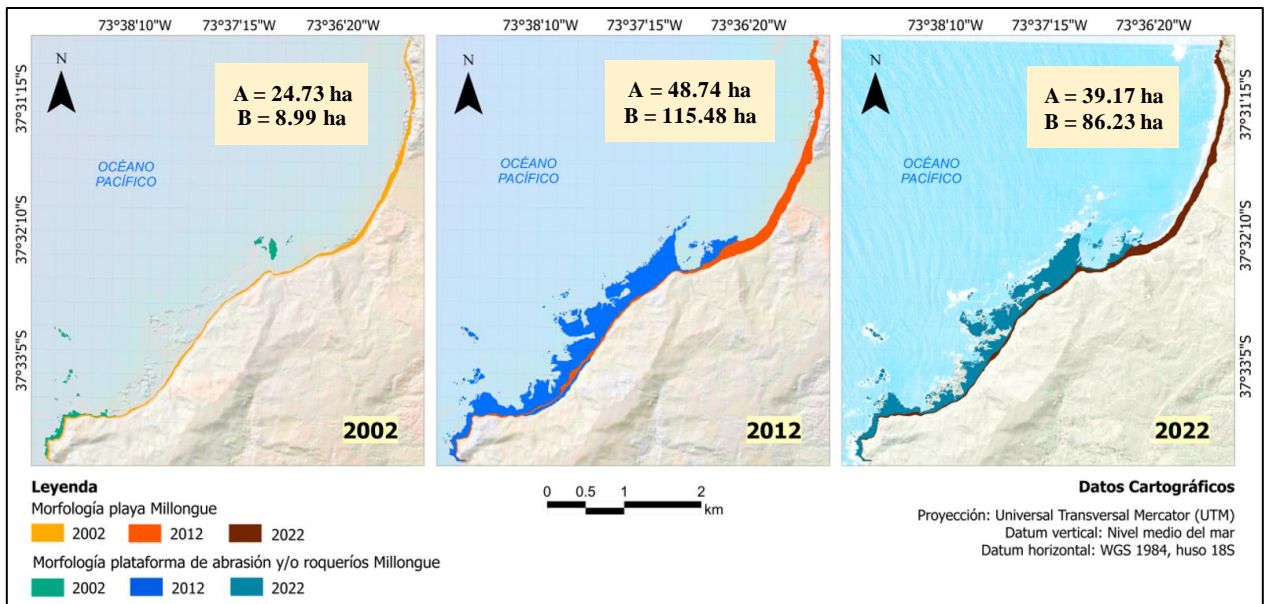


Figura. 5.68 Evolución de la morfología costera en el sector Millongue para el periodo 2002-2022. A = superficie de playa y B = superficie de plataforma de abrasión marina y/o roqueríos. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la figura, se puede apreciar un remarcable cambio en la morfología posterior al terremoto, donde el ensanchamiento de la superficie de playa, aunque notorio, queda opacado ante la emersión de la plataforma de abrasión marina, dejando en evidencia que dicha forma, abarca una

extensa área en el sector, concretamente, un total de 115.48 ha en 2012. Respecto de los cambios experimentados, por un lado, entre 2002 y 2012, la superficie habría visto un incremento superior al 90% en ambas geoformas, mientras que entre 2012 y 2022, se registra una disminución del 19.6% y 25.3% por parte de la playa y plataforma respectivamente.

d) Sector Lebu

En el caso de la costa de Lebu, tal como se muestra en la Figura. 5.69, se constata un apreciable aumento de la superficie de playa, pasando de 25.12 ha en 2002 a 48.05 ha en 2012, correspondiendo a una variación del 91.3%. Por otro lado, en 2022, el área ocupada por playa alcanza sólo las 31.33 ha, suponiendo una disminución del 34.8% durante la segunda mitad del periodo considerado.

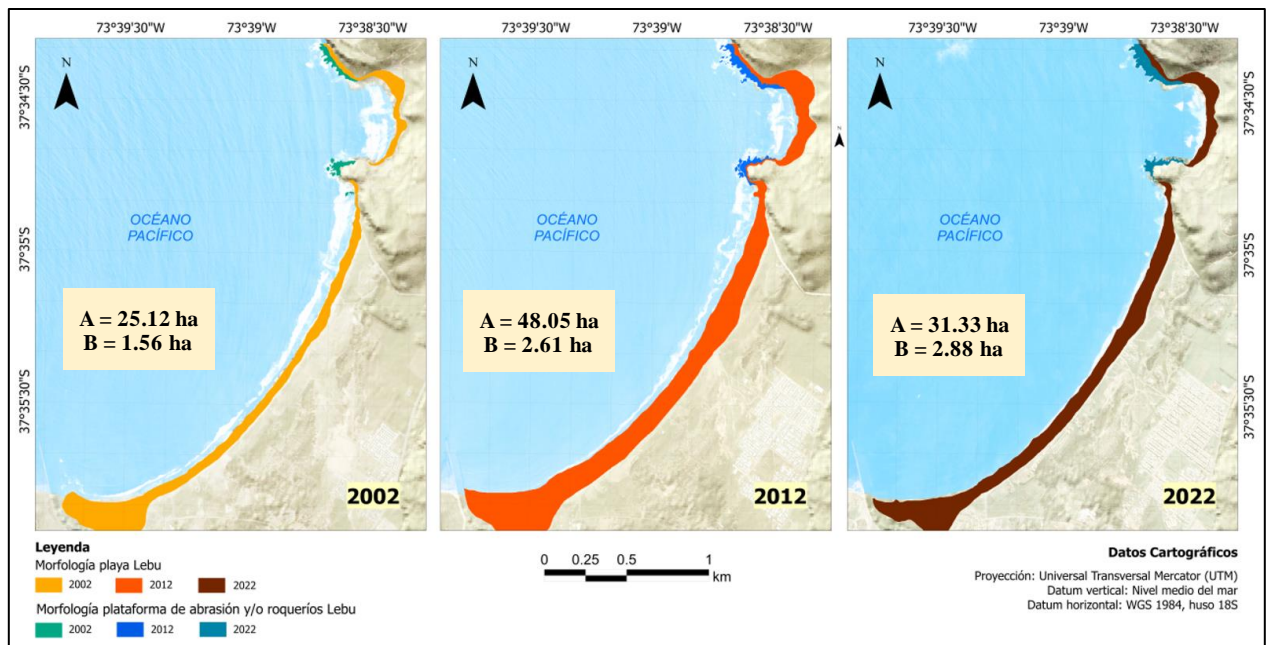


Figura. 5.69 Evolución de la morfología costera en el sector Lebu para el periodo 2002-2022. A = superficie de playa y B = superficie de plataforma de abrasión marina y/o roqueríos. Fuente: Elaboración propia.

Respecto de otras geoformas, frente a la costa de Lebu no se observa presencia de extensas plataformas como en el caso de Millongue, sin embargo, sí es posible distinguir algunas zonas de roqueríos hacia el extremo norte del litoral, la que transita desde una superficie de 1.56 ha en 2002 a 2.61 ha en 2012 y 2.88 ha en 2022, marcando un aumento cercano al 66.6% y 10.5% respectivamente.

e) Sector Mina Costa

En quinto lugar, se encuentra la zona litoral emplazada frente al sector de Mina Costa (Figura. 5.70), la cual exhibe una morfología de bahía en la mayor parte de su extensión. A partir de la figura, se puede distinguir entre dos tipos de geoformas, por un lado, una modesta zona de plataforma de abrasión y algunos roqueríos, y una extensa superficie de playa, la cual, cabe destacar, es considerablemente más ancha respecto de sus contrapartes al norte del área de estudio; al respecto, tal superficie abarcaba ya en 2002 un total de 65.81 ha y, para 2012, habría experimentado un incremento del 11.6%, alcanzando las 73.44 hectáreas.

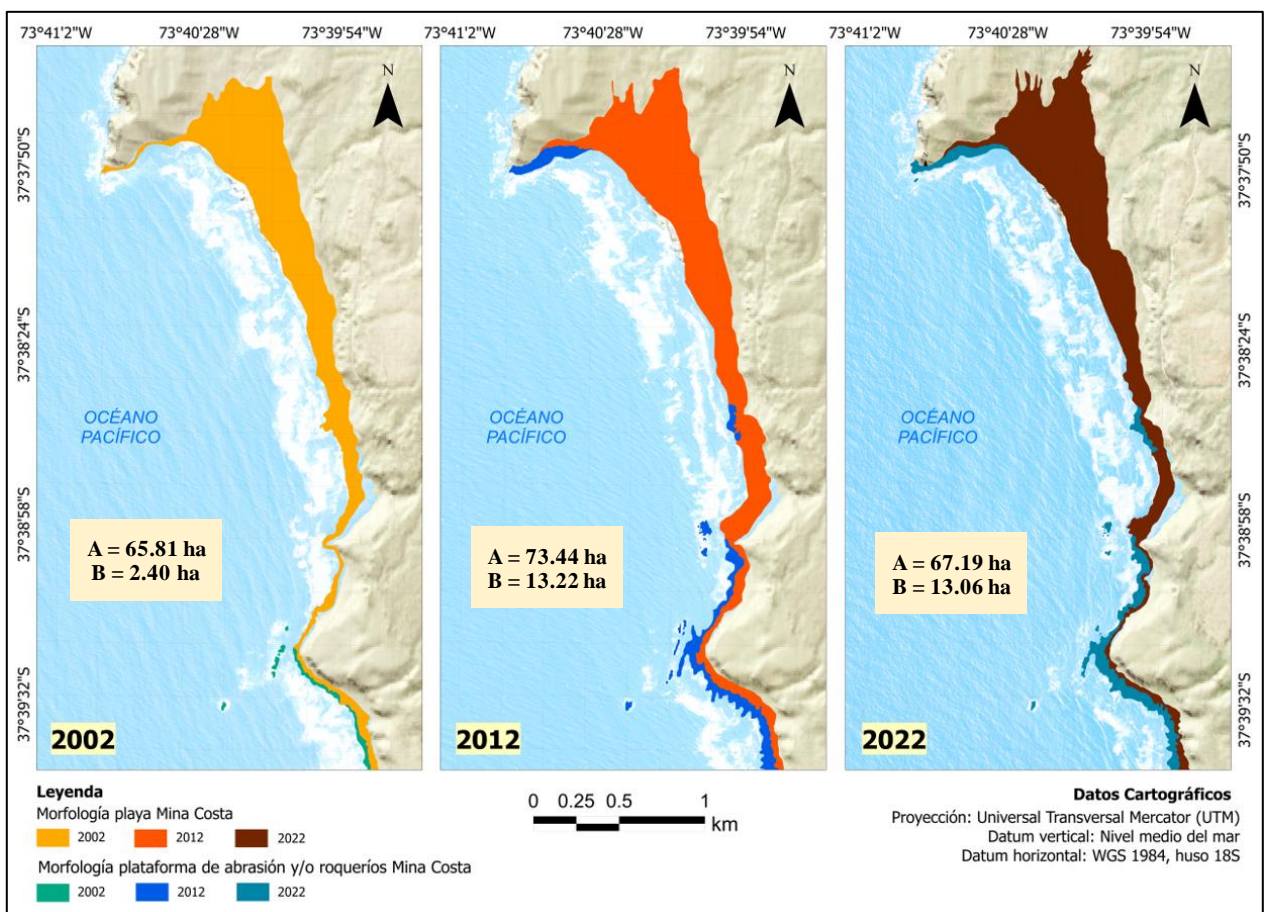


Figura. 5.70 Evolución de la morfología costera en el sector Mina Costa para el periodo 2002-2022. A = superficie de playa y B = superficie de plataforma de abrasión marina y/o roqueríos. Fuente: Elaboración propia.

No obstante, tal como ocurría en casos anteriores, la transición 2012-2022 supuso una disminución del 8.5% en el área de playa, pasando a ocupar un total de 67.19 ha en el último año del periodo considerado. En cuanto a los roqueríos y plataforma de abrasión, posterior al terremoto, la superficie de dichas zonas experimentó un alto contraste, pasando de abarcar apenas 2.40 ha en

2002 a 13.22 ha en 2012. Por el contrario, en 2022 se contaba con 13.06 hectáreas de extensión areal, denotando una mínima variación.

f) Sector Chimpe y Morhuilla

Por último, el borde costero frente a las localidades de Chimpe y Morhuilla (Figura. 5.71), presenta una morfología de pequeñas bahías y cabos o puntas, que denotan la acción erosiva de diferentes oleajes en el sector. En cuanto a la zona de playa, cabe destacar que el sector se caracteriza por poseer vastos campos de dunas eólicas en la parte trasera (*backshore*) lo que se refleja en la amplia superficie de más de 200 ha, que persiste durante todo el periodo considerado, constituyendo así, la mayor costa en extensión areal, de entre todos los casos analizados.

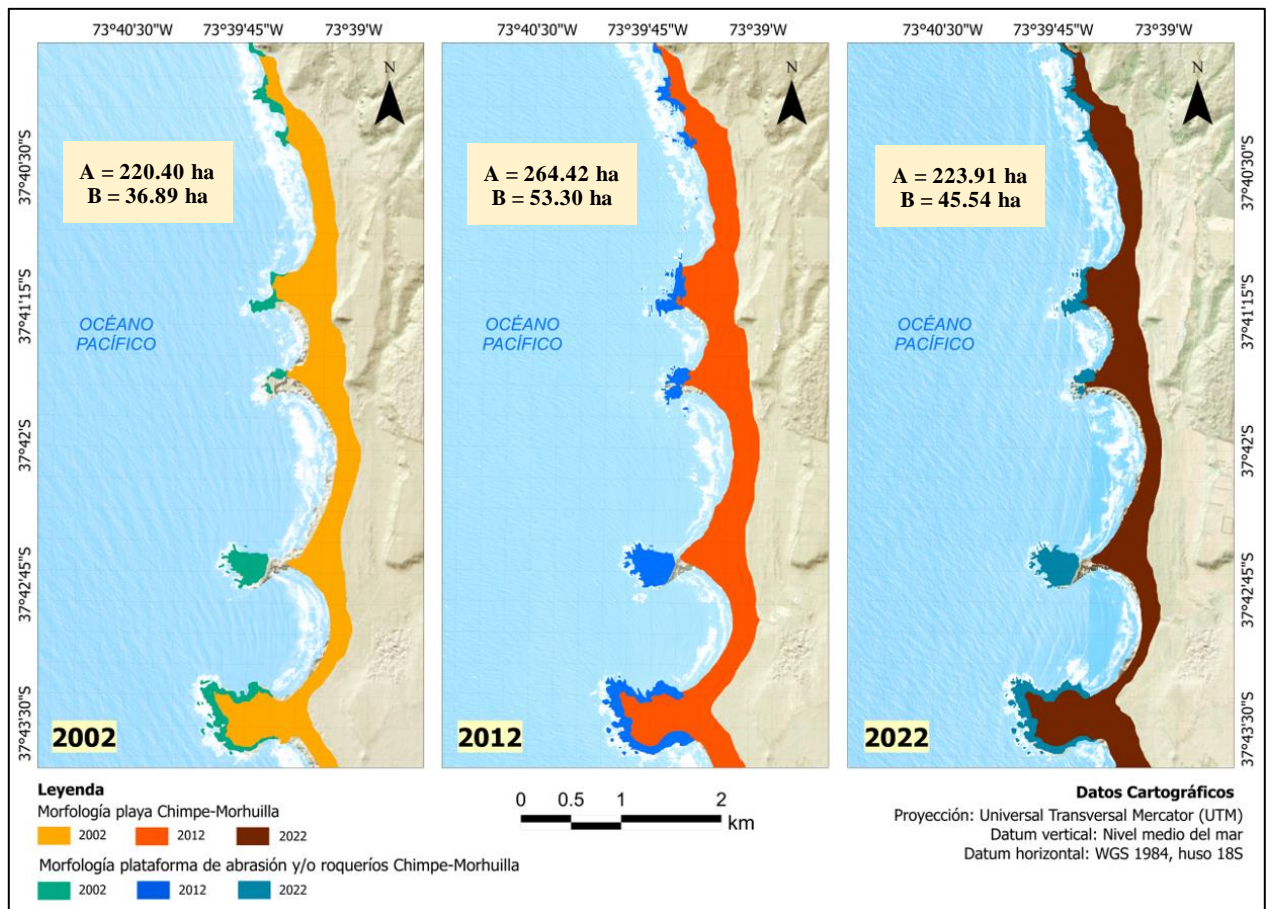


Figura. 5.71 Evolución de la morfología costera en el sector Chimpe y Morhuilla para el periodo 2002-2022. A = superficie de playa y B = superficie de plataforma de abrasión marina y/o roqueríos. Fuente: Elaboración propia.

Respecto de las variaciones, el incremento ocurrido entre 2002-2012 ronda el 20% en el caso de la playa, mientras que la plataforma de abrasión y roqueríos, aumentaron de forma menos discreta,

rondando el 44.5%. Posteriormente, tal como sucedía en los casos anteriores, entre 2012-2022 se constata una leve disminución de la superficie, siendo esta del 15.3% y 14.6% para la zona de playa y plataforma junto con roqueríos respectivamente.

A modo de resumen, se presenta la Tabla 5.27, que detalla todas las variaciones de las costas analizadas previamente.

Tabla 5.27 Variaciones en la superficie de las costas frente a las principales localidades del área de estudio, para el periodo 2002-2022. Fuente: Elaboración propia.

Año	Quiapo		Villarrica		Millongue		Lebu		Mina Costa		Chimpe-Morhuilla	
	Superficie [ha]		Superficie [ha]		Superficie [ha]		Superficie [ha]		Superficie [ha]		Superficie [ha]	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2002	38,15	-	12,55	-	24,73	8,99	25,12	1,56	65,81	2,40	220,40	36,89
2012	56,91	-	22,74	3,87	48,74	115,48	48,05	2,61	73,44	13,22	264,42	53,30
2022	44,75	-	14,32	5,18	39,17	86,23	31,33	2,88	67,19	13,06	223,91	45,54

A = Playa | B = Plataforma de abrasión y/o roqueríos

Adicionalmente, las gráficas de las Figura. 5.72 permiten apreciar rápidamente todas las variaciones de las costas revisadas en un solo conjunto.

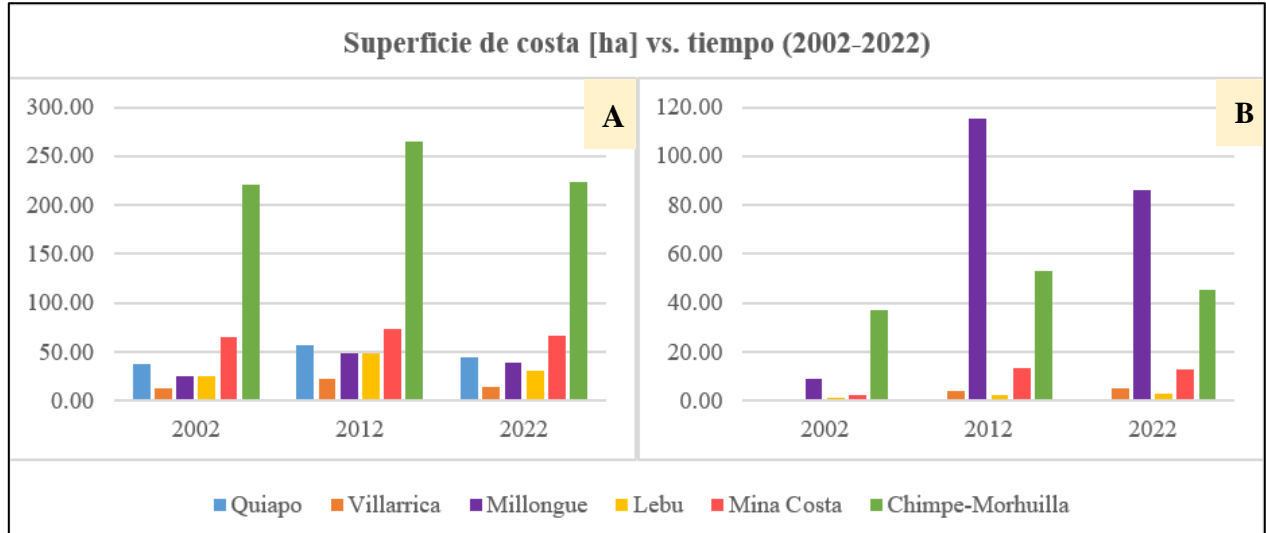


Figura. 5.72 Variaciones de la superficie expresada en hectáreas, de todas las costas frente a las principales localidades del área de estudio, para el periodo 2002-2022. En A) Superficie de playa y B) Superficie de plataforma de abrasión marina y/o roqueríos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.5.2 Erosión y acreción fluvial (río Quiapo)

Tal como se adelantaba al comienzo del subcapítulo, dentro de los parámetros geomorfológicos también se realizó una breve revisión de la evolución del río Quiapo en un tramo de aproximadamente 2 km de extensión, próximo a su desembocadura, para el periodo 2002-2022, cuya representación se muestra en la Figura. 5.73.

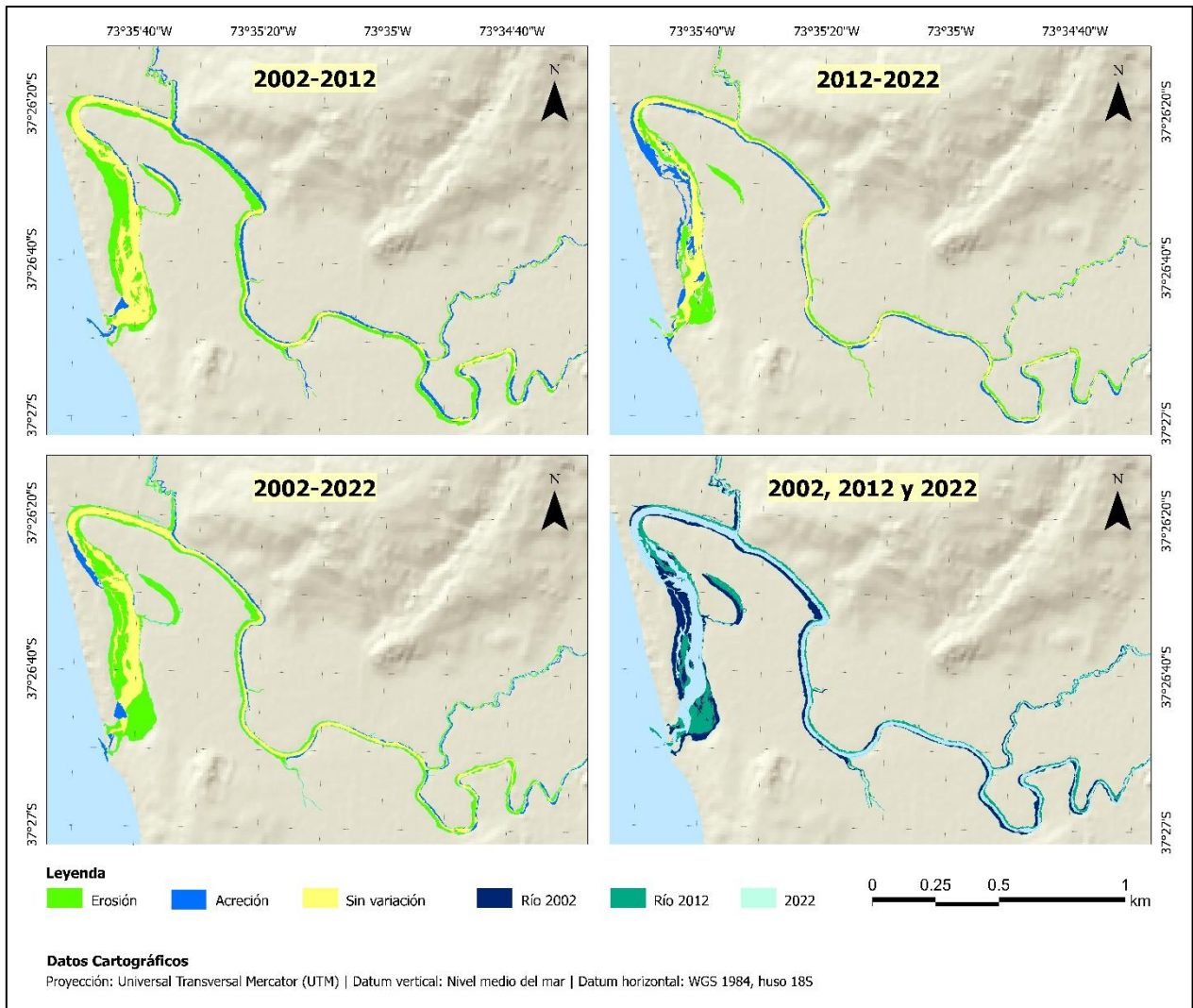


Figura. 5.73 Variaciones en la morfología del río Quiapo en zona cercana a la desembocadura, para el periodo 2002-2022. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la figura anterior, se puede notar en primer lugar, que la morfología general se caracteriza por poseer múltiples curvas de sinuosidad pronunciada, típico de ríos meandriformes. En cuanto a su evolución temporal, se constata un gran cambio en años posteriores al terremoto, sobre todo hacia el oeste, en la zona más próxima a la desembocadura, además, es apreciable la

disminución experimentada por un pequeño lago en herradura entre 2002-2012. Posteriormente, entre 2012-2022, la erosión continúa, aunque de manera más discreta, mientras que los procesos de acreción aumentan levemente. El cambio morfológico más notorio en este último periodo, corresponde a la desaparición completa del pequeño lago en herradura anteriormente mencionado. La Tabla 5.28 detalla las variaciones en la superficie del río Quiapo expresadas en hectáreas, y los gráficos de la Figura. 5.74 permiten una rápida comparación visual de dicha información.

Tabla 5.28 Superficies en hectáreas, de las variaciones en la morfología del río Quiapo en zona cercana a la desembocadura, para el periodo 2002-2022. Fuente: Elaboración propia.

Periodo	Superficie [ha]				
	Inicio	Término	Erosión [ha]	Acreción [ha]	Sin variación [ha]
2002-2012	19,54	12,94	10,73	4,13	8,81
2012-2022	12,94	11,12	6,35	4,54	6,59
2002-2022	19,54	11,12	10,93	2,52	8,60

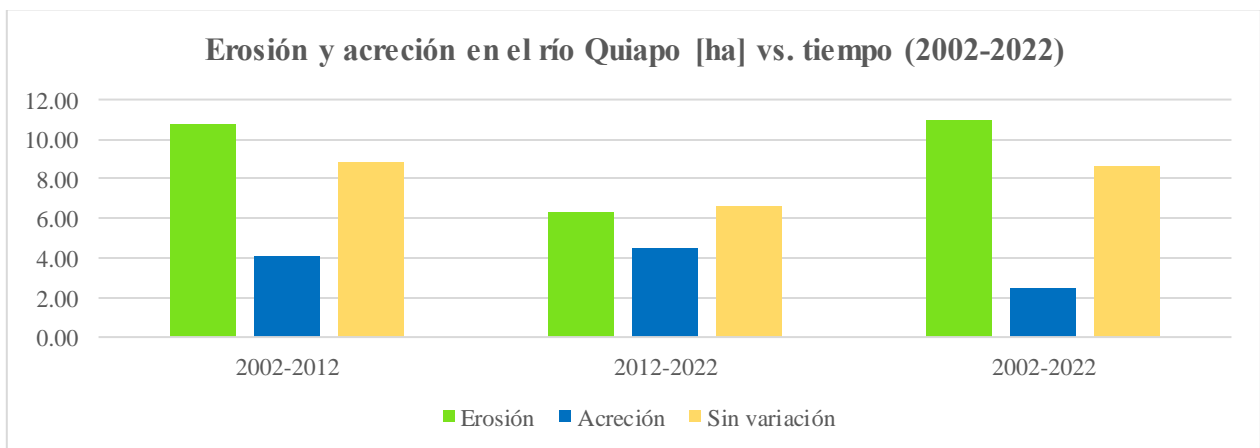


Figura. 5.74 Variaciones en la morfología del río Quiapo en zona cercana a la desembocadura, para el periodo 2002-2022. Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 Otro: Densidad de incendios forestales

En última instancia, se añadió la categoría “otro” para incorporar parámetros que no encajaban totalmente con las categorías anteriormente descritas. En el presente trabajo, se procedió a analizar dentro de esta categoría, la “Densidad de incendios forestales” que han afectado al área de estudio durante los últimos años.

Para ello, se recurrió a la información disponible en el repositorio web del Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales (SIMEF), que cuenta con capas vectoriales para el periodo 2010-2022. A partir de la reprocesamiento de los datos, se elaboró un mapa multitemporal de densidad de incendios forestales, además de una tabla y gráficas con las principales estadísticas relacionadas a estos eventos.

5.2.6.1 Densidad de incendios forestales

Desde 2010 hasta 2022, la distribución espacial de los incendios forestales dentro del área de estudio, ha evolucionado progresivamente tal como lo muestra la Figura. 5.75.

A partir de la figura, se advierte en primer lugar, que la mayor parte de siniestros han tenido lugar entre las comunas de Lebu y Curanilahue, seguido de Los Álamos y, en considerable menor proporción, al norte del territorio, en la comuna de Arauco. Por otra parte, se puede notar cómo desde el periodo 2010-11 hasta 2013-14, la densidad de incendios no es tan elevada, salvo en el caso de la comuna de Curanilahue, donde se registran numerosos focos relevantes, sobre todo en el periodo 2011-12. A partir de 2014, la densidad de estos eventos, comienza a afectar en gran medida también a Lebu, sobre todo hacia el sector centro del territorio, y ya entre 2017-2019 se aprecia una gran concentración de incendios el extremo este de dicha comuna. En el último tramo del periodo considerado, a partir 2019 se logra identificar un marcado incremento en la densidad de incendios, que avanza progresivamente hasta el periodo 2021-22 donde se observa la mayor cantidad de focos siniestrados.

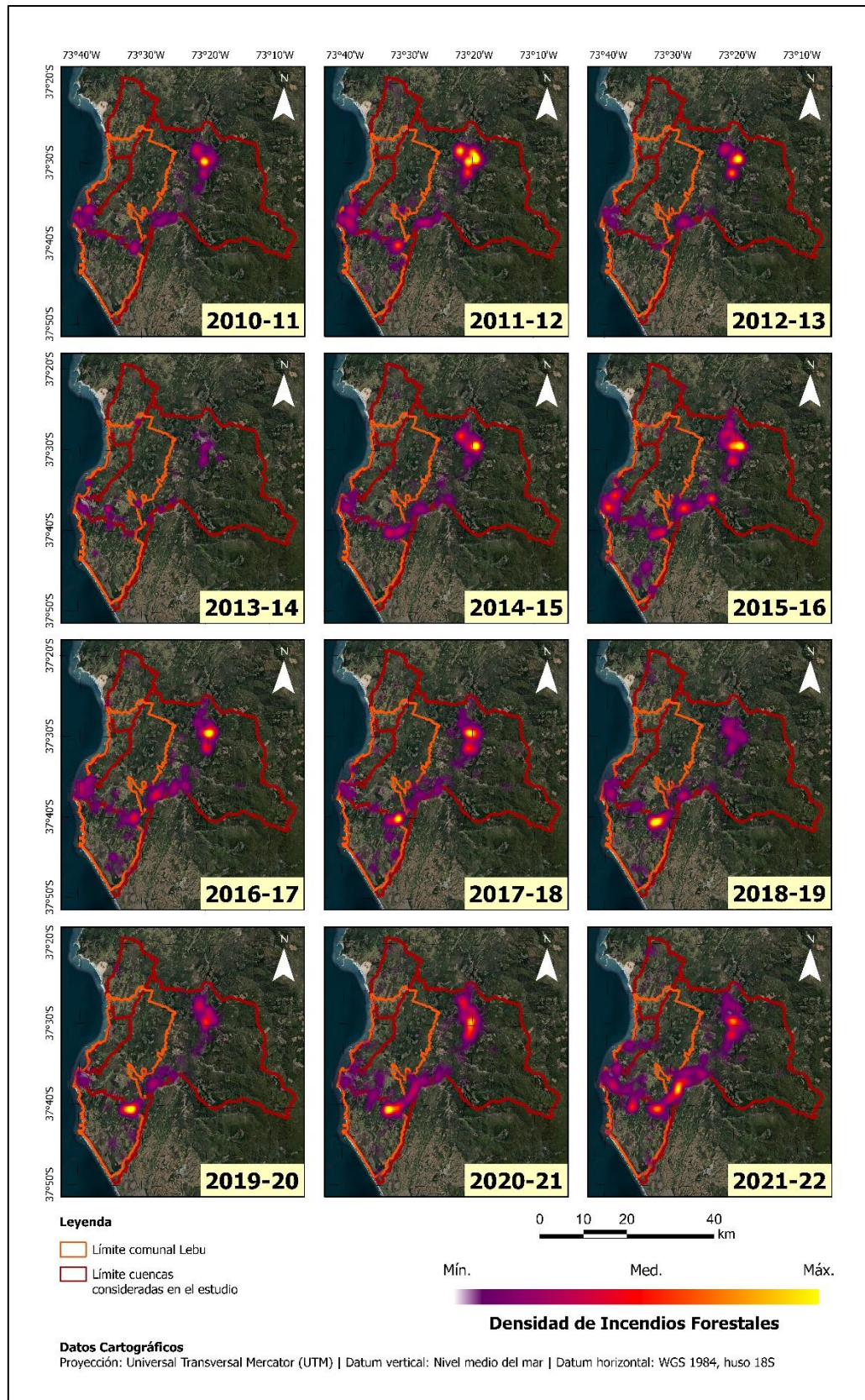


Figura. 5.75 Densidad de incendios forestales en el área de estudio para el periodo 2010-2022. Elaborado a partir de capas vectoriales de SIMEF.

Gracias a la figura anteriormente descrita, es posible analizar cualitativamente la distribución y evolución de los incendios en el periodo 2010-2022, no obstante, la Tabla 5.29 desglosa el detalle de la cantidad de incendios por año junto con la superficie afectada por comuna, expresada en hectáreas.

Tabla 5.29 Superficie afectada por incendios forestales en el área de estudio, para el periodo 2010-2022. Elaborado a partir de capas vectoriales de SIMEF.

Periodo	Incendios por comuna								Total incendios	Total sup. afectada [ha]
	Arauco	Sup. afectada [ha]	Curanilahue	Sup. afectada [ha]	Lebu	Sup. afectada [ha]	Los Álamos	Sup. afectada [ha]		
2010-11	-	-	217	96,20	109	55,18	76	31,48	402	182,86
2011-12	9	11,39	337	24,50	148	75,63	73	14,54	567	126,06
2012-13	3	2,55	332	16,56	76	31,43	82	23,35	493	73,89
2013-14	3	0,25	359	57,15	155	80,59	85	25,94	602	163,92
2014-15	7	9,25	395	74,53	197	224,64	163	111,34	762	419,76
2015-16	5	2,14	166	27,03	142	244,90	88	17,22	401	291,28
2016-17	2	0,19	102	22,70	75	80,23	58	6,64	237	109,76
2017-18	2	0,31	201	64,34	115	62,33	82	39,63	400	166,62
2018-19	6	1,51	102	43,36	209	66,10	50	183,26	367	294,23
2019-20	6	15,45	263	403,83	280	143,13	108	59,54	657	621,94
2020-21	8	4,32	387	155,74	293	170,88	194	69,43	882	400,37
2021-22	9	1,55	191	54,03	232	142,78	224	164,43	656	362,78

A partir de la tabla anterior, se constata que, tal como lo mostraba la Figura. 5.75, la mayor parte de incendios han tenido lugar en las comunas de Curanilahue y Lebu, y que la zona menos afectada corresponde a Arauco. Sin embargo, al revisar con mayor detención las cifras detalladas en la tabla, se puede notar que, aunque en algunos periodos la cantidad de eventos es mayor en Curanilahue, la superficie afectada es considerablemente superior en el territorio de Lebu, tal es el caso de los periodos 2013-14 y 2014-15, donde la primera comuna registra más de 350 siniestros en ambos casos, con superficies afectadas de 57.15 y 74.53 hectáreas respectivamente, mientras que, en el caso de Lebu, la cantidad de incendios no supera los 200 y, a pesar de ello, las hectáreas consumidas alcanzan un total de 80.59 y 224.64 en cada periodo respectivamente.

Lo anterior, puede notarse con mayor claridad en los gráficos de las Figuras 5.76 y 5.77. Por otra parte, a partir de la primera de estas figuras se identificar la tendencia general hacia el aumento en

la cantidad de incendios forestales en cada una de las comunas dentro del área de estudio, aunque, en el caso de Curanilahue se registra una gran disminución de siniestros entre 2014-2017, mas, en los últimos años, se presenta una nueva alza, con una máxima que ronda los 400 incendios en 2019-20, además de ello, este mismo periodo constituye la mayor superficie afectada dentro del registro histórico analizado, con más de 400 hectáreas de bosques consumidas, tal como es posible ver en la Figura. 5.77.

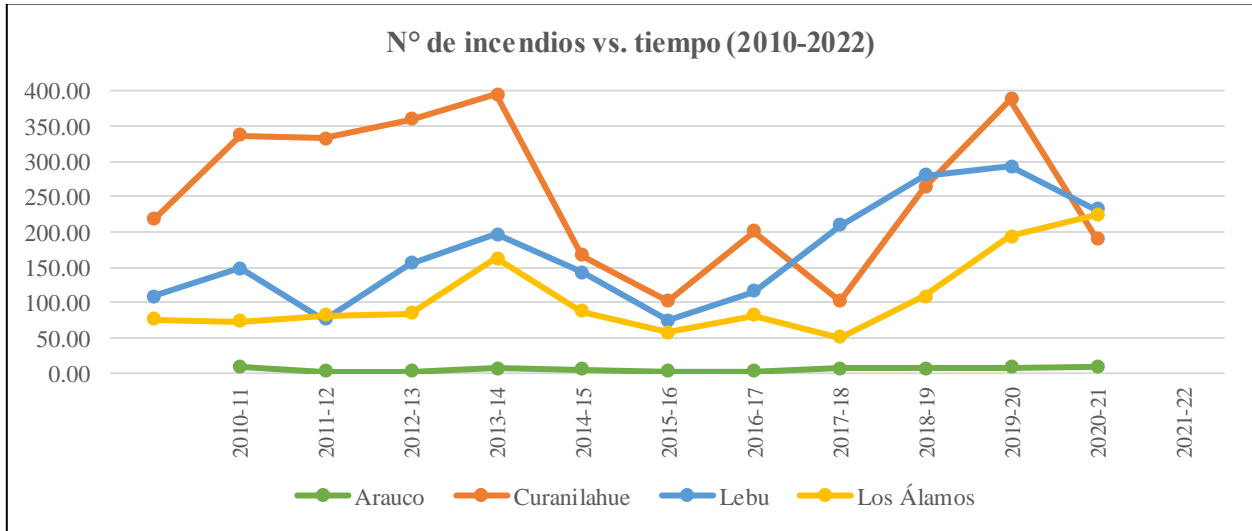


Figura. 5.76 Número de incendios forestales en el área de estudio, para el periodo 2010-2022. Elaborado a partir de capas vectoriales de SIMEF.

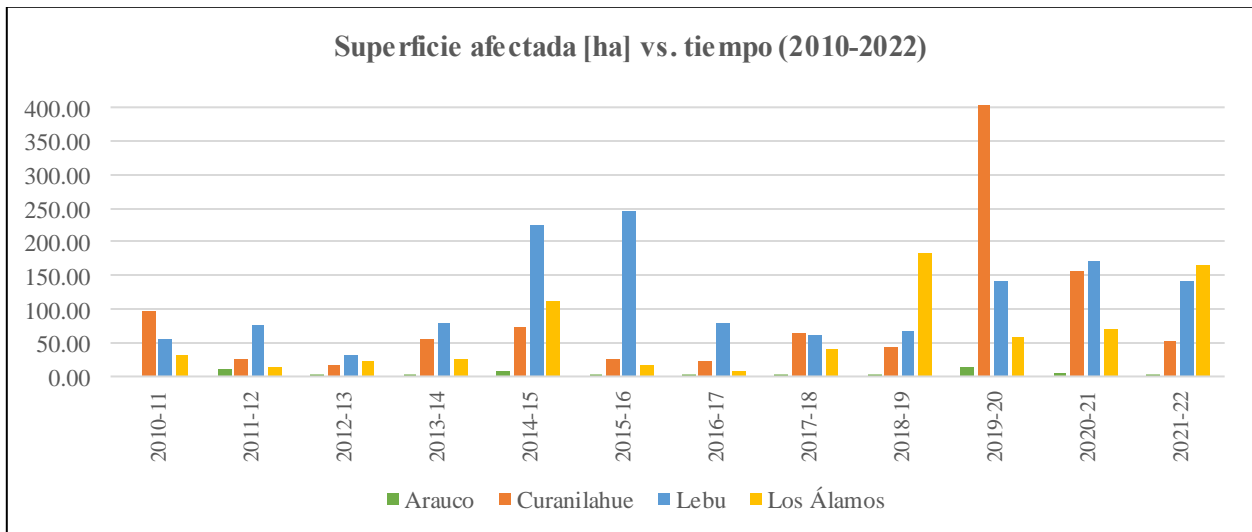


Figura. 5.77 Superficie afectada por incendios forestales en el área de estudio, para el periodo 2010-2022. Elaborado a partir de capas vectoriales de SIMEF.

6 DISCUSIÓN

6.1 Generalidades

A continuación, se discuten los resultados obtenidos a partir del análisis de los parámetros bio-geo-físicos y sus posibles vínculos con el estado de los bienes comunes en el área de estudio. Además de ello, se presenta un cuadro resumen (Tabla 6.1) que integra dichos resultados, con los comunes involucrados en cada grupo de parámetros, la tendencia predominante o hallazgo principal y presentando, además, las posibles influencias en cada parámetro.

Tabla 6.1 Resumen de los resultados obtenidos y posible influencia en los parámetros bio-geo-físicos. Fuente: Elaboración propia.

Grupo	Parámetros	Comunes involucrados	Influencia	Tendencia predominante/ Hallazgo principal
Climáticos/ Atmosféricos	Temperatura	Bosque nativo: Flora, Nalcas, Frutos de recolección silvestre, Hierbas medicinales, Hongos	Variabilidad climática y cambios en las temperaturas mínimas y máximas	Aumento
	Precipitaciones		Variabilidad climática y cambios en el régimen pluviométrico	Disminución
	Humedad relativa del aire		Variabilidad climática	Disminución
	Índice de precipitación estandarizado		Variabilidad climática, aumento de periodos de sequías, cambios en las temperaturas y régimen pluviométrico	Disminución
Oceanográficos	Presión atmosférica	Biota del borde costero: Algas, Mariscos, Peces	Variabilidad climática, eventos de anticiclones	Aumento
	Temperatura del aire		Variabilidad climática	Disminución
	Temperatura superficial del mar		Variabilidad climática	Tendencia poco clara
	Nivel medio del mar		Variabilidad climática, aumento global del nivel del mar	Aumento
	Temperatura del fondo marino		Variabilidad climática, influencia de corrientes oceánicas	Aumento
	Salinidad		-	Aumento poco significativo
	Clorofila, Biomasa y Fitoplancton		Variabilidad climática, corrientes oceánicas y eventos de surgencia marina	Aumento
	Sílice, Nitratos, Fosfato		Variabilidad climática, corrientes oceánicas y eventos de surgencia marina	Aumento
	Hierro		-	Disminución
	Oxígeno disuelto		Contaminación de las costas, procesos de eutrofización, aumento de temperaturas, desoxigenación global de los océanos	Disminución
	pH		Acidificación global de los océanos	Disminución
Edafológicos	pH del suelo	Bosque nativo: Flora, Nalcas,	Uso extensivo de plaguicidas, deforestación, cambios en el régimen pluviométrico	pH de suelos ácido

	Uso de suelos	Frutos de recolección silvestre, Hierbas medicinales, Hongos	Auge de plantaciones forestales	Leve incremento
	NDVI		Auge de plantaciones forestales	Leve aumento
	NDMI		Auge de plantaciones forestales, variabilidad climática y cambios en las precipitaciones	Leve disminución
	LST		Extensa cobertura vegetal tanto de plantaciones como bosque nativo, variabilidad climática y cambios en temperaturas y precipitaciones	Leve disminución
	Erosión de suelos		Extensa cobertura vegetal tanto de plantaciones como bosque nativo	Erosión actual leve a moderada
Hídricos	Caudal	Bosque nativo: Flora, Nalcas, Frutos de recolección silvestre, Hierbas medicinales, Hongos	Variabilidad climática y cambios en el régimen pluviométrico, Desecamientos post grandes eventos sísmicos (terremotos 1960 y 2010)	Disminución
	Derechos de aprovechamiento de agua		Aumento en la demanda y consumo de fuentes de agua, mal manejo y sobreexplotación	Disminución del recurso hídrico
Geomorfológicos	Morfología costera	Biota del borde costero: Algas, Mariscos, Peces	Desplazamiento de línea de costa, aumento de superficie de playa, emersión de plataformas de abrasión marina y roqueríos	Aumento, ensanchamiento de playas post terremoto 2010
	Erosión y acreción río Quiapo	Río Quiapo	Desecamiento post terremoto 2010	Aumento de erosión y acreción post terremoto 2010
Otro	Incendios forestales	Bosque nativo: Flora, Nalcas, Frutos de recolección silvestre, Hierbas medicinales, Hongos	Aumento de plantaciones forestales, aumento de las temperaturas, malas prácticas e inicio intencional de incendios	Aumento

6.2 Parámetros climáticos/atmosféricos e hídricos

Comenzando con los parámetros dominados por el clima, la revisión de los registros históricos a partir de estaciones meteorológicas nacionales (DGAC y CR²-CAMELS) constatan efectos de la variabilidad climática, por una parte, un alza generalizada de las temperaturas máximas en las últimas cuatro décadas. Este leve, pero progresivo incremento se haría más notorio en periodos estivales, con veranos más calurosos, tal como se observaba en los mapas multitemporales obtenidos a partir de World Clim v2.1 (Figuras 5.11 y 5.12). En suma a lo anterior, los cambios registrados en el régimen pluviométrico, que se ha caracterizado por una disminución en las precipitaciones desde 1979 en adelante, con déficits de lluvias que rondan entre el 11-47%, no hacen sino agravar el escenario, fomentando eventos de sequías que influyen en el correcto

crecimiento de los bosques, afectando el desarrollo de la flora nativa, productora de bienes apreciados localmente como maqui, mutilla, avellanas, frutillas, michay, hierbas medicinales, entre otros, así como también de nalcas (*Gunnera tinctoria*), cuyo crecimiento es altamente dependiente de la humedad y agua disponible en zonas pantanosas y de quebradas, además, este común se alza probablemente como el más relevante para el sustento económico de las comunidades dedicadas a la recolección de frutos del bosque nativo en el área de estudio. En línea con lo anterior, de acuerdo con los resultados de la cartografía participativa, tanto los frutos del bosque como la propia nalca habrían experimentado drásticas disminuciones, abarcando cada vez menos superficie y con poblaciones cada vez menos abundantes, llegando en diversos sectores a lo largo del territorio a una pérdida de más del 50%.

Por su parte, los hongos (por ej.: loyo y changle), también muy apreciados en el territorio y que han visto una disminución al menos en los últimos 10 años de acuerdo a los relatos de los locatarios, son organismos muy sensibles a las variaciones del clima, siendo afectados por el alza de temperaturas y estrés hídrico; modificaciones que influyen principalmente en su fenología, productividad y cambio en la composición de la comunidad fúngica, pudiendo llegar a acarrear su desaparición, por ejemplo, a través de la modificación de la vegetación dominante (Moreno et al., 2013). La reducción en las poblaciones de hongos de suelo, ocupa una plaza importante entre las consecuencias producto de las alteraciones ecosistémicas y, aunque es menos nombrada, pudiera conducir a problemas dado el rol que juega la asociación simbiótica entre las raíces de plantas y las hifas de hongos conocida como “micorriza”, este proceso es vital para la subsistencia de ambas partes, dado que mientras la planta traspara energía en forma de azúcares y lípidos, los hongos transfieren agua y nutrientes como fósforo y nitrógeno, además de propiciar una mayor resistencia a sequías, toxicidad, patógenos, salinidad, etc. (Marín, 2018).

Otro aspecto de importancia respecto del descenso de las precipitaciones, es el cambio en el caudal de los cursos de agua que, tal como fue visto en el caso de los ríos Curanilahue y Lebu y del estero Plegarias (Figuras 5.56 y 5.57), han experimentado bajas considerables. Sin embargo, los caudales en los ríos de Chile, también pueden verse influenciados debido a la ocurrencia de eventos ENOS: El Niño y La Niña, que producen cambios en la intensidad de las lluvias. En el caso de la región del Biobío, se ha podido observar que los eventos de gran relevancia sucedidos en los años 1982-

83, 1972 y 1997-98, han contribuido a eventos de crecidas en las diferentes cuencas de la región y el de 1972, especialmente en las cuencas costeras (Araya-Ojeda e Isla, 2016), no obstante, el aun escaso registro pluviométrico y fluviométrico (50 años máximo), resulta aún insuficiente para predecir si la actividad relacionada a ciclos ENOS, aumentará o disminuirá estos eventos de crecidas o estiaje (Collins et al., 2010; Capotondi et al., 2013 en Araya-Ojeda e Isla, 2016).

Adicionalmente, cabe destacar que, diferentes cursos de agua dentro del territorio, como los anteriormente citados, también han sido fuertemente abatidos por los grandes sismos ocurridos en la zona centro y sur del país, a saber: terremoto 9.5 Mw de 1960 y terremoto 8.8 Mw de 2010 que, entre sus desastrosas consecuencias, ocasionaron el desecamiento de estos (Duhart et al., 2010; Quezada et al., 2012), lo que, sumado a una paulatina recuperación, ha afectado negativamente tanto a la ecología de los ambientes circundantes, como a las actividades cotidianas de la población local.

En tercer lugar, la revisión de los denominados derechos de aprovechamiento de aguas o DAA (Figura. 5.58), ha permitido constatar la gran demanda de fuentes hídricas en las diversas localidades dentro del área de estudio, con particular concentración de caudales superiores a los 50 L/s, en el flanco oriental de la subcuenca del río Lebu, particularmente, por el río Trongol y algunos más hacia el sur por el río Pilpilco. Por otra parte, también se registran importantes aglomeraciones de DAA en las cercanías de Quiapo y otros tantos distribuidos por las quebradas y esteros al sur de la comuna de Lebu. Esto, no hace más que constatar el hecho de que, los principales ríos inscritos en las subcuencas del área de estudio constituyen arterias hídricas críticas para toda la población local, sin ir más lejos, dentro de los registros de DGA analizados, se logra identificar que, el 67.2% de los DAA en el territorio, provienen de ríos o esteros. Por otro lado, el agua obtenida a partir de estos derechos de aprovechamiento, es destinada principalmente a bebida y usos domésticos, riego y al consorcio hidroeléctrico, aunque, tales aplicaciones recogen tan solo el 26.3% del total de DAA, mientras que el 72.4% de los datos, se encuentra bajo la denominación de “no especificado”, lo que deja ver grandes incertidumbres respecto del buen manejo del recurso hídrico.

En relación con la revisión del índice de precipitaciones estandarizado acumulado para 36 meses o IPE-36 (Figura. 5.22), este constata cómo desde la década de 1980 hasta fines de los 2000, ha

oscilado entre condiciones “normales” y “ligeramente lluviosas”, para cambiar abruptamente desde 2011 hasta el presente con condiciones “ligeramente secas” e incluso “extremadamente secas” en el último tiempo, situación que además, se extiende más allá de los límites del área de estudio, pudiendo afectar al menos, a toda la provincia de Arauco (Figura. 5.23).

Al escenario de escasez hídrica, se adhieren una serie de limitaciones que aumentan la problemática ante mayores vacíos de información, que coartan las posibilidades de elaboración de estrategias para el resguardo de cursos de agua, tal es el caso de estaciones en APR como los de Plegarias, Pehuén y Santa Rosa, que aún instaladas y operativas desde 2018 (Tabla 5.17), carecen de registro histórico hasta la fecha, desconociéndose su estado actual. A ello, también se suma el hecho de que múltiples ríos y esteros, algunos tan relevantes como el Quiapo, no cuentan con medición alguna de sus caudales o de calidad de sus aguas, situación que preocupa especialmente, en un territorio que tal como lo relatan sus pobladores es testigo de racionamiento por camiones aljibe desde hace al menos 8 años.

Pese a lo anterior, sí ha sido posible realizar al menos un análisis respecto de la calidad de las aguas en el río Lebu, a partir de los datos de su estación homónima, única que cuenta con información de este tipo en el área de estudio. Al respecto, luego de comparar los registros de variables fisicoquímicas, elementos mayoritarios y traza con los rangos aceptados por las normas chilenas NCh409 y NCh1333 (Tabla 5.26), se ha constatado que aunque gran parte de los parámetros cumplen con los límites establecidos, existen algunos casos de elementos traza como el hierro, mercurio, plomo y molibdeno, que exhiben un porcentaje no menor de incumplimiento, a saber, 87.5%, 20.8%, 17% y 67.6% respectivamente, lo que además destaca al tratarse por un lado de alto contenido en Fe y por otro de la presencia de dos metales pesados tóxicos como lo son el Hg y Pb. Además de lo anterior, se ha encontrado que la razón sodio porcentual o Na%, normada por la NCh1333 con un límite máximo del 35%, excede en reiteradas oportunidades dicho umbral, alcanzando cifras que superan incluso el 50%.

6.3 Parámetros edafológicos e incendios forestales

En relación con los parámetros edafológicos, en primer lugar, cabe destacar un aspecto de suma relevancia y que se encuentra estrechamente vinculado con el anteriormente señalado escenario de escasez hídrica en el territorio, el cual corresponde al hecho de la preponderancia que tienen las plantaciones forestales en el área, las que, producen impactos negativos sobre el rendimiento hídrico cuando reemplazan otras coberturas como el bosque nativo, ya que modifican los procesos de transpiración, intercepción y evaporación dentro de una cuenca (Galleguillos et al., 2021).

En el área de estudio, las plantaciones de monocultivo, desde su aparición en la década de 1980 han experimentado un cuantioso auge, expandiéndose progresivamente al punto de ocupar al menos desde 2001, más del 70% de las coberturas boscosas en el territorio (Figura. 5.47), reduciendo drásticamente el bosque nativo. Esta situación exagera las problemáticas territoriales, dado que, para la gran mayoría de las comunidades locales, el daño producido resulta más que evidente y así lo señalan en sus relatos, reiterando constantemente, cómo desde hace al menos 20 años, muchos de los comunes del bosque nativo, como frutos silvestres, hierbas medicinales y hongos han sufrido apreciables reducciones. Además de ello, se ha reconocido que, cambios en el uso de la tierra, con procesos de deforestación, degradación de los bosques, desencadenados por la invasión de especies exóticas (por ej.: *Pinus radiata*) propician un aumento en la vulnerabilidad del territorio, sobre todo en un contexto de sequías, creando condiciones que favorecen la ignición, aumentan la carga combustible e incrementan la posibilidad y propagación de incendios forestales (González et al., 2016). Esto también resulta constatable en el área de estudio, donde la densidad y gravedad de eventos incendiarios ha aumentado paulatinamente desde 2010 en adelante, viéndose particularmente afectadas, las comunas de Curanilahue y Lebu (Figura. 5.75).

Por otra parte, los análisis realizados por medio de los índices espectrales NDVI, NDMI y LST (Figuras 5.48, 5.50 y 5.52 respectivamente), han mostrado variaciones más bien sutiles para el periodo 1986-2022, no obstante, han permitido atestiguar y constatar cambios en las coberturas del territorio anteriores y posteriores a 2010, respectivamente, lo cual no era posible únicamente mediante la revisión de las capas vectoriales de catastros de usos de suelo. Entre los resultados más destacables, se cuenta por parte del NDVI, la identificación de un aumento de áreas de vegetación entre 2002-2022 en las subcuencas del río Quiapo (sector norte) y Costeras entre río Lebu y estero

Ranquilco (sector sur). En cuanto al NDMI, la tendencia promedio marca una leve propensión al decrecimiento de la humedad. En tercer lugar, el LST, presentó un comportamiento mucho más heterogéneo que los otros dos índices, no mostrando una clara tendencia, aunque al revisar la evolución de sus valores medios, se distingue una leve inclinación hacia la disminución de las temperaturas superficiales terrestres. Además de ello, la revisión de las respectivas correspondencias entre índices espectrales denotó, por un lado, una relación lineal negativa tanto en el caso de NDVI y NDMI respecto de LST, indicando que, a mayor proporción vegetativa y mayor humedad, la temperatura del suelo se inclina hacia cifras menores. En segunda instancia, la relación NDVI-NDMI, que además presentó el mejor ajuste de datos, denota un crecimiento lineal positivo, vale decir, a mayores valores de NDVI, también aumenta el NDMI. Esto último, deja entrever dos de las principales limitaciones que pueden presentarse al trabajar con este tipo de metodologías, dado que, aunque en principio un buen ajuste de datos puede mostrar una relación consistente, cabe recordar que, NDVI solo indica la presencia o ausencia de vegetación, sin posibilidad de diferenciación entre tipos y mucho menos de especies, además de ello, un crecimiento en los valores de NDMI es típicamente considerado como un buen indicador de disminución en el estrés hídrico de un área, lo cual, como se ha visto anteriormente, se contradice con la gran presencia de plantaciones forestales en el área de estudio, las que han contribuido a agravar el escenario hídrico en el territorio, no a mejorarlo. Pese a ello, la utilización de índices espectrales como técnica de monitoreo remoto, aporta una aproximación útil para el entendimiento del escenario particular de un territorio, aunque sus resultados deben ponderarse con cautela.

Otro aspecto relevante referido a los suelos en el territorio, lo constituye el pH de estos. Al respecto, el análisis realizado sobre suelos de la comuna de Lebu (Figura. 5.41), denotan una leve diferencia entre las mediciones realizadas *in situ* frente a las realizadas en laboratorio, para la mayor parte de las muestras. En cuanto a los valores de pH obtenidos (Figura. 5.44), los resultados muestran suelos bajo denominaciones de “muy fuertemente ácido” a “ligeramente ácido”, salvo dos excepciones que exhiben un pH “neutro”, correspondiendo uno de los casos a suelo de bosque nativo y el otro a suelo de plantaciones forestales, pero recientemente afectado por un incendio al momento de su recolección, pudiendo esto haber influido en su resultado. Por su parte, las mayores variaciones entre mediciones con pH-metro en muestra húmeda y seca, se registraron en aquellos suelos recolectados el sector sur de Lebu, observándose leve acidificación de las muestras y cambio en la

denominación de estas, donde el caso más extremo se percibió en la muestra L-18 cuyo pH bajó de “fuertemente ácido” a “extremadamente ácido”. Esta acidez en el pH de los suelos puede estar influenciada no sólo por la vasta presencia de predios forestales, sino también por su permanencia en el tiempo, los que progresivamente degradan los suelos, alterando su composición química natural. A propósito de ello, estudios a nivel nacional y en otros sectores de Latinoamérica como los de Schlatter y Otero (1995) y Delgado et al. (2006) han señalado que suelos bajo coberturas de plantaciones exóticas como *Pinus radiata* o *Eucalyptus sp.* alteran las características químicas y nutritivas del suelo, reduciendo las cantidades de elementos como calcio, magnesio, nitrato, y reduciendo las concentraciones generales de bases intercambiables, lo que entre otros factores, favorece la disminución en el pH de los suelos.

Finalmente, en relación con la erosión de los suelos en el área de estudio, pese a que la evaluación *in situ* de geoformas erosivas del relieve no pudo ser realizada en este trabajo, sí se realizó un ejercicio analítico bajo la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos, mejor conocida por su acrónimo en inglés “USLE”, la cual permite examinar de forma aproximada, el escenario de erosión hídrica en cuencas hidrográficas. Los resultados de este análisis (Figura. 5.55), han mostrado que, en el territorio estudiado, la erosión hídrica actual oscila entre las denominaciones “no aparente” o “sin erosión” y “ligera”, donde la mayor parte de la comuna de Lebu, se encontraría poco afectada por la acción de procesos erosivos. Por su parte, transitando progresivamente hacia un dominio fisiográfico distinto, en zonas de la cordillera de Nahuelbuta, la situación cambia a la categoría de “moderada” aproximadamente. En cuanto al segundo caso derivado de la USLE, el de la erosión hídrica potencial, esta muestra que, ante la desaparición total de los terrenos boscosos en el territorio, la situación cambiaría drásticamente, donde el riesgo de erosión pasaría de “moderado” a severo” e inclusive “muy severo” en los casos más extremos. Aunque suponer la obliteración completa de la cobertura vegetal en el área plantea un escenario poco probable, sí permite, comprobar el relevante rol que juegan los bosques en el resguardo de los territorios ante el avance de ciertas formas erosivas. Por lo demás, el estudio sobre la determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile, realizado por CIREN en el año 2010 y, en el que se emplean metodologías similares a la USLE, muestra en su síntesis de resultados para la región del Biobío, que en el área de estudio, el escenario resulta similar al obtenido en el presente trabajo, observándose que, en el caso de la erosión actual, las denominaciones oscilan mayoritariamente

entre “erosión no aparente” o “sin erosión” hasta “ligera” o “moderada”, de acuerdo con la categorización empleada en ese estudio, mientras que, en cuanto a la erosión potencial, la situación cambia a erosiones “severas” y “muy severas” en los casos más extremos.

Cabe resaltar que, tal como se anunciaba en capítulos anteriores, el empleo de la metodología USLE, no está exenta de limitaciones, señalándose a continuación, las principales de ellas:

- El método, propuesto originalmente por Wischmeier y Smith (1978), fue desarrollado teniendo en consideración las características de suelos próximos a las Montañas Rocosas en Estados Unidos y aunque su uso se ha extendido ampliamente en todo el mundo, sólo contados países, por ejemplo, la India, han desarrollado modificaciones para la USLE teniendo en cuenta las particularidades de sus territorios.
- No representa la erosión de un territorio en un año concreto, sino más bien de un contexto actual, además, la representación de la erosión en ton/ha*año puede acarrear sobrestimaciones de la situación real en una determinada área, por ello, muchas veces se opta por una simbología cualitativa, más que cuantitativa en las cartografías resultantes.
- USLE se basa principalmente en la erosión producida por efecto de las precipitaciones, de ahí la denominación de "erosión hídrica", sin embargo, además de la acción de las lluvias existen otros factores (por ej.: la acción de los vientos) y otras posibilidades de erosión de los suelos.
- USLE considera que los factores R, K, LS, C y P, son suficientes para cubrir la totalidad de las características litológicas y edafológicas de un territorio, sin embargo, la interrelación entre estos componentes por medio de una operación multiplicativa simple, pudiese estar añadiendo inconsistencias en el resultado del modelo.
- El escenario de erosión hídrica potencial, supone la obliteración total de la cobertura vegetal, lo que, en muchos territorios plantea un escenario sumamente hipotético y poco probable.

Por todo lo anterior, se recomienda utilizar los resultados obtenidos a partir de técnicas basadas en la USLE con cautela.

6.4 Parámetros oceanográficos

Para el análisis de los parámetros oceanográficos se recurrió a bases de datos nacionales, provenientes de estaciones CENDHOC del SHOA y a modelos de observación remota globales, en particular al Global Ocean Physics Reanalysis (GOPR) y al Global Ocean Biochemistry Hindcast (GOBH), ambos del programa Copernicus Marine Service, de la Unión Europea. A partir de estas fuentes se pudo efectuar la revisión de las variables: presión atmosférica, temperatura superficial del mar, temperatura potencial del fondo marino, nivel medio del mar, concentraciones de clorofila, biomasa, fitoplancton, nutrientes, oxígeno, salinidad y pH.

En primer lugar, en relación con la presión atmosférica (Figura. 5.25), el registro disponible de las estaciones CENDHOC, el comportamiento general en las tres estaciones revisadas, exhibe una tendencia hacia el aumento, con variaciones que oscilan en un rango de entre 1013-1021 mbar, estando estas mínimamente por sobre lo comúnmente considerado como “normal”. Estas presiones, podrían estar influenciadas por eventos de anticiclones locales, en los que el aire converge y desciende, aunque en una escala mayor, el alza de las presiones (y de otras variables climáticas) estaría más vinculado a la acción del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (ASPS), el cual corresponde a un extensa área de altas presiones emplazada sobre el Cono Sur y que juega un rol muy importante sobre el control del clima desde el norte hasta la zona central del país, su posición general es prácticamente inamovible, sin embargo, sus fluctuaciones tanto norte-sur como este-oeste, producen ciclos en los que sus efectos son más fuertes y débiles en diferentes épocas del año. A propósito de ello, se ha señalado que entre las consecuencias de dichas fluctuaciones del ASPS, se encuentran periodos de disminución en la cubierta de estratocúmulos (baja nubosidad), produciendo cielos más despejados, que influyen en la fluctuación de la presión atmosférica, pero también favorecen las condiciones de menores precipitaciones, sobre todo en periodos estivales (Garreaud y Muñoz, 2005; Garreaud y Rutland, 2006).

En cuanto a la temperatura, las bases de datos revisadas aportan un registro del comportamiento de esta variable en tres niveles: temperatura del aire, medida a nivel del mar (boyas de estaciones CENDHOC), temperatura superficial del mar (boyas y GOPR) y temperatura potencial del fondo marino (GOPR). En primer lugar, el análisis de la temperatura del aire (Figura. 5.26), muestra que, pese a que el patrón de evolución de la estación Talcahuano (mayor rango temporal) exhibe una

leve propensión al alza, el patrón de la segunda mitad del periodo abarcado, vale decir, desde 2010 hasta 2022, se aproxima notablemente al descrito por las estaciones Coronel y Lebu, que marcan una tendencia a la disminución. Si bien el periodo de disminución es considerablemente corto y con variaciones en la temperatura más bien pequeñas, estas variaciones podrían guardar cierta relación con efectos derivados de la acción del ASPS, que como ha sido mencionado antes, juega un relevante papel sobre el control del clima en el área.

En segundo lugar, se encuentra la temperatura superficial del mar o TSM, la cual exhibe patrones de evolución diversos que dificultan dilucidar una tendencia generalizada. En primer lugar, los datos registrados por estaciones CENDHOC (Figura. 5.27) abarcan periodos temporales altamente contrastantes, de manera que, mientras la estación Talcahuano posee un registro desde 1949, las estaciones en las costas de Coronel y Lebu alcanzan a cubrir poco más de 10 años cada una. En cuanto a la serie temporal de la estación Talcahuano, dentro de su extenso registro histórico, destacan varios momentos de disminución y alza prolongados, sin embargo, la propensión general, denota una leve tendencia hacia el incremento, constatable sobre todo en el paulatino avance de las temperaturas mínimas, que comienzan bajo el umbral de los 11°C y desde 2008 en adelante este es rebasado totalmente. El caso de Coronel denota una propensión al alza, similar a Talcahuano, aunque las variaciones son poco significativas. Por último, la estación Lebu muestra el comportamiento contrario, con una inclinación hacia el descenso de las temperaturas, aunque aun en su escaso registro histórico, presenta varios pulsos con tendencia hacia el alza. En segundo lugar, los datos extraídos del modelo GOPR (Figura. 5.29), denotan una gran similitud entre las series de los 6 puntos analizados, con un patrón de evolución que marca una leve, pero clara tendencia hacia la disminución de las temperaturas.

Respecto de las discrepancias entre las diferentes series de datos, en primer lugar, en el caso de los comportamientos exhibidos por las estaciones CENDHOC estos podrían verse influenciados dada la distancia geográfica existente entre ellas, otro factor relevante corresponde a las particularidades climáticas de cada localidad y, en tercer lugar, la amplia diferencia entre los periodos de tiempo abarcados, también ha de jugar un papel importante en su representación. En cuanto a la semejanza entre los datos nacionales y aquellos provenientes del modelo GOPR, cabe destacar que, el registro efectuado en el primer caso, proviene de estaciones ubicadas muy próximas a la

costa de cada localidad, además, al estar sobre boyas, permite una toma de datos directa y a escasa profundidad, no así en el segundo caso, dado que el modelo GOPR, corresponde a un repositorio de datos tomados de manera remota, a través de satélites, los que por medio de un procesamiento matemático, elaboran estimaciones de valores potenciales de la variable, además, los puntos considerados, se encuentran más alejados de la costa que en el caso de las estaciones CENDHOC.

Continuando con la temperatura potencial del fondo marino (Figura. 5.30), los datos del modelo GOPR muestran cierta heterogeneidad entre los distintos patrones de los puntos considerados, con valores que oscilan entre 9-11°C para tres de ellos, mientras que otros dos puntos se encuentran en un rango de entre 4-6°C y por último un punto que exhibe una serie con temperaturas que bordean los 4°C. Estas diferencias entre las distintas series de datos podrían hallar explicación en las diferencias e irregularidades del relieve marino, así como las capacidades del propio modelo GOPR para detectar dichas variaciones. Aun con todo, la tendencia general indicada por los valores medios de los datos, señala una muy leve propensión hacia el alza, aunque esta resulta poco significativa.

Respecto de las variaciones en el nivel medio del mar, la revisión de las estaciones CENDHOC (Figura. 5.28) denotan una tendencia hacia el aumento de la variable en la totalidad de los casos, aunque cabe destacar que las fluctuaciones percibidas por la estación Talcahuano son mucho mayores, con varios momentos de alzas y bajas identificables. El alza registrada podría estar viéndose influenciado por efectos de variabilidad climática y también, por el cambio generalizado en el nivel medio del mar a escala global, el cual ha experimentado un progresivo ascenso desde 1900 y se prevé que continuará haciéndolo en las próximas décadas (IPCC, 2014; Frederikse et al., 2020). Algunos efectos posibles que conlleva el aumento del nivel del mar, contemplan cambios en la morfología costera, inundaciones, intrusión de agua salada, cambios en la concentración de nutrientes con pérdida de hábitats costeros, desplazamiento de especies, entre otras (Botello et al., 2010).

En cuanto a otras variables como la salinidad, de acuerdo con los puntos analizados frente a las costas del área de estudio (Figura. 5.31), esta se encontraría oscilando mayoritariamente entre los 33-34 psu, con momentos de alzas y bajas en el periodo 1993-2020, aunque sin cambios

significativos. La tendencia general descrita por la serie de datos, denota una muy leve propensión al aumento.

Distintos son los casos del oxígeno disuelto y pH (Figuras 5.39 y 5.40), marcando ambos una inclinación al descenso de sus valores, siendo el caso del pH el más evidente, aunque este se mantiene dentro del rango alcalino. Al respecto, tanto las variaciones en el oxígeno disuelto como en el pH, pueden verse influenciadas por los cambios globales que estos parámetros han experimentado en las últimas décadas, reconociéndose actualmente que los océanos del mundo están experimentando una clara desoxigenación y acidificación y que además se encuentran estrechamente vinculadas. En ambos casos, la principal causa asociada refiere al incremento de las emisiones antropogénicas de GEI, las que se prevé que continuarán en ascenso al menos hasta finales de siglo (IPCC, 2007). Además, el aumento de nutrientes que ingresan al océano como nitratos y fosfatos, está promoviendo la eutrofización de las masas de agua y el desarrollo de cientos de zonas costeras hipóxicas que limitan la subsistencia de muchas especies como moluscos, crustáceos y peces, y cientos de lugares costeros alrededor del mundo han llegado a tener concentraciones de oxígeno capaces de deteriorar los procesos biológicos, aumentando la competencia y el desplazamiento de especies marinas (Laffoley y Baxter, 2019; Isensee et al., 2021). Efectos como los mencionados, podrían estar teniendo lugar en el área de estudio, dado que, tanto los relatos y percepciones de locatarios como resultados derivados de la experiencia de cartografía participativa, denotan notables variaciones en las poblaciones de diversos comunes marinos como la disminución de cochayuyo y proliferación de huiro (*Macrocystis pyrifera*) o el notorio decrecimiento de piures, caracoles, machas, erizos, pepinos de mar, picorocos, entre otros, que en algunos casos supera el 50% respecto a cómo habría sido la situación hace aproximadamente 20 años atrás.

En relación con la concentración de nutrientes, a partir de los datos analizados, se constata que efectivamente, tanto las de la sílice (Figura. 5.35), como las del nitrato (Figura. 5.36) y fosfato (Figura. 5.37) han experimentado alzas en el periodo 1993-2020, lo que podría verse asociado a procesos de eutrofización. Vinculado a estos parámetros, se encuentran las concentraciones de clorofila, biomasa y fitoplancton (Figuras 5.32, 5.33 y 5.34 respectivamente), las que se ven favorecidas ante el aumento de nutrientes en el océano. El respectivo comportamiento de estas

frente a las costas del área de estudio, también han estado marcado por una propensión hacia el aumento, aunque de manera mucho más leve que en las anteriores variables.

Por último, respecto de las concentraciones de hierro (Figura. 5.38), estas muestran una leve inclinación a la disminución, aunque sus variaciones no son demasiado extremas. Respecto del rol de esta variable en los océanos, Pichevin et al. (2014) señala que las condiciones de limitación de sílice oceánico estarían provocadas en gran medida por la deficiencia de hierro, lo que afectaría el desarrollo de microalgas como fitoplancton y con ello, ocasionaría una restricción indirecta a la absorción de carbono oceánico.

6.5 Parámetros geomorfológicos

En relación con los parámetros geomorfológicos, el análisis realizado en el área se centró principalmente en la zona litoral, donde se examinó la evolución de la morfología de las costas frente a las principales localidades del territorio, a saber: Quiapo, Villarrica, Millongue, Lebu, Mina Costa, Chimpe-Morhuilla (Figuras 5.66 a 5.71). Al respecto, se comparó el estado de dichas costas durante el periodo 2002-2022 por medio de imágenes satelitales de Google Earth, constatándose en primer lugar, los visibles efectos del terremoto 8.8 Mw del 27 de febrero de 2010, el que ocasionó el ensanchamiento generalizado de las playas y emersión de geoformas como plataformas de abrasión marino y algunos roqueríos, producto del alzamiento cosísmico de aproximadamente ~1.5-2m (Duhart et al., 2010; Quezada et al., 2012). Particularmente, en las localidades desde Lebu hacia el norte del territorio, experimentaron un incremento de la superficie de playa desde alrededor de un 49% a más del 90% entre 2002 y 2012, mientras que en el caso de las zonas de plataformas y roqueríos estas también aumentaron apreciablemente en todas las localidades, con la única excepción de Quiapo, donde no se observó este tipo de geoformas en ningún momento del periodo considerado. Por su parte, el caso más remarcable se evidenció frente a la localidad de Morhuilla, que exhibió la emersión de una gran plataforma de abrasión de alrededor de 115,48 ha en 2012. En el caso de las localidades de Mina Costa, Chimpe y Morhuilla, estas también experimentaron un notorio cambio, aunque, dado que sus playas ya eran bastante extensas desde antes del terremoto, el contraste no fue tan drástico.

Por otra parte, en la escena del 2022, se observó un nuevo angostamiento de las playas en la totalidad de las costas examinadas, y sólo dos localidades: Villarrica y Lebu, mostraron un leve aumento de sus superficies de plataforma y/o roqueríos entre 2012 y 2022, aunque esto último, podría estar más relacionado a leves procesos erosivos o en su defecto a errores en el tratamiento de las imágenes. Sin embargo, la disminución de la superficie de las playas 12 años después del terremoto de 2010 podría hallar una explicación en la paulatina “recuperación” del litoral producto de nuevas subsidencias propias del periodo intersísmico (Quezada et al., 2012).

En relación con los efectos sobre la biota intermareal, posterior al terremoto, se observó el varamiento y mortandad de cientos de algas y algunos mariscos como lapas que habitaban adheridos a las rocas, por otra parte las comunidades locales señalan que la labor de recolección de mariscos se dificultó posterior al 2010, dado que antes se aproximaban a la orilla y entraban hasta que el mar rozaba sus cinturas y luego, tuvieron que comenzar a valerse de buzos que les ayudasen a cumplir sus acostumbradas cuotas.

El segundo análisis referente a la geomorfología, se realizó sobre el río Quiapo, también para el periodo 2002-2022. En este caso, se consideró un tramo de aproximadamente 2 km de extensión cercano a la zona de desembocadura del río en el que se examinó los cambios en la erosión y acreción de este curso de agua (Figura. 73). Al respecto se constató un visible cambio en la morfología posterior al terremoto del 2010, con disminución del caudal y consecuente reducción del recurso hídrico además de aumentos en superficies erosionadas y acrecionadas, sobre todo en el sector occidental, en el que además es apreciable la disminución y posterior desaparición de un pequeño lago en herradura. Cabe destacar, que la aparición original del mismo, es típica de la evolución en ríos meandriformes, producto del cambio de dirección en las sinuosidades de estos que acaban con el estrangulamiento de secciones de río que se separan y forman estos lagos. Lo que indica que en el futuro es probable que el río pudiera experimentar nuevas variaciones en su morfología.

Por último, a modo de resumen, se presenta la Tabla 6.2 que agrupa los efectos primordiales sobre el estado de los comunes en el área de estudio, derivados en parte, de las variaciones históricas observadas en los parámetros bio-geo-físicos analizados en este estudio.

Tabla 6.2 Principales efectos sobre los comunes del área de estudio derivados de las variaciones en los parámetros bio-geo-físicos analizados. Fuente: Elaboración propia.

Grupo de parámetros	Afecta mayormente a:	Efectos sobre los comunes
Climáticos/ atmosféricos	Bosque nativo: Flora, Nalcas, Frutos de recolección silvestre, Hierbas medicinales, Hongos, Ríos, Esteros	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de las poblaciones de frutos del bosque y hongos, a incluso menos de la mitad en algunos casos. Reducción notoria de nalcales. Degradación de los suelos coartando la subsistencia (reproducción) de especies nativas. Alteración del proceso simbiótico hongo-planta. Disminución de caudales, contaminación de aguas. Déficit hídrico imprime fuerte impacto sobre APR con descensos de napas o agotamiento de fuentes de captación. Aumenta el racionamiento de agua. Reducción de la biodiversidad.
Edafológicos		
Hídricos		
Incendios forestales		
Oceanográficos	Biota del borde costero: Algas, Mariscos, Peces	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en la morfología costera, erosión y ensanchamiento de playas modifican hábitats de biota intermareal. Post terremoto, desecamiento en las costas provocó varamiento y mortandad de cientos de algas y mariscos. Alza del nivel del mar puede ocasionar intrusión de agua salada, cambios en la concentración de nutrientes con consecuente pérdida de hábitats costeros. Desoxigenación, acidificación de océanos y aumento de concentraciones de nitratos y fosfatos promueven los procesos de eutrofización limitando la subsistencia de moluscos, crustáceos y peces. Aumentando de la competencia y el desplazamiento de especies marinas. Reducción de la biodiversidad.
Geomorfológicos		

6.6 Recomendaciones

Luego de la revisión y discusión de los resultados más relevantes obtenidos sobre los parámetros bio-geo-físicos y los comunes en el área de estudio, surgen algunas recomendaciones pertinentes de destacar para futuros trabajos e investigaciones:

- Ampliar área de estudio hacia el sur, a fin de abarcar la totalidad de las subcuencas costeras que también llegan a abarcar zonas de comunes del bosque nativo de interés para las comunidades locales.
- Ampliar las bases de datos referidas al recurso hídrico, solicitando, tanto la actualización de la información de las estaciones pluviométricas y fluviométricas actuales, las que en algunos casos, pese a estar vigentes, carecen con informes de datos; así como la creación de nuevos puntos de monitoreo de caudales y de calidad de aguas en ríos y esteros relevantes dentro del territorio (por ej.: río Quiapo).
- Regularizar el estado de uso de los derechos de aprovechamientos de agua (DAA), para disminuir incertidumbres respecto de su adecuado manejo.
- Concientizar sobre el cuidado de los recursos hídricos, cuya presencia y continuidad en el tiempo es crucial tanto para la población como para el resguardo de los comunes derivados del

bosque nativo y que, ante un contexto de variabilidad climática, se encuentran más que nunca amenazados.

- Resaltar la importancia de ir recuperando espacios de bosque nativo. A propósito de ello, varios testimonios surgidos durante las conversaciones con actores clave e instancias de co-diseño han mencionado el surgimiento de iniciativas locales para la recuperación y protección de áreas de bosque nativo, sobre las que se puede continuar avanzando.
- Promover la difusión del conocimiento respecto de los hongos de suelo, los que, además de ser comunes relevantes en el área, también constituyen organismos reguladores del ecosistema, por medio de sus relaciones simbióticas con las plantas y su aporte de nutrientes en los suelos.
- De la misma forma que en el caso de los comunes hídricos, promover el cuidado de los bosques, concientizar sobre el impacto sumamente negativo de los incendios forestales, los que en su mayoría poseen un origen intencional y las condiciones climáticas contribuyen a agravar su extensión e impacto.
- Ampliar el monitoreo del pH de los suelos a más áreas del territorio por medio de mediciones in situ y de laboratorio, lo que permitirá no sólo conocer el estado de esta variable en el área, sino también construir una base de datos cada vez más extensa, no disponible actualmente.
- Realizar estudios específicos respecto de la erosión de los suelos en el área, examinando la afectación real por geoformas de erosión acelerada como cárcavas, las que, lamentablemente, no fue posible analizar en este estudio.
- Considerar la utilización de nuevas metodologías de monitoreo remoto como Enhanced Vegetation Index (EVI), Green Coverage Index (GCI), Moisture Stress Index (MSI) o revisiones de la ecuación universal de pérdida de suelos como RUSLE o MUSLE, que corrigen algunas limitaciones de los índices presentados.
- Examinar con detenimiento el escenario de explotación de los recursos marino-costeros, a través de los registros de productividad, como anuarios de desembarque de especies, dado que la sobrexplotación constituye un factor sumamente plausible de ser responsable en parte del decrecimiento de algunas especies
- Contemplar el reanálisis de la temperatura superficial del mar (TSM) que, pese a no exhibir una clara tendencia general en el presente caso, sí es reconocido que el escenario global plantea un aumento de la variable, afectando otros parámetros (por ej.: oxígeno disuelto) y favoreciendo condiciones perjudiciales para la salud de los hábitats marinos.

- Profundizar en el estudio de las variables vinculadas a procesos de eutrofización como lo son las concentraciones de nutrientes, biomasa, clorofila y fitoplancton, dado los efectos adversos que pudieren tener sobre la biota marina.
- Profundizar el monitoreo de la evolución del río Quiapo y contemplar la ampliación de tal seguimiento a otros cursos de agua relevantes en el área que pudieran experimentar variaciones apreciables en su geomorfología en el transcurso de pocas décadas.
- En la misma línea que en el caso de los comunes hídricos y del bosque nativo, promover el cuidado de los recursos del borde costero y del empleo de buenas prácticas, como lo son: respetar las temporadas de recolección, otorgándole el tiempo necesario a las algas y mariscos para desarrollarse y resguardar su continuidad.
- Concientizar sobre el rol que cumplen los bosques de algas pardas (cochayuyo y huiro) en la zona intermareal, tanto como organismos fotosintetizadores y captadores de CO₂, como también de hábitat de otros seres vivos como peces, moluscos y crustáceos.
- Promover la realización de instancias de ciencia ciudadana, en las que la población pueda tomar parte activa en el cuidado de su territorio.
- Por último, profundizar la difusión del conocimiento local, el cual, como ha sido posible de ver, por medio de instancias de co-diseño como intercambio de saberes o la experiencia de cartografía participativa, permite identificar problemáticas y conocer de primera fuente el estado de los diferentes recursos de un territorio tanto en la actualidad como en el pasado, lo que aporta una guía para la elaboración de eventuales estrategias de gobernanza y resguardo de comunes.

6.7 Limitaciones de la información y reflexiones finales

Durante el transcurso de este trabajo, diversas fueron las dificultades que se fueron presentando a medida que se progresaba en las distintas etapas y objetivos. Por una parte, se encuentra el problema referente a la disponibilidad de información. Si bien algunas variables contaban con amplios registros históricos de varias décadas, tales como la temperatura y precipitaciones, otras presentaban bases de datos sumamente acotadas, con registros de apenas 10 o 12 años. Por otro lado, también se evidenció una gran fragmentación y desactualización de los registros históricos de varios parámetros, siendo un ejemplo claro de esto, las bases de datos de caudales de cursos de

agua como ríos y esteros, donde se constataron importantes vacíos en las estadísticas de estaciones pluviométricas y de calidad de aguas, e incluso en algunos casos, la carencia total de datos, aun cuando las estaciones se encontraban operativas desde hacía años.

En la revisión del pH de los suelos, también se presentó una carencia, donde, al no contar con una fuente de datos disponible, fue necesario elaborar una pequeña base actualizada a partir de mediciones de terreno y posterior análisis de laboratorio. En este punto, cabe destacar, la importancia de tanto de continuar ampliando los puntos de monitoreo de diversas variables, como de efectuar mantenimiento a las estaciones actuales, reparándolas y actualizándolas periódicamente, a fin de disminuir lo máximo posible los vacíos en las series de tiempo.

Por su parte, la gran mayoría de los parámetros oceanográficos fueron representados a partir de modelos globales de observación remota, dado que no se cuenta con bases de datos nacionales disponibles.

Otra dificultad surgida, refiere tanto a las imágenes satelitales, como a los modelos World Clim, GOPR y GOBH, los que, al estar diseñados para el monitoreo de variables a nivel planetario, resultan en resoluciones bajas para escalas de trabajo tan pequeñas como el del área de estudio, que considera sólo cuatro subcuencas hidrográficas.

El procesamiento de los datos en ArcGIS Pro y hojas de cálculo tampoco fue tarea sencilla, debiendo realizar iterativamente, operaciones como: correcciones sobre las imágenes satelitales, reproyección de rásters y puntos que poseían sistemas de coordenadas diferentes a WGS 1984, reorganización de hojas de cálculo pobremente tabuladas, reconversiones de unidades de medida, etc.

A pesar de todas estas carencias y dificultades, fue posible realizar un análisis preliminar del comportamiento de más de una veintena de parámetros bio-geo-físicos y de ofrecer posibles vínculos con el estado de los comunes de mayor relevancia dentro del área de estudio. A partir de estos resultados, se insta a continuar profundizando en el estudio de los parámetros aquí presentados y de incorporar nuevos, a fin de esclarecer paulatinamente, y cada vez con mayor

certeza los efectos que estos pudieren tener sobre el estado de los diferentes ecosistemas dentro del territorio.

Finalmente, cabe reiterar el rol crucial que juega la incorporación de los saberes locales, y la importancia de realizar experiencias como la de la cartografía participativa, que tomen en consideración los testimonio, relatos y precepciones de la gente que habita un territorio, pues, después de todo, son ellos quienes conocen de forma directa su propia historia y enfrentan diariamente las diferentes problemáticas surgidas del deterioro de los diferentes ambientes. Además, como ha sido posible de ver, sus voces aportan una guía muy útil en la creación de nuevo conocimiento y la eventual elaboración de estrategias de gobernanza local.

7 CONCLUSIONES

El presente trabajo ha realizado un análisis preliminar de la evolución de los principales parámetros bio-geo-físicos regionales y locales que afectan el estado de los comunes costeros en la comuna de Lebu y alrededores, suscritos a un contexto de cambio climático en un rango temporal de hasta siete décadas en el pasado.

A través de la implementación de técnicas de diálogo intercientífico y experiencias de co-diseño como conversatorios, entrevistas semiestructuradas, visitas guiadas al territorio, taller de cartografía participativa, etc., se han identificado los comunes de mayor relevancia para las agrupaciones de la comuna de Lebu y alrededores, encontrando que, aquellos derivados del bosque nativo, principalmente nalcas y frutos de recolección silvestre, además del recurso hídrico obtenido de fuentes de agua como ríos y esteros, y los comunes marino-costeros principalmente de la biota intermareal, entre los que se cuentan especies de algas pardas y rojas como cochayuyo o luga cuchara, mariscos y crustáceos como erizos, chapas, caracoles o jaibas, cumplen un rol capital tanto en el sustento económico como alimentario de decenas de familias dentro del área estudiada. Además de ello, la información obtenida a partir de las diferentes instancias como las recién citadas, resulta clave para el entendimiento de la situación actual y pasada dentro de un territorio de estudio y de cómo afecta realmente en el diario vivir de la gente que lo habita. Ante esto, se constata la importancia que posee el acogimiento de los saberes locales a la hora de llevar a cabo investigaciones en un territorio determinado.

En el transcurso del trabajo también fue preciso hacer frente a dificultades surgidas de carencias y errores en la información que dejan entrever la necesidad de actualizar y ampliar los bancos de datos nacionales para el análisis de muchos parámetros que afectan al ecosistema.

La aplicación de algunas metodologías de monitoreo remoto, sustentadas en el uso de imágenes satelitales, modelos de elevación digital y capas vectoriales, como índices espectrales o la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE) ha aportado información útil para el entendimiento de algunos parámetros, no obstante, como ha sido señalado anteriormente, estas metodologías no están exentas de errores o sobrestimaciones que se han de tomar en consideración. Ante ello, se sugiere

explorar en el uso de nuevas técnicas y modelos como EVI, GCI, MSI, RUSLE o MUSLE que, con el transcurso de los años, han surgido como un intento de corregir estas limitaciones.

Los diferentes parámetros bio-geo-físicos han sido jerarquizados, presentando sus resultados en categorías en función de sus distribución geográfica o influencia en diferentes ambientes. Al respecto, se constatan cambios relevantes en el comportamiento de los parámetros climáticos/atmosféricos, hídricos y edafológicos, como los son: el aumento de las temperaturas, con veranos más calurosos, la disminución de las precipitaciones que favorecen el aumento de las sequías, la disminución de caudales de ríos y esteros, deterioro de bosques y proliferación de incendios forestales, cambios en el uso de los suelos, el hallazgo de suelos ácidos en la comuna de Lebu, que denotan una afectación derivada de la extensa cubierta de plantaciones de monocultivo y su permanencia en el tiempo. Además de ello, la revisión de los informes de DAA, dejan entrever incertidumbres en el correcto manejo del recurso hídrico que conviene regularizar, y las estadísticas sobre la calidad de agua en el río Lebu, han constatado incumplimientos en las normas NCh409 y NCh1333 como en el contenido de algunos metales pesados.

Sumado a lo anterior, la revisión de algunos parámetros geomorfológicos, constatan consecuencias del terremoto de 2010, que ocasionó cambios en la morfología costera con ensanchamiento generalizado de las playas y emersión de geformas como plataformas de abrasión marina y roqueríos, además de conducir al desecamiento de ríos como el Lebu y Quiapo.

Por su parte el análisis de los parámetros oceanográficos, tanto por medio de datos nacionales como modelos de observación remota extraídos del programa Copernicus Marine Service, han constatado alzas en la mayoría de las variables analizadas como lo son: aumento en el nivel medio del mar, temperatura del fondo marino, contenido de nutrientes, clorofila, biomasa y fitoplancton que pudieran estar asociados con un incremento en procesos de eutrofización; pero también, se han observado claras tendencias a la disminución del oxígeno disuelto (desoxigenación) y pH (acidificación) que también conducen al deterioro de los ecosistemas marinos. Frente a estos escenarios, se sugiere continuar profundizando en el estudio de estas variables, idealmente, a través de investigaciones dedicadas individualmente a cada una de las variables.

Adicionalmente, resulta preciso mencionar la sobrexplotación, como otro posible factor determinante en el estado de los comunes, tanto marino-costeros como del bosque nativo, ante lo cual, se sugiere indagar más en estas materias.

Por último, cabe destacar que, a pesar de las limitaciones, que pudieran acarrear imprecisiones o sobrestimaciones en los resultados, el presente trabajo constituye una aproximación a la realidad en el territorio, y sienta un precedente al respecto, lo que permitirá continuar avanzando en eventuales investigaciones, sobre el entendimiento de variables bio-geo-físicas y cómo estas al verse alteradas, producen transformaciones en la dinámica atmosférica y terrestre que acaba afectando los hábitats de todo tipo de organismos vivientes y arroja luces para explicar en parte, cambios percibidos por las propias comunidades locales sobre los comunes marino-costeros, del bosque nativo e hídricos, que han visto un drástico deterioro y disminución de sus poblaciones al menos dentro de los últimos 20 años.

8 REFERENCIAS

ANTOGNELLI, S. (2021). NDVI and NDMI vegetation indices: Instructions for use. *Agricolus*. Disponible en: <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>

AQUALOGY MEDIOAMBIENTE CHILE S.A. (2013). Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins y región del Biobío. Informe Final. Santiago, Región Metropolitana, Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación. 280 p.

ARAYA-OJEDA, M. E ISLA, F. I. (2016). Variabilidad hidrológica en la región del Biobío: los eventos El Niño en zonas templadas de Chile. *Revista Universitaria de Geografía*, 25(1), 31-55.

ARRAIN, A., GRECO, C., & MCCALL, M. K. (2019). Saberes y percepciones locales sobre los paisajes arqueológicos: experiencias de cartografía participativa en Yocavil (noroeste argentino). *Boletín Antropológico*, 37(97), 80-110.

BASCUÑÁN, S. M. (2010). Relación entre la erosión producida por un flujo superficial en suelos finos y algunas propiedades de estos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile.

BASU, S., JONGERDEN, J. & RUIVENKAMP, G. (2017). Development of the drought tolerant variety Sahbhagi Dhan: exploring the concepts commons and community building. *International Journal of the Commons*, 11(1), 144–170. DOI: <http://doi.org/10.18352/ijc.673>

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (BCN) (s. f.). Reporte Comunal Lebu. https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2021&idcom=820

BORDIEU, P. (1997). Razones prácticas sobre la teoría de la acción. Barcelona, Anagrama, traducción de Thomas Kauf. 240 p.

BOTELLO, V., GALAVIZ, R. Y LUIS, J. (2010). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del Estado de Tabasco. Semamat-ine, unam-icmyl, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.

BUSTAMANTE, M., GAVITO, M. E., JIMÉNEZ, A., LOBOGUERRERO, A. M., PÉREZ, C., TORRES, I., SUÁREZ, M.L. Y VIDAL-ABARCA, M.R. (2020). Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales. En: Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT. [Moreno, J.M., C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J.A. Marengo y U. Oswald Spring (eds.)]. McGraw-Hill, Madrid, España (pp. 91-129, ISBN: 9788448621643).

BRITISH BROADCASTING CORPORATION (BBC). (2019). Corriente de Humboldt: el fenómeno por el que el mar de Chile y Perú es hasta 10 °C más frío que otras zonas del Pacífico y cómo afecta al resto del mundo. BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49682744#:~:text=La%20corriente%20Humboldt,%20tambi%C3%A9n%20llamada,norte%20y%20hacia%20la%20superficie>

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). (1998). Descripciones de suelos, materiales, y símbolos. Estudio agrológico VIII Región de Chile. Centro de Informaciones de Recursos Naturales, Santiago, Chile, 555 p.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). (2010). Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile: Región del Bío Bío. síntesis de resultados. (pub. ciren n° 148).

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2014). Estudio agrológico Región del Biobío: descripción de suelos materiales y símbolos, 2014. Sobre ortoimágenes a escala de salida 1:10.000. Publicaciones CIREN, 181.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). (2014). Redefinición de la red hidrográfica de Chile". Santiago.

CID, B., ARIAS, L., TRONCOSO, I., MELLA, M., ABARCA, F. Y ALVEAL, K. (2021). Cartografiar lo común: trabajo colaborativo e interdisciplinar para la resemantización territorial. En De Prácticas y Discursos (Vol. 10, N° 15). Universidad Nacional del Nordeste.

CONVENCIÓN MARCO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO (CMCC). (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas por el Cambio Climático, p. 3, Artículo 1 – Párrafo 2. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2017). Monitoreo de cambios, corrección cartográfica y actualización del catastro de los recursos vegetacionales nativos de la región de Biobío. Santiago, 78 p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2021). Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile al año 2020. Departamento de Monitoreo de Ecosistemas Forestales. 76 p.

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2023). Reserva Nacional Altos de Pemehue. <https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-altos-de-pemehue/>

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2023). Reserva Nacional Isla Mocha. <https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-isla-mocha/>

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2023). Parque Nacional Laguna del Laja. <https://www.conaf.cl/parques/parque-nacional-laguna-del-laja/>

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2023). Parque Nacional Nonguén. <https://www.conaf.cl/parques/parque-nacional-nonguen/>

CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAF). (2023). Reserva Nacional Ralco. <https://www.conaf.cl/parques/reserva-nacional-ralco/>

D'ALISA, G. (2013). Bienes comunes: las estructuras que conectan. *Ecología política*, (45), 30-41.

DELGADO, S., ALLIAUME, F., PRÉCHAC, F. G. Y HERNÁNDEZ, J. (2006). Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp.* sobre el recurso suelo en Uruguay: Parte II: suelos. *Agrociencia Uruguay*, 10(2), 95-107.

DELGADO, F. Y ESCÓBAR, C. (2006). Diálogo intercultural e intercientífico para el fortalecimiento de las ciencias de los pueblos indígenas originarios. (Vol. 2). Plural Editores. 299 p.

DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (DCPRH). (2019). Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío. Santiago, Región Metropolitana, Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 197 p.

DESTINO BIOBÍO. (s. f.) Comuna de Lebu. <http://www.destinobiobio.cl/comuna-de-lebu.html>

DÍAZ, G. (2012). El Cambio Climático. En CIENCIA Y SOCIEDAD, Volumen XXXVII, n° 2 (pp.227-240).

DUHART, P., ARENAS, M., ARANCIBIA, J.P., CREIXELL, C., DERCH, P., FALCÓN, F., FERNÁNDEZ, J., JARA, C., MARÍN, M., MELLA, M., MORENO, H., MOURGUES, A., NARANJO, J.A., ORTIZ, M., PÁEZ, D., RAMÍREZ, P. Y VENEGAS, C. (2010). Efectos superficiales del terremoto (Mw: 8,8) del 27.02.10, Chile. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9 (2010), Cusco p. 294-298.

FAHEY, D.W., DOHERTY, S.J., HIBBARD, K.A., ROMANOU, A. & TAYLOR, P.C. (2017). Physical drivers of climate change. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 73-113, doi: 10.7930/J0513WCR

FAKANA, S. (2020). Causes of Climate Change: Review Article. En: Global Journal of Science Frontier Research: (H) Environment & Earth Science, Volumen 20, n° 2 (pp. 6-12).

FIGUEROA, R., PARRA, O. Y DÍAZ, M. (2020). La cuenca hidrográfica del río Biobío. En ULA -Chile Centro de Ciencias Ambientales: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación (pp.91-138).

FORESTAL ARAUCO S. A. (2017). Áreas de Alto Valor de Conservación (AAVC) Biológicas Zona Centro. <https://www.arauco.cl/chile/wp-content/uploads/sites/14/2017/09/AAVC-Biologicas-zona-centro.pdf>

FREDERIKSE, T., LANDERER, F., CARON, L., ADHIKARI, S., PARKES, D., HUMPHREY, V. W., DANGENDORF, S., HOGARTH, P., ZANNA, L., CHENG, L. & WU, Y. H. (2020). The causes of sea-level rise since 1900. *Nature*, 584(7821), 393-397.

GAJARDO, R. (1994). La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. 143 p.

GALLEGUILLOS, M., GIMENO, F., PUELMA, C., ZAMBRANO-BIGIARINI, M., LARA, A. & ROJAS, M. (2021). Disentangling the effect of future land use strategies and climate change on streamflow in a Mediterranean catchment dominated by tree plantations. *Journal of Hydrology*, 595, 126047.

GARREAUD, R. & MUÑOZ, R. C. (2005). The low-level jet off the west coast of subtropical South America: Structure and variability. *Monthly Weather Review*, 133(8), 2246-2261.

GARREAUD, R. Y RUTLLANT, J. (2006). Variabilidad atmosférica de alta frecuencia en el borde oriental del anticiclón del Pacífico Sureste. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 29(1), 5-13.

GESTIÓN EN RECURSOS NATURALES (GRN). (2016). Recursos Naturales. Gestión en Recursos Naturales Consultoría Ambiental. <https://www.grn.cl/recursos-naturales.html>

GONZÁLEZ, M., LARA, A. Y LITTLE, C. (2016). Efectos del cambio climático en nuestro bosque nativo. *Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia*, 65 p.

INSTITUTO FORESTAL CHILE (INFOR) (2013). Anuario Forestal 2013. Santiago, Chile: INFOR. 154 pp.
<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/20395/30928.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (2017). Presentación Resultados Definitivos Censo 2017. Santiago, Chile, Instituto Nacional de Estadísticas. Publicaciones y anuarios, 41 p.
http://www.censo2017.cl/wp-content/uploads/2017/12/Presentacion_Resultados_Definitivos_Censo2017.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (2005). Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. Subdirección Técnica, Departamento de Geografía y Censos, Subdepartamento de Geografía y SIG, Departamento Atención al Usuario y Difusión, Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago. 300 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (2018). Presentación de la segunda entrega de resultados Censo 2017. Santiago, Chile, Instituto Nacional de Estadísticas. Publicaciones y anuarios 56 p.
<https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/centso-de-poblacion-y-vivienda/publicaciones-y-anuarios/2017/publicación-de-resultados/>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (2019). División Político Administrativa y Censal, Región del Biobío. Departamento de Geografía, Región del Biobío, Chile, Instituto Nacional de Estadísticas. 9 p.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE). (s. f.) Ciudades, pueblos y aldeas censo 1992-2017, Región del Biobío. <https://ine-chile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9ccc9f67cce8426dbca57df75d8cb90a>

IROUMÉ, A., CAREY, P., BRONSTERT, A., HUBER, A. Y PALACIOS, H. (2011). GIS application of USLE and MUSLE to estimate erosion and suspended sediment load in experimental catchments, Valdivia, Chile. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 34(2), 119-128.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007). Informe de síntesis. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr.pdf

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2013). *Climate Change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2018). *Resumen para responsables de políticas. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza* [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R.

Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2022). En: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 37–118, doi:10.1017/9781009325844.002.

IRIARTE, A. (2008). *Mamíferos de Chile*. Lynx Editions. Barcelona, España, 420 pp.

ISENSEE, K., SCHOO, K., KENNEDY, J., VON SCHUCKMANN, K., BADDOUR, O. & DILLEY, M. (2021). Global Climate Indicators: Ocean heat content, acidification, deoxygenation and blue carbon. *Boletín-Organización Meteorológica Mundial*, 70(1), 24-28.

IVARS, J. (2013). ¿Recursos naturales o bienes comunes naturales?: Algunas reflexiones. *Papeles de trabajo - Centro de Estudios Interdisciplinarios en Etnolingüística y Antropología Socio-Cultural*, (26), 88-97.

LAFFOLEY, D. Y BAXTER, J. (2019). La desoxigenación de los océanos: un problema de todos... resumen para los responsables de formular políticas, IUCN: International Union for Conservation of Nature. IUCN, Global Marine and Polar Programme. 28 p.

LAFUENTE, A. Y CORSIN, J. (2010). Comunidades de afectados, procomún y don expandido. *FRACTAL*, n° 57, 7, 17-42.

LÓPEZ-OSPINA, S. (2020). Co-diseño y experiencia desde la perspectiva fenomenológica. *Tsantsa. Revista De Investigaciones artísticas*, (9), 79–100.

LUZIO, W. Y CASANOVA, M. (2006). *Avances en el conocimiento de los suelos de Chile*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Ingeniería de Suelos.

LUZIO, W. (2010). *Suelos de Chile*. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 360p.

MALHI, Y., FRANKLIN, J., SEDDON, N., SOLAN, M., TURNER, MG., FIELD, CB & KNOWLTON, N. (2020). Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. *Phil. Trans. R. Soc. B* 375: 20190104.

MARÍN, C. (2018). *Conceptos fundamentales en ecología de hongos del suelo: Una propuesta pedagógica y de divulgación* (p. 46). Valdivia: Universidad Austral de Chile.

MATECHIK, C., RUIZ, J., ALTER, R. Y SENE, S. (2022). Chile wildfires: Utilizing NASA and NOAA Earth observations to determine lightning-ignited wildfire risks in central Chile - NASA Technical Reports Server (NTRS). NASA. Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20220013143>

MAYA, J. C., ALANÍS, H. C., FERRUSCA, F. R. Y SÁNCHEZ, P. J. (2019). Análisis del concepto de gobernanza territorial desde el enfoque del desarrollo urbano. *Estado, Gobierno y Gestión Pública*, (31), pp. 175–210.

MIES, M. (2014). No commons without a community. En *Community Development Journal*, Vol. 49, n° S1, 106– 117.

MILLER, G. (2007). *Ciencia ambiental: Desarrollo sostenible, un enfoque integral*, 8va edición, Editores Internacional Thomson, México.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). (2016). Diagnóstico del estado y tendencia de la biodiversidad en las regiones de Chile: Región del Biobío. Proyecto N° 82692: “Planificación Nacional de la Biodiversidad para apoyar la implementación del Plan Estratégico de la Convención de Diversidad Biológica (CDB) 2011-2020”. 93 pp.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). (2017). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC-II). Ministerio del Medio Ambiente, Santiago. 250 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). (2019). Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente. Departamento de Información Ambiental, División de Información y Economía Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente. 269 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). (2020). Resumen del Estado del Medio Ambiente para la Ciudadanía 2020. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago. 58 p.

MOORE, I. & WILSON, J. P. (1992). Length Slope Factor for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified Method of Solution. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 47, No. 4, 1992, pp. 423-428.

MORENO, G., MANJÓN, J. L. Y ÁLVAREZ-JIMÉNEZ, J. (2013). Los hongos y el cambio climático. Desert truffle (Kagan-Zur V., Sitrit Y, Roth-Bejerano, NA Morte, eds). Springer Verlag, Berlín, 129-135. Mata-Perelló, J. M., Mata-Lleonart, R., Vintró-Sánchez, C. y Restrepo-Martínez, C. (2012). Social Geology: a new perspective on geology. *Dyna*, 79(171), 158-166.

MORENO, J.M., LAGUNA-DEFIOR, C., BARROS, V., CALVO BUENDÍA, E., MARENGO, J. A. Y OSWALD SPRING, Ú. (2020) Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT, Resumen para los responsables de políticas. McGraw-Hill, Madrid, España. 66 p.

MUNICIPALIDAD DE LEBU. (2023). <https://www.lebu.cl/historia/>

MYHRE, G., MYHRE, C. E.L., SAMSET, B. H. & STORELVMO, T. (2013). Aerosols and their Relation to Global Climate and Climate Sensitivity. *Nature Education Knowledge* 4(5):7

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (NAS). (2020). Climate change: Evidence and causes: Update 2020. The National Academies Press, Washington, D. C., 36 p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). (2023). The Causes of Climate Change. Global Climate Change, Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/causes/>

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2023). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Global Monitoring Laboratory. Earth System Research Laboratories. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2023). Trends in Atmospheric Methane. Global Monitoring Laboratory. Earth System Research Laboratories. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_ch4/

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2023). Trends in Atmospheric Nitrous Oxide. Global Monitoring Laboratory. Earth System Research Laboratories. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_n2o/

NATURAL CAPITAL COALITION (NCC). (2016). What is Natural Capital?. Natural Capital Coalition. <https://web.archive.org/web/20160602213230/http://www.naturalcapitalcoalition.org/why-natural-capital/natural-capital.html>

OLGUÍN, A. Y C. BERNAL. (2018). Guía de identificación de especies marinas presentes en las principales pesquerías de Chile. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). (2018). Unexpected Increases in Global Emissions of CFC-11. En: Greenhouse Gas Bulletin, n°14. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5455

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). (2022). Provisional State of the Global Climate 2022. <https://storymaps.arcgis.com/stories/5417cd9148c248c0985a5b6d028b0277>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). (2023). Causas y efectos del cambio climático. Acción por el clima, Ciencia, Causas y efectos. <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>

OSORIO RUÍZ, C. (2002). Moluscos marinos en Chile. Especies de importancia económica: Guía para su identificación. <https://doi.org/10.34720/hda2-g780>

PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K. ET AL. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Sci Rep* 7, 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

PELLET, P. Y CORNEJO, C. (2021). Las aves en la Región del Biobío (Chile): su riqueza, composición y distribución. *Gayana (Concepción)*, 85(1), 55-77. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382021000100055>

PICHEVIN, L. E., GANESHRAM, R. S., GEIBERT, W., THUNELL, R. & HINTON, R. (2014). Silica burial enhanced by iron limitation in oceanic upwelling margins. *Nature Geoscience*, 7(7), 541-546.

PIEDALLU, C., CHÉRET, V., DENUX, J. P., PEREZ, V., AZCONA, J. S., SEYNAVE, I. Y GÉGOUT, J. C. (2019). Soil and climate differently impact NDVI patterns according to the season and the stand type. En *Science of The Total Environment* (Vol. 651, pp. 2874–2885). Elsevier BV.

PLAN DE DESARROLLO COMUNAL (PLADECO) (2010). Plan de Desarrollo Comunal Lebu, Diagnóstico Comunal, revisión y/o validación de la Imagen-Objetivo, Lineamientos Estratégicos y Planes y Proyectos para el período 2012-2015. Región del Biobío, Chile. 158 p.

QUEZADA, J., JAQUE, E., FERNÁNDEZ, A. Y VÁSQUEZ, D. (2012). Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (53), 35-55.

RAMIS, Á. (2013). El concepto de bienes comunes en la obra de Elinor Ostrom. *Ecología política*, (45): 116-121.

- RAYNAL-VILLASEÑOR, J.A. (2011). Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 12(4), 421-427. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432011000400006&script=sci_abstract&tlng=en
- REDDY, P. (2014). Causes of Climate Change. *Climate Resilient Agriculture for Ensuring Food Security*, 17–26. doi:10.1007/978-81-322-2199-9_2
- RODRÍGUEZ, J. (2008). Las riquezas que habitan en la tierra no son recursos naturales sino bienes comunes. *BiodiversidadLA*. https://www.biodiversidadla.org/Noticias/Las_riquezas_que_habitan_en_la_tierra_no_son_recursos_naturales_sino_bienes_comunes
- SADZAWKA, A., CARRASCO, M. A., GREZ, R., MORA, M.L., FLORES, H. Y NEAMAN, A. (2006). Métodos de análisis de recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas INIA. N° 34: 164 pp. Santiago, Chile.
- SAGARDÍA, R. (2018). Los recursos forestales en Chile Informe Final Inventario Continuo de Bosques Nativos y Actualización de Plantaciones Forestales. Instituto Forestal (Chile), Ministerio de Gricultura, Santiago. 175 p.
- SCHLATTER, J. E. Y OTERO, L. (1995). Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial. *Bosque*, 16(1), 29-46.
- SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DEL BIOBÍO. (2017). Política regional para la conservación de la biodiversidad de la región del Biobío 2017-2030. 81 p.
- SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN DEL BIOBÍO. (2022). Resumen Política regional para la conservación de la biodiversidad de la región del Biobío. 12 p.
- SERVICIO NACIONAL DE TURISMO (SERNATUR). (2012). Atractivos turísticos 2012, región del Biobío. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 213 p. <https://www.sernatur.cl/wp-content/uploads/2018/09/VIII-REGION-DEL-BIOBIO.pdf>
- SIDDIQUI, A. H., HASNAIN, M. D., ALAM, M. & FATIMA, S. (2022). Climate Change: Causes, Impacts and Solutions. En: *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volumen 9, n° 11 (pp. 928-934).
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN MUNICIPAL (SINIM). (2021). Datos Municipales. http://datos.sinim.gov.cl/datos_municipales.php
- SOTO, V. (2022). Concepto de bienes comunes y su aplicación en el derecho constitucional comparado. Serie Informes N° 4-22, Biblioteca del Congreso Nacional. 13 p.
- STEWART, I. S., Y GILL, J. C. (2017). Social geology, integrating sustainability concepts into Earth sciences. *Proceedings of the Geologists' Association*, 128(2), 165–172.
- STOLPE, N. (2005). Descripciones de los Principales Suelos de la VIII Región de Chile. Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, 84 p.
- STOLPE, N. (2011). Suelos de la Región Bio Bio. Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.

- SZWEDZKI, D. (2017). Cooperar, Colaborar, Co-Crear y Co-Construir: ¿De qué estamos hablando?. <https://es.linkedin.com/pulse/cooperar-colaborar-co-crear-y-co-construir-de-qu%C3%A9-estamos-szwedzki>
- TRAN, T. V., REEF, R. Y ZHU, X. (2022). A Review of Spectral Indices for Mangrove Remote Sensing. En *Remote Sensing* (Vol. 14, N° 19, p. 4868). MDPI AG.
- UICN. (2001). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii, 33 pp.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. (1992). Suelos, una visión actualizada del recurso. En *Publicaciones Misceláneas Agrícolas*, 38.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. (2019). Informe país, estado del medio ambiente en Chile 2018. Universidad de Chile. Instituto de Asuntos Públicos. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Informe final. Santiago. 600 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. (2019). Normalized Difference Moisture Index. | U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalized-difference-moisture-index>
- U. S. GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAMME (USGCRP). (2018). *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volumen II: [Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart (eds.)]*. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 1515 pp. doi: 10.7930/NCA4.2018
- VALDOVINOS, C. Y PARRA, O. (2006). *La Cuenca del Río Biobío: Historia Natural de un Ecosistema de Uso Múltiple*, Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción.
- VERDIN, J., PEDREROS, D. Y EILERTS, G. (2003). Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI). En *FEWS - Red de Alerta Temprana Contra la Inseguridad Alimentaria*, Centroamérica, USGS/EROS Data Center.
- WHITTINGHAM, M. V. (2010). ¿Qué es la gobernanza y para qué sirve?. *Revista Análisis Internacional (RAI)*, n°2, pp. 219–235.
- WISCHMEIER, W.H. Y SMITH, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA-SEA, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp
- ZHANG, B. W. (2020). The Effect of Aerosols to Climate Change and Society. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8, 55-78. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.88006>

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
A.	Ficha tipo utilizada para las entrevistas semiestructuradas en el catastro de comunes	238
B.	Modelos de consentimiento informado	245
C.	Cartografías participativas	247

ANEXO A. FICHA TIPO UTILIZADA PARA LAS ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS EN EL CATASTRO DE COMUNES



ACT 210037

COMUNES COSTEROS: LABORATORIOS PARA EL CODISEÑO

Catastro de comunas y variables claves para el codiseño de la gobernanza

En el marco del Proyecto ACT210037, ‘Laboratorios de codiseño para el Cambio Climático: gobernanza y cuidado de comunas en zonas costeras del centro sur de Chile’, se ejecuta el presente Catastro para dar cumplimiento al objetivo específico número 1¹.

Los principales aspectos a recoger con este Catastro es la identificación de comunas, stakeholders (partes interesadas), conflictos, amenazas, sistemas de gobernanza y dinámicas en contexto de cambio climático.

Este Catastro recogerá información en las tres regiones en que se emplaza el proyecto, específicamente, con actores de las localidades de San Juan de la Costa (Región de Los Lagos), Lebu (Región del Biobío), y Coronel de Maule (Región del Maule).

Su participación en este Catastro es de vital importancia para la pertinencia del trabajo del proyecto y la conformación de los equipos de cada laboratorio en su primera etapa. Su conocimiento es una contribución básica para el buen desarrollo de la metodología científica del codiseño.

¹ Diagnosticar los comunas territoriales relevantes ubicados en el borde costero, incluyendo su estado y calidad, sus *stakeholders*, sus conflictos, sus actuales sistemas de gobernanza y dinámicas en contexto de cambio climático. El Proyecto ACT210037 es ejecutado por la Universidad de Concepción, junto a la Universidad Católica del Maule y la Universidad de Los Lagos.

I. IDENTIFICACIÓN DE ACTORES QUE PARTICIPAN DEL CATASTRO

Nombre	Rol/actividad	Organizaciones/ instituciones)	Teléfono/ email	Región/Comun a

1. Fecha y lugar o modalidad de aplicación (señalar si es virtual o presencial)

--

II. IDENTIFICACIÓN DE COMUNES

1. Cuadro de identificación preliminar de comunes (marcar los comunes identificados y ampliar la lista)

Maule	Lebu	San Juan de la Costa
Agua Bosque nativo Apicultura Viñas patrimoniales	Algas Nalcas Recursos pesquero- artesanales ECMPO APR Recolección (ciclo de recolección de frutos como mutilla, hongos, maqui). Chapes, recolección costera	Peces Algas Mariscos Mitología Cultivo agrícola en laderas Intercambios APR Organizaciones Recolección de PFNM ²

2. ¿Qué otro común material considera usted que podrían agregarse?

3. ¿Qué otro común inmaterial (conocimientos, organización) considera usted que podrían agregarse?

4. ¿Qué otro común conoce usted que haya desaparecido?

5. ¿Qué vínculos posee o cómo se relaciona usted con estos u otros comunes?

² Productos Forestales No-Maderables

6. Caracterización de estado de los comunes

¿En qué lugares o zonas geográficas se encuentran ubicados? (precisar ubicación de cada común descrito)
¿En qué estado se encuentran estos comunes? (presentes, en abundancia, en riesgo o bajo amenazas, otras).
¿A qué se debe que estos comunes estén en riesgo o bajo amenaza?
¿Cuál es la importancia que tienen para las culturas locales?
¿Cuál es la importancia que tienen para el sustento económico de parte de la población?
¿Cuál es la importancia para las dinámicas ecológicas y el sistema de vida del territorio?
¿Qué pasa con estos comunes en contexto de cambio climático? (se han visto afectados por falta o exceso de agua o de lluvia, de qué manera, otro)
Otro, ¿Cuál?

7. ¿En qué estado considera usted que se encuentran los comunes identificados? (indique solo una alternativa con una X o complete, según corresponda)

Bien cuidados y conservados por la comunidad	¿cómo, con qué acciones?
Bien conservados por un pequeño grupo o particular	¿cómo, con qué acciones?
Escasamente cuidados	¿por qué?, ¿quiénes los descuidan?
Apropiados por privados	¿quiénes?, ¿con qué procesos?
Descuidados completamente	¿Por qué? Cómo?
Otro, ¿Cuál?	

8. En comparación a años o décadas atrás, ¿qué cambios ha identificado usted en los comunes?

9. ¿Qué factores han incidido o provocado estos cambios? (si no hay respuesta, sugerir opciones del listado)

- a) *Cambio climático*
- b) *Mala administración de los usuarios*
- c) *Acción de privados con mayor poder (despojo)*
- d) *Escasa o nula fiscalización gubernamental*
- e) *Otros*

10. ¿Cree usted que el cambio climático ha afectado el estado de los comunes identificados? ¿de qué manera?

III. Stakeholders, conflictos, gobernanza y cambio climático

1. ¿Qué actores, organizaciones o instituciones son relevantes para el resguardo de los comunes identificados?

2. ¿Existen conflictos en torno a la disponibilidad y uso de los comunes?, ¿cuáles serían estos conflictos?

3. ¿Cómo se resuelven esos conflictos actualmente o cómo se han resuelto en el pasado?

4. ¿Qué amenazas existen hoy para el buen cuidado y gobernanza de los comunes?

IV. Acciones a proseguir

1. ¿De qué manera cree usted que debería impulsarse o promoverse el cuidado de los comunes identificados?, ¿por qué?
2. ¿Qué aspectos y actores serían claves, a su juicio, en el diseño del cuidado de comunes?, ¿por qué?
3. ¿Le interesaría integrarse al laboratorio de codiseño³?

Sí, a título personal	Agregar nombres y contactos
Si, como organización, deseamos figurar en los registros públicos (ej. pag web)	Agregar nombres y contactos
Si, mi organización desea participar de las actividades pero no figurar en registros públicos (ej. pag web)	Agregar nombres y contactos
No	

³ Los laboratorios serán grupos de trabajo locales, integrados por actores claves en torno al cuidado y gobernanza de comunes e investigadores/as del proyecto. Estos Laboratorios iniciarán su trabajo en el mes de marzo de 2022, con la convocatoria a los grupos y la planificación participativa de sus programas centrados en la elaboración de diagnóstico territorial prospectivo.

ANEXO B. MODELOS DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA ENTREVISTAS DE AUDIO

Yo _____ he sido invitado/a por Beatriz Cid Aguayo, socióloga y profesora del Departamento de Sociología de la Universidad de Concepción, a participar en el proyecto denominado “Laboratorios de codiseño para el Cambio Climático: gobernanza y cuidado de comunes en zonas costeras del centro sur de Chile”. Este es un proyecto ANILLO de investigación científica, ejecutado por la Universidad de Concepción en alianza con la Universidad Católica del Maule y la Universidad de los Lagos, que cuenta con el apoyo de ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo) y del Programa de investigación CIDESAL de la Universidad de Concepción. Su duración total es de 3 años.

Conozco que este proyecto, tiene como objetivo general diseñar un modelo metodológico colaborativo de gobernanza y cuidado de comunes, basado en estrategias de codiseño. Para ello, se requiere del testimonio de diferentes actores sociales cuya experiencia y propuestas resultan claves para el correcto logro de este objetivo. En el caso que corresponda, este proyecto deberá respetar las indicaciones de la Ley Indígena 19.253, el Convenio 169 de la OIT y la Declaración de las Naciones Unidas sobre Derechos de los Pueblos Indígenas en todo lo que concierne a los conocimientos indígenas, los resguardos de su patrimonio cultural y natural y los principios del consentimiento previo, libre e informado.

En el marco del cumplimiento de lo anterior, mi participación se llevará a efecto a través de una entrevista, cuyo tiempo de duración se estima entre los 40 a 60 minutos aproximadamente, en la cual se aplicará una pauta diseñada con el objetivo de recoger mi punto de vista. Esta entrevista será grabada en registro de audio y la información recogida será de carácter estrictamente confidencial, utilizada sólo para los fines del proyecto y de conocimiento exclusivo por parte del equipo responsable. Asimismo, mi identidad será conocida solamente por el/la investigador/a que me entreviste, ya que mis datos serán registrados bajo un seudónimo o código que asegure la confidencialidad. De igual forma, estoy en conocimiento que la información obtenida será procesada privilegiando el conocimiento compartido y de ninguna forma podrán ser identificadas mis respuestas ni mis opiniones individualizándome en la publicación de resultados. Para todos estos efectos, acepto que el registro de mi entrevista quedará a cargo y bajo custodia de la investigadora responsable de este proyecto, la Dra. Beatriz Cid Aguayo.

En mi calidad de entrevistado/a, reconozco que mi participación es voluntaria, no remunerada y que los resultados de este proyecto contribuirán a promover la participación legítima y organizada de los actores del territorio, en la construcción de un proceso inédito de co diseño. Teniendo en cuenta la importancia y el interés público de esta iniciativa, tendré derecho a acudir al Comité de Ética de la Universidad de Concepción, en relación al resguardo de mis derechos ante cualquier eventualidad que los ponga en riesgo, para lo cual puedo recurrir a la Secretaría de dicho comité, cuyo contacto se informa al final del este documento⁴.

Podré solicitar los resultados del proyecto, los que me podrán ser entregados en el marco del avance del mismo y conforme a su planificación. De igual modo, estoy en conocimiento que puedo negarme a contestar cualquier pregunta, así como a detener la entrevista, en caso que así lo estime oportuno.

Finalmente, SI ACEPTO participar voluntariamente de este proyecto, compartiendo mi punto de vista a través de la entrevista grabada, firmando este CONSENTIMIENTO INFORMADO en dos ejemplares, uno para quien firma y otro para el equipo de investigación.

Firma del/a entrevistado/a _____ Fecha _____

Firma Investigadora Responsable _____

⁴ Si tiene alguna pregunta, durante cualquier etapa del estudio puede comunicarse con Beatriz Cid Aguayo, Departamento de Sociología, Universidad de Concepción. Victor Lamas #1290, Concepción. Correo electrónico beatrizcid@udec.cl. Con la secretaria del Comité de Ética de la Universidad de Concepción, puede comunicarse a través del correo electrónico secrevid@udec.cl

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARTICIPACIÓN EN GRUPOS FOCALES Y/O DE DISCUSIÓN

Yo _____ he sido invitado/a por Beatriz Cid Aguayo, socióloga y profesora del Departamento de Sociología de la Universidad de Concepción, a participar en el proyecto denominado “Laboratorios de codiseño para el Cambio Climático: gobernanza y cuidado de comunes en zonas costeras del centro sur de Chile”. Este es un proyecto ANILLO de investigación científica, ejecutado por la Universidad de Concepción en alianza con la Universidad Católica del Maule y la Universidad de los Lagos, que cuenta con el apoyo de ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo) y del Programa de investigación CIDESAL de la Universidad de Concepción. Su duración total es de 3 años.

Conozco que este proyecto, tiene como objetivo general diseñar un modelo metodológico colaborativo de gobernanza y cuidado de comunes, basado en estrategias de codiseño. Para ello, se requiere del testimonio de diferentes actores sociales cuya experiencia y propuestas resultan claves para el correcto logro de este objetivo. En el caso que corresponda, este proyecto deberá respetar las indicaciones de la Ley Indígena 19.253, el Convenio 169 de la OIT y la Declaración de las Naciones Unidas sobre Derechos de los Pueblos Indígenas en todo lo que concierne a los conocimientos indígenas y los principios del consentimiento previo, libre e informado.

La actividad de grupo focal o de discusión, podrá ser registrada en formato de video/audio y/o de imagen (fotografía) y los registros obtenidos podrán ser utilizados, pero sólo para los fines del proyecto, no tendrán valor comercial y su uso estará circunscrito a sus principales objetivos. De igual forma, conozco que la información relativa a mis intervenciones será de uso confidencial por parte del equipo de investigación, y que no serán abordadas de manera individual pues en esta actividad se busca rescatar una visión con sentido colectivo o comunitario, razón por la cual me comprometo también a guardar reserva de las intervenciones de los demás participantes de este espacio. Asimismo, acepto que los registros de esta actividad quedarán a cargo y bajo custodia de la investigadora responsable de este proyecto, la Dra. Beatriz Cid Aguayo.

En mi calidad de participante en la actividad de grupo focal o de discusión, reconozco que mi participación es voluntaria, no remunerada y que los resultados de este proyecto contribuirán a promover la participación legítima y organizada de los actores del territorio, en la construcción de un proceso inédito de codiseño. Teniendo en cuenta la importancia y el interés público de esta iniciativa, tendré derecho a acudir al Comité de Ética de la Universidad de Concepción, en relación al resguardo de mis derechos ante cualquier eventualidad que los ponga en riesgo, para lo cual puedo recurrir a la Secretaría de dicho comité, cuyo contacto se informa al final del este documento⁵.

Podré solicitar los resultados del proyecto, los que me podrán ser entregados en el marco del avance del mismo y conforme a su planificación. Asimismo, estoy en conocimiento que puedo negarme a contestar cualquier pregunta, así como a retirarme de la actividad, en caso que así lo estime oportuno.

Finalmente, SI ACEPTO participar voluntariamente de este proyecto, compartiendo mi punto de vista a través de la participación en grupo focal y/o de discusión, firmando este CONSENTIMIENTO INFORMADO en dos ejemplares, uno para quien firma y otro para el equipo de investigación.

Firma del/a entrevistado/a _____ **Fecha** _____

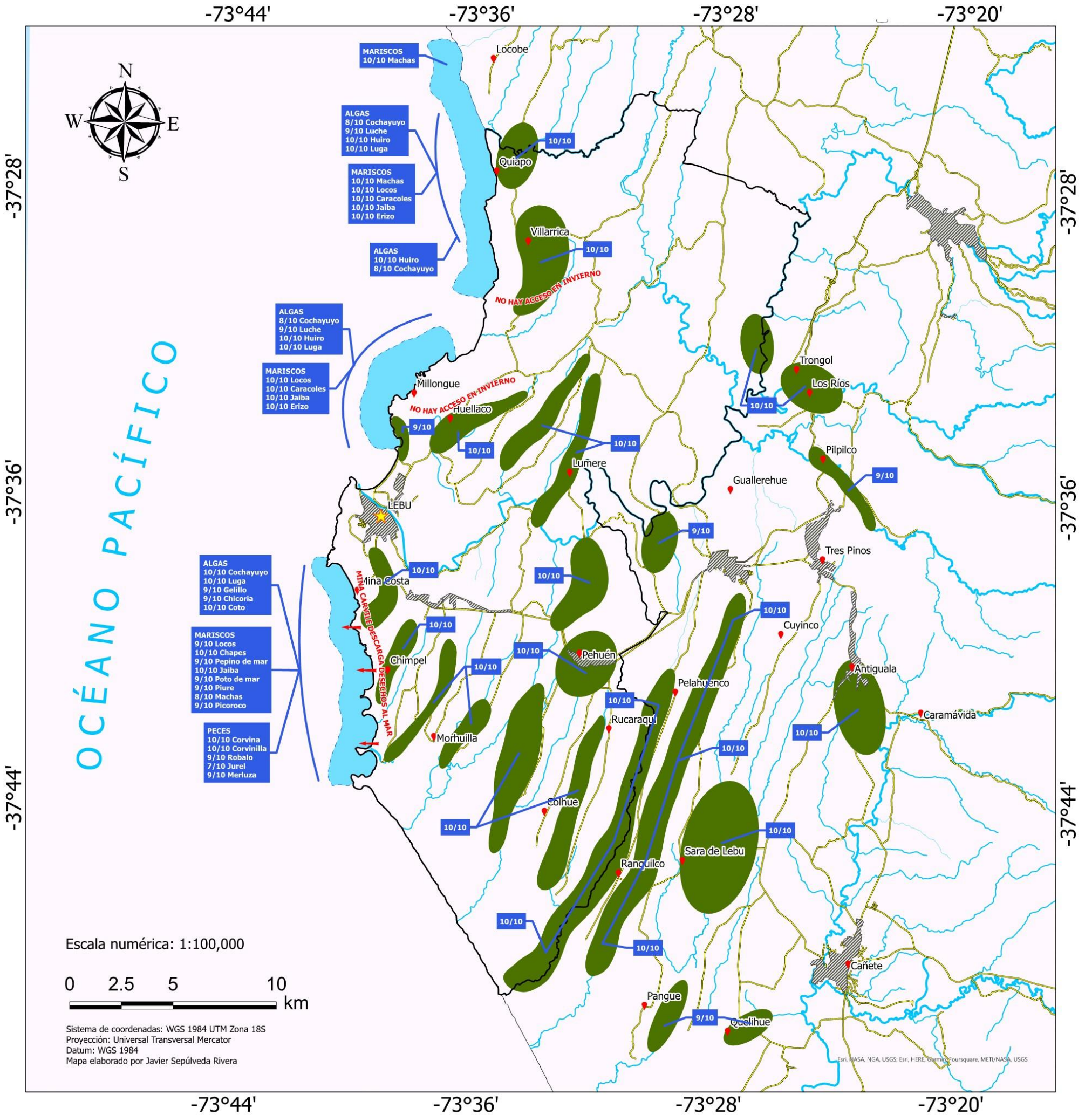
Firma Investigadora Responsable _____

⁵ Si tiene alguna pregunta, durante cualquier etapa del estudio puede comunicarse con Beatriz Cid Aguayo, Departamento de Sociología, Universidad de Concepción. Víctor Lamas #1290, Concepción. Correo electrónico beatrizcid@udec.cl. Con la secretaria del Comité de Ética de la Universidad de Concepción, puede comunicarse a través del correo electrónico secrevid@udec.cl

ANEXO C. CARTOGRAFÍAS PARTICIPATIVAS

CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA LEBU | PERIODO <1990

● RECURSOS MARINOS ● NALCAS



SIMBOLOGÍA

- ★ LEBU
- Localidad aledaña
- Camino
- Quebrada
- Estero
- Río
- ▨ Área urbanizada
- ▭ Límite comunal
- Área de Nalcas
- Área de recursos marinos
- 8/10 Abundancia del recurso

HITOS

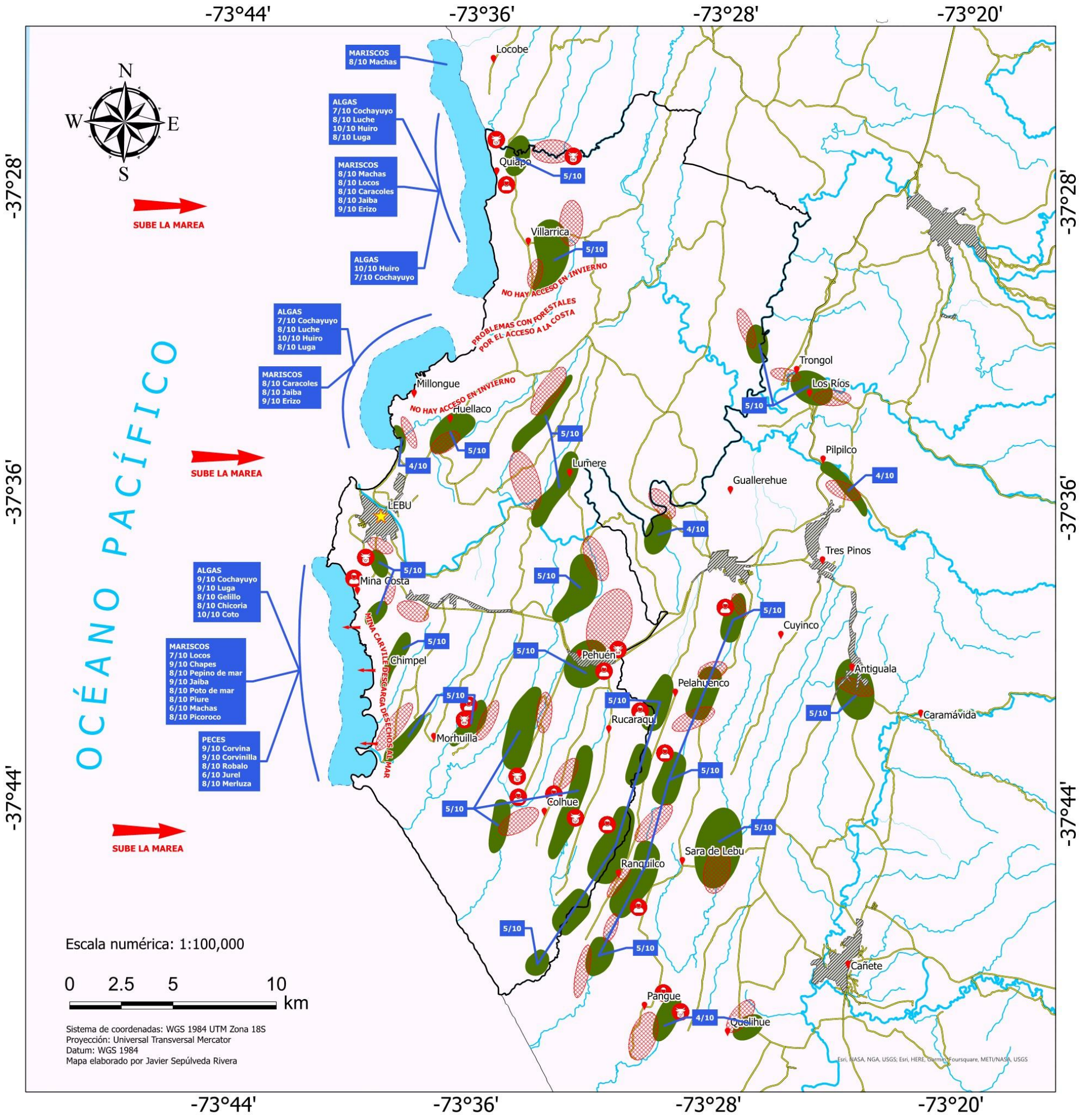
- Gran abundancia y diversidad de comunes (recursos marinos y nalcas).
- Posibilidad de recolectar tranquilamente para consumo personal y venta.
- Se cortaban únicamente las nalcas grandes, lo que les permitía madurar adecuadamente.
- Recolección se realiza principalmente por quebradas, ríos, chorrillos.

AMENAZAS

- Mina de Carbón CARVILE descarga desechos orgánicos y químicos al mar cerca de Mina Costa y Morhuilla.
- En Villarrica y Millongue no hay acceso durante el invierno.

CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA LEBU | PERIODO 1990-2010

● RECURSOS MARINOS ● NALCAS



SIMBOLOGÍA

- ★ LEBU
- Localidad aledaña
- Camino
- Quebrada
- Estero
- Río
- ▨ Área urbanizada
- Límite comunal
- Área de Nalcas
- Área de recursos marinos
- ▨ Predio Forestal
- 8/10 Abundancia del recurso
- 🐄 Ganado local
- 👤 Personas inexpertas

HITOS

● Abundancia de comunes marinos disminuye un poco, pero aún es posible recolectar tranquilamente para consumo personal y venta.

AMENAZAS

- CARVILE continúa descargando desechos al mar cerca de Mina Costa y Morhuilla, hasta que se cierra la mina (~2008).
- En Villarrica y Millongue continúa problema de acceso durante invierno.

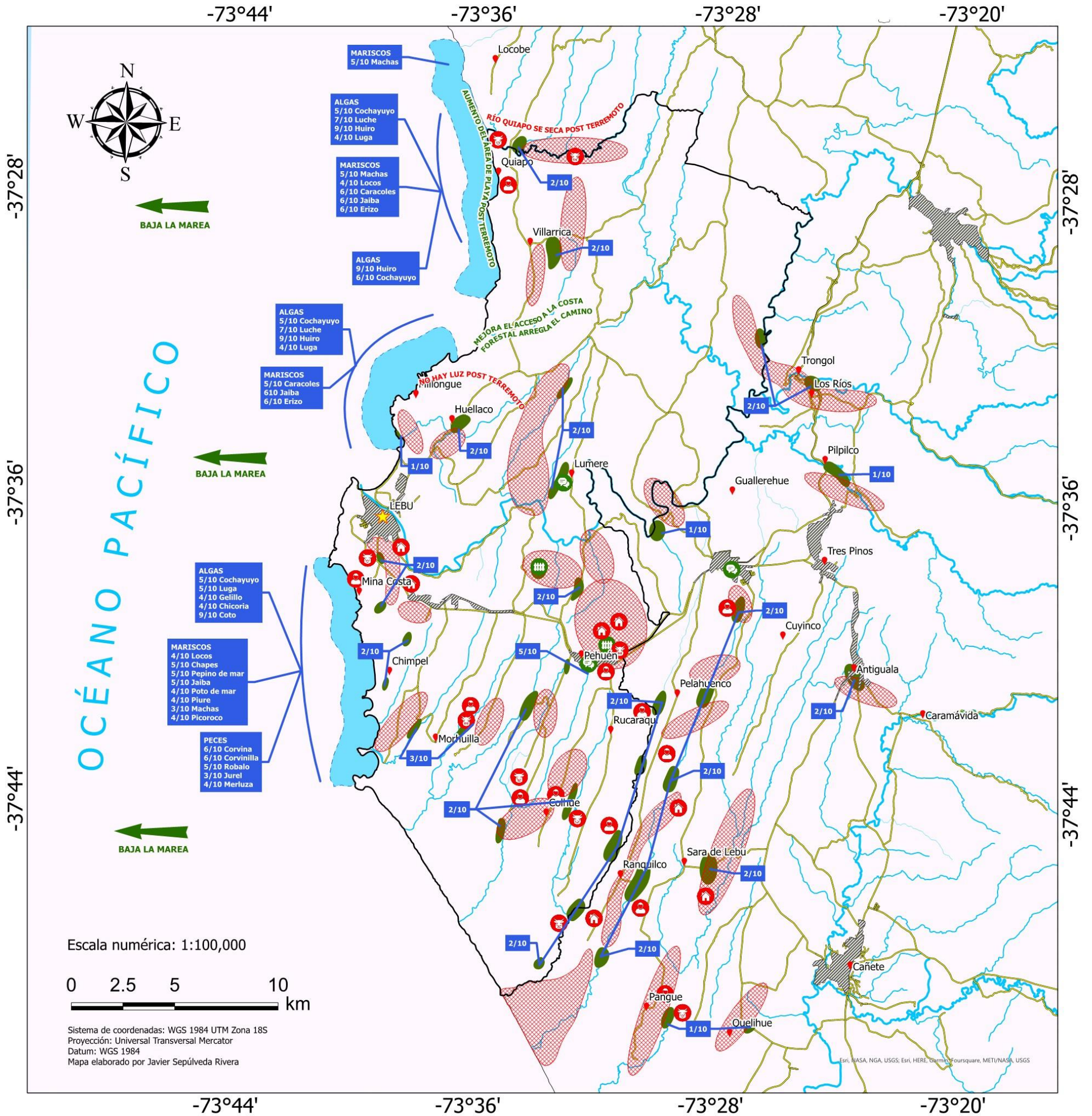
AMENAZAS

- Aparición de predios Forestales afecta notablemente el estado y abundancia de las Nalcas.
- En Villarrica y Millongue no hay acceso durante el invierno.
- Prohibición de extracción de Loco en Millongue.
- Sube la marea, dificultando la extracción de recursos.
- Aparición de personas inexpertas que no saben recolectar nalcas.
- Ganado local también afecta el estado de los nalcales.



CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA LEBU | PERIODO >2010

● RECURSOS MARINOS ● NALCAS



SIMBOLOGÍA

- ★ LEBU
- Localidad aledaña
- Camino
- Quebrada
- Estero
- Río
- ▨ Área urbanizada
- ▭ Límite comunal
- Área de Nalcas
- Área de recursos marinos
- ▨ Predio Forestal
- 8/10 Abundancia del recurso

HITOS

- Post terremoto de 2010 baja la marea y aumenta el área de playa de Quiapo.
- Entre Villarrica y Millongue mejora el acceso, Forestal se encarga de arreglar el camino.
- Reuniones con autoridades para acordar zonas de protección de algunos nalcas.
- Se realizan cercamientos en algunos nalcas y recolectores replantan en algunos sitios como Pehuén y Los Álamos.
- 2010: formación Comité de Recolectores Millongue-Tricao y en 2021: formación Sindicato de Recolectores de Orilla.

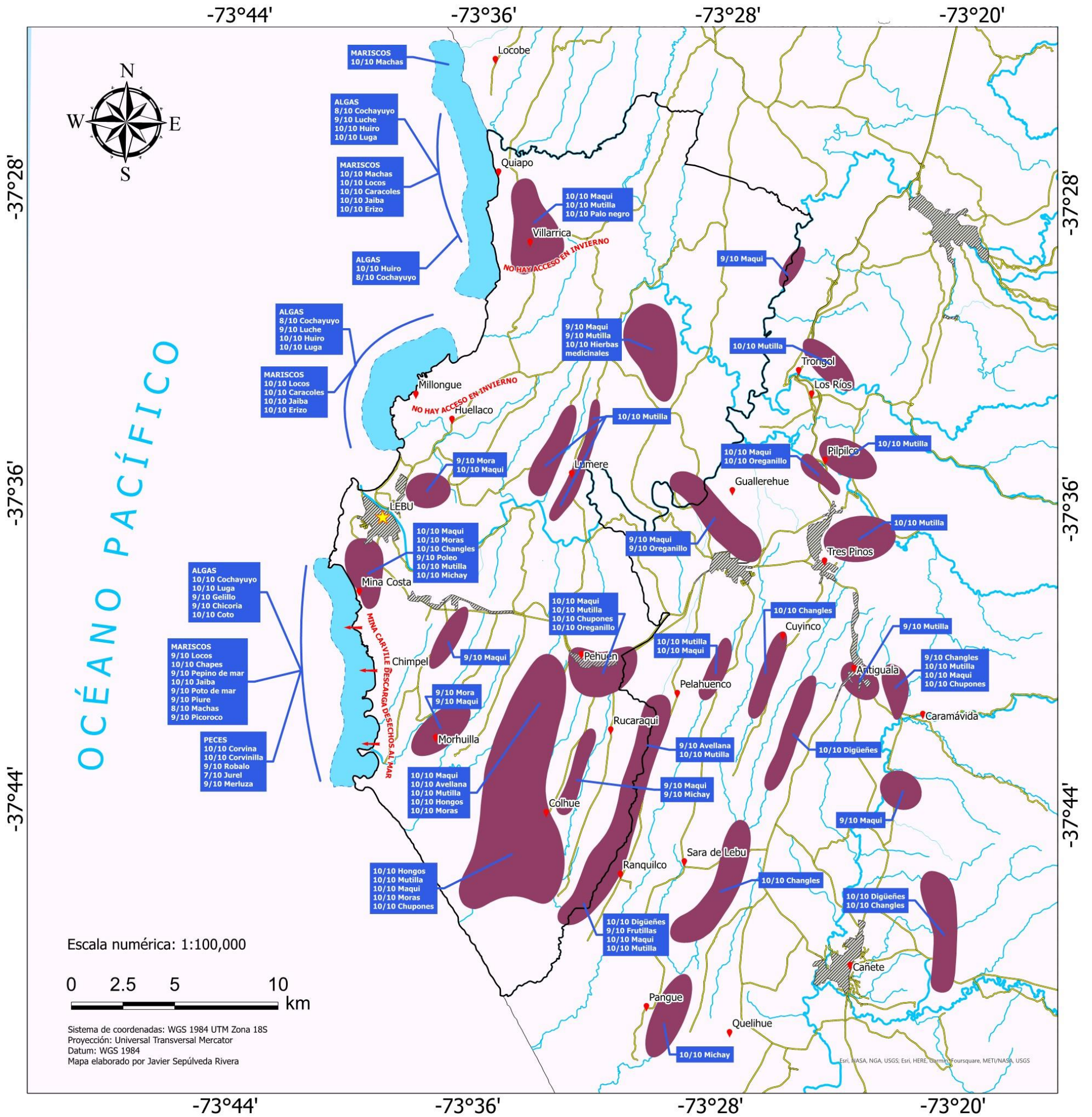
AMENAZAS

- Expansión Forestal agrava aún más el estado y abundancia de los nalcas.
- Aumento de personas con RPA aprox. 10.000, pero se estima que realmente extraen aprox. 3.000.
- Río Quiapo se secó post terremoto de 2010.
- Esteros y vertientes se secan durante el verano.
- Aumento del número de recolectores e inexpertos y proliferan las tomas de terreno.
- Abundancia de Coto amenaza la calidad del Cochayuyo.



CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA LEBU | PERIODO <1990

● RECURSOS MARINOS ● FRUTOS DEL BOSQUE



SIMBOLOGÍA

- ★ LEBU
- Localidad aledaña
- Camino
- Quebrada
- Estero
- Río
- ▨ Área urbanizada
- ▭ Límite comunal
- Área de recursos silvestres
- Área de recursos marinos
- 8/10 Maqui Abundancia del recurso

HITOS

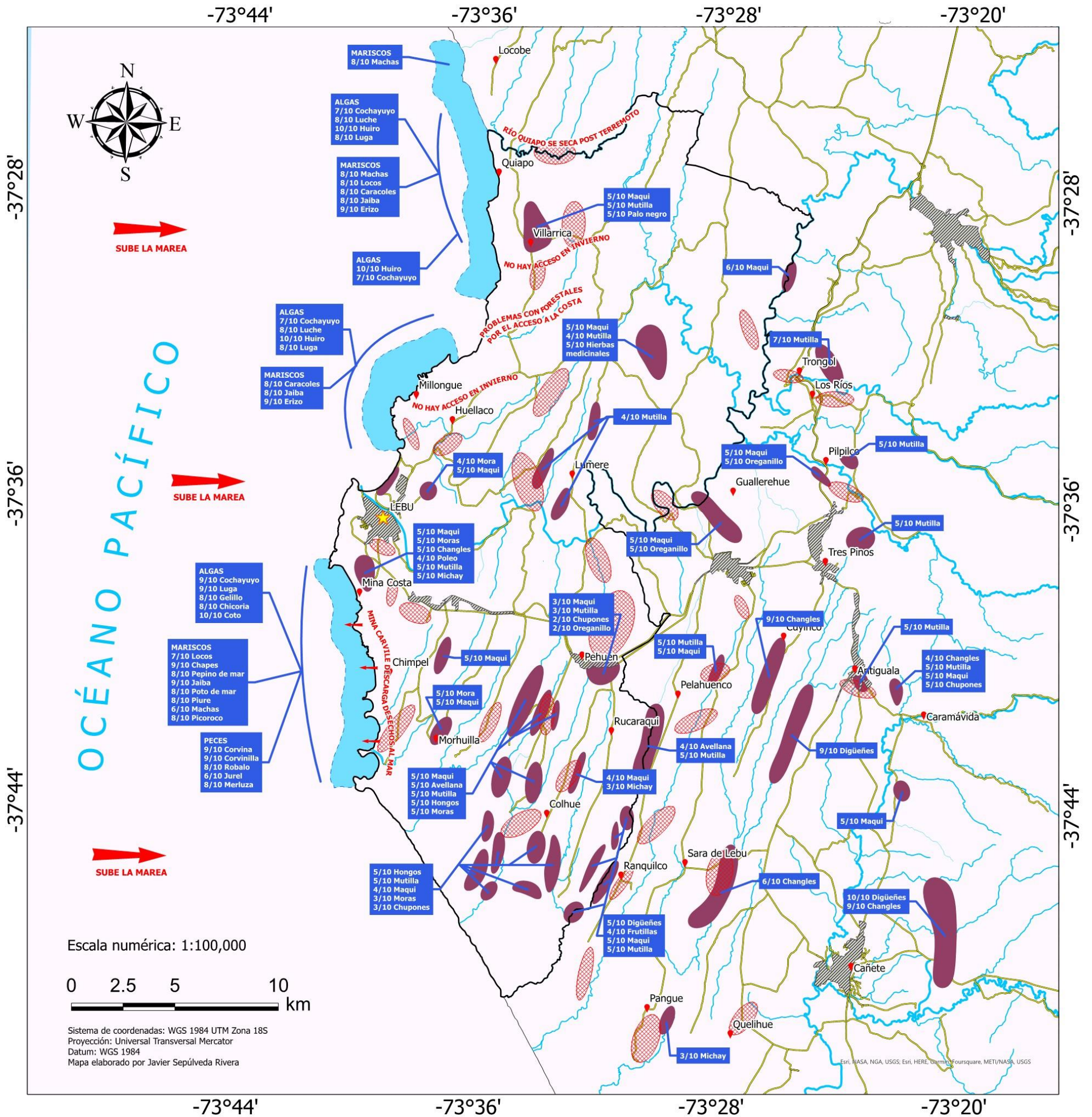
- Gran abundancia y diversidad de comunes (recursos marinos y del bosque).
- Posibilidad de recolectar tranquilamente para consumo personal y venta.

AMENAZAS

- Mina de Carbón CARVILLE descarga desechos orgánicos y químicos al mar cerca de Mina Costa y Morhuilla.
- En Villarrica y Millongue no hay acceso durante el invierno.

CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA LEBU | PERIODO 1990-2010

● RECURSOS MARINOS ● FRUTOS DEL BOSQUE



SIMBOLOGÍA

- ★ LEBU
- Localidad aledaña
- Camino
- Quebrada
- Estero
- Río
- ▨ Área urbanizada
- ▭ Límite comunal
- Área de recursos silvestres
- Área de recursos marinos
- ▨ Predio Forestal
- 8/10 Maqui Abundancia del recurso

HITOS

- Continúa la abundancia y diversidad de recursos comunes marinos, aunque disminuyen un poco, pero con posibilidad de recolectar tranquilamente para consumo personal y venta.
- Algunos lugares de recolección comienzan a ser cuidados por los mismos recolectores.

AMENAZAS

- CARVILE continúa descargando desechos al mar cerca de Mina Costa y Morhuilla, hasta que se cierra la mina (~2008).

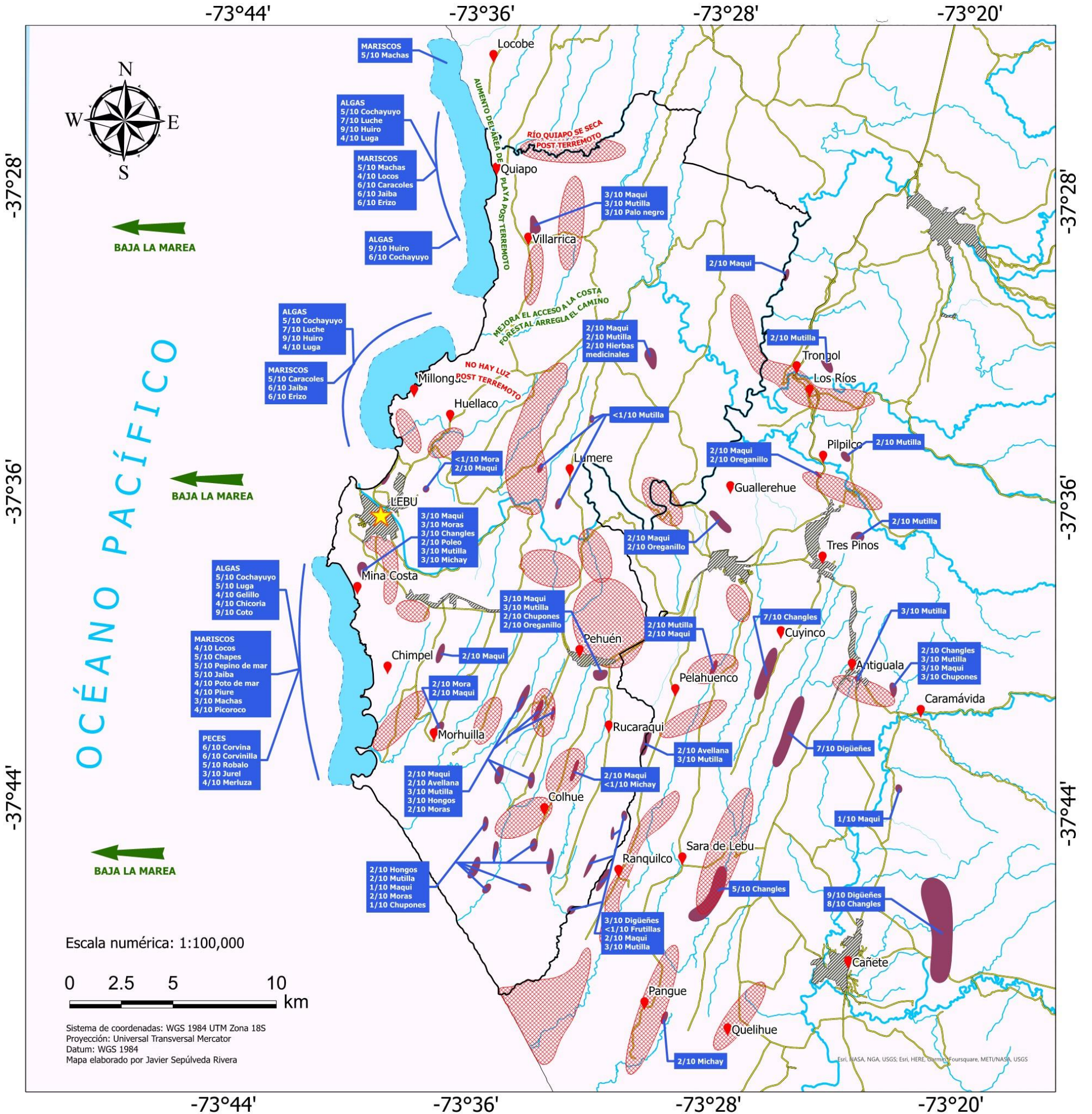
AMENAZAS

- En Villarrica y Millongue continúa problema de acceso durante el invierno.
- Aparición de predios Forestales afecta notablemente el estado y abundancia de los recursos del bosque.
- Entre Villarrica y Millongue hay problemas con Forestal debido al acceso a la costa.
- Prohibición de extracción de Loco en Millongue.
- Sube la marea, dificultando la extracción de recursos.

CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA LEBU | PERIODO >2010

● RECURSOS MARINOS

● FRUTOS DEL BOSQUE



Escala numérica: 1:100,000



Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S
 Proyección: Universal Transversal Mercator
 Datum: WGS 1984
 Mapa elaborado por Javier Sepúlveda Rivera

SIMBOLOGÍA

- ★ LEBU
- Localidad aledaña
- Camino
- Quebrada
- Estero
- Río
- ▨ Área urbanizada
- ▭ Límite comunal
- Área de recursos silvestres
- Área de recursos marinos
- ▨ Predio Forestal
- 8/10 Maqui Abundancia del recurso

HITOS

- Post terremoto de 2010 baja la marea y aumenta el área de playa de Quiapo.
- Entre Villarrica y Millongue mejora el acceso, Forestal se encarga de arreglar el camino.
- Noviembre 2010: formación del Comité de Recolectores Millongue-Tricao.
- Marzo 2021: formación del Sindicato de Recolectores de Orilla.

AMENAZAS

- Expansión Foresta agrava aún más el estado y abundancia de los recursos del bosque.
- Aumento de personas con RPA aprox. 10.000, pero se estima que realmente extraen aprox. 3.000.
- Río Quiapo se secó post terremoto de 2010.
- Esteros y vertientes se secan durante el verano.
- Aumento del número de recolectores e inexpertos afecta la abundancia de recursos.
- Abundancia de Coto amenaza la calidad del Cochayuyo.