



ESCUELA DE
ANTROPOLOGÍA,
GEOGRAFÍA E
HISTORIA

UNIVERSIDAD ACADEMIA HUMANISMO CRISTIANO
ESCUELA DE ANTROPOLOGÍA, GEOGRAFÍA E HISTORIA

EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES DEL HUMEDAL DE
TUNQUÉN EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO ENTRE LOS AÑOS 1990 Y 2021.

Estudiante: Lorca Padilla, Jordán

Profesor guía: Gonzalez, Pilar

Videla, Yohann

Seminario de Grado para optar al grado de Licenciado en Geografía

Santiago, 2022.

Resumen

Los ecosistemas acuáticos como los humedales cumplen un rol fundamental en el medioambiente y en la sociedad, caracterizados por su gran biodiversidad, pese a que muchos de ellos pueden tener una protección legislativa, son muy sensibles a cambios ambientales como también a las presiones antrópicas adyacentes, los cuales aceleran la degradación ecosistémica. A raíz de esto, la siguiente investigación se encarga de explorar la evolución histórica relativa a la vegetación y los componentes hidrológicos del humedal de Tunquén, cuyo enfoque se basa en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente en el aporte de la percepción remota para el análisis de estos ecosistemas considerados como lugares de alta importancia científica. Para ello se estudian distintas variables climáticas, vegetaciones e hidrológicas, y el uso del suelo a lo largo del tiempo y cómo estas permiten esclarecer la evolución del humedal comprendido entre 1990 y 2021.

Palabras claves: Humedal – Percepción Remota – Degradación Ecosistémica– Variabilidad Climática - Presión Antrópica

Abstract

Aquatic ecosystems such as wetlands play a fundamental role in the environment and in society, characterized by their great biodiversity, although many of them may have legislative protection, they are very sensitive to environmental changes as well as to adjacent anthropic pressures, which accelerate ecosystem degradation. As a result, the following research explores the historical evolution of the vegetation and hydrological components of the Tunquén wetland, whose approach is based on the use of Geographic Information Systems (GIS), especially in the contribution of remote sensing for the analysis of these ecosystems considered as places of high scientific importance. For this purpose, different climatic, vegetation and hydrological variables are studied, as well as land use over time, and how these allow clarifying the evolution of the wetland between 1990 and 2021.

Key words: Wetland - Remote Sensing - Ecosystem Degradation - Climate Variability - Anthropogenic Pressure

Agradecimientos

Soy una persona de pocas palabras, pero aprovecharé estos agradecimientos a las personas que me acompañaron día y noche en este largo proceso:

Esta tesis no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de mi pololo Roberto, quién estuvo presente desde el primer día brindándome ánimo y comprensión en los momentos de frustración y bloqueo. Sin él, no estaría acá estudiando una carrera, se lo agradeceré por siempre.

A mi gran amigo y compañero Oscar quien me acompañó a trasnochar frente al pc innumerables veces y por acompañarme a los terrenos a pesar de que lo hice caminar kilómetros para llegar a Tunquén.

A mis profesores guías, Pilar Gonzalez y Yohann Videla por la disposición y sus conocimientos que fueron de gran ayuda para poder enfocar mi investigación.

A los desconocidos que quienes nos dieron un aventón en el terreno y no nos asaltaron.

Índice General

| | |
|---|----|
| 1. Introducción..... | 8 |
| 2. Marco introductorio..... | 9 |
| 2.1. Antecedentes generales | 9 |
| 2.2. Planteamiento del problema..... | 11 |
| 2.3. Pregunta de investigación..... | 12 |
| 2.4. Objetivos | 12 |
| 2.4.1. Objetivo General | 12 |
| 2.4.2. Objetivos Específicos..... | 12 |
| 2.5. Hipótesis..... | 12 |
| 2.6. Justificación del problema..... | 12 |
| 2.7. Área de estudio | 14 |
| 2.8. Limitantes | 14 |
| 3. Marco Teórico | 15 |
| 3.1. Aspectos generales de los humedales..... | 15 |
| 3.1.1. ¿Qué es un humedal? | 15 |
| 3.1.1.1. Definiciones de humedales desde el ámbito académico..... | 15 |
| 3.1.1.2. Definición de las convenciones internacionales | 17 |
| 3.1.1.3. Definiciones de humedales en la legislación chilena | 20 |
| 3.1.2. Importancia de los humedales para la sociedad | 23 |
| 3.1.3. Importancia de los humedales para el medio ambiente..... | 25 |
| 3.1.4. Factores reguladores de los humedales | 27 |
| 3.1.5. Condición de amenaza de los humedales | 28 |
| 3.3. Uso de sensores remotos en los humedales..... | 29 |
| 3.3. Protección de áreas naturales en Chile..... | 32 |
| 3.3.1. Aproximaciones a los Santuarios de la Naturaleza en Chile | 33 |
| 3.3.2. Particulares en la protección de áreas naturales | 34 |
| 3.3.2.1. La dualidad del conflicto territorial ¿Conflicto ambiental o social? | 37 |
| 4. Marco Metodológico | 39 |
| 4.1. Enfoque metodológico..... | 39 |
| 4.2. Tipo de investigación o de estudio | 39 |
| 4.3. Diseño Metodológico | 39 |
| 4.4. Unidad de Análisis..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 4.5. Técnicas e instrumentos de recolección | 42 |
| 4.5.1. Muestreo en terreno | 42 |
| 4.5.1.1. Temperatura | 44 |
| 4.5.1.2. Potencial de Hidrogeno (pH)..... | 44 |
| 4.5.1.3. Conductividad eléctrica | 44 |
| 4.5.1.4. Elementos degradatorios | 45 |
| 4.5.1.5. Captura de imágenes aéreas..... | 48 |
| 4.5.2. Aplicación de sensores remotos | 49 |
| 4.5.2.1. Uso de imágenes satelitales | 49 |
| 4.6. Técnicas de procesamiento (análisis/síntesis) o Plan de Análisis | 51 |
| 4.6.1. Aplicación de índices espectrales | 51 |
| 4.6.1.1. Aplicación de Green Leaf Index (GLI) | 52 |
| 4.6.1.2. Aplicación de Triangular Greenness Index (TGI) | 52 |
| 4.6.1.3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) | 53 |
| 4.6.1.4. Tasseled-Cap Transformation (TCT)..... | 54 |
| 4.6.1.5. Normalized Difference Water Index (NDWI)..... | 56 |
| 4.6.2. Uso de grillas con datos meteorológicos | 57 |
| 4.6.3. Análisis documental | 59 |
| 4.6.4. Análisis de correlación lineal | 59 |
| 5. Resultados | 62 |
| 5.1. Caracterización sobre el estado actual estado actual del humedal | 62 |
| 5.2. Evolución a lo largo del tiempo | 69 |
| 5.3. Uso del suelo a lo largo del tiempo | 80 |
| 6. Conclusiones y discusiones | 85 |
| 7. Referencias | 88 |
| 8. Anexos | 99 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1: Lugares y temáticas en donde se realizado INTECOL Wetlands Conference hasta la fecha..... | 17 |
| Tabla 2: Clasificación de los humedales según su ecotipo | 22 |
| Tabla 3: Criterios socioculturales para la valoración de la importancia de ecosistemas (humedales)..... | 24 |
| Tabla 4: Marco de valor económico total..... | 25 |
| Tabla 5: Estatutos de protección a nivel de leyes en Chile | 33 |
| Tabla 6: Modalidades de gobernanza, propuestas por la UICN..... | 36 |
| Tabla 7: Resumen de las perspectivas sobre el conflicto ambiental abordado por el CIP. | 38 |
| Tabla 8: Unidad de análisis del objetivo general | 40 |
| Tabla 9: Unidades de análisis por objetivos específicos..... | 41 |
| Tabla 10: Fechas de los trabajos en terreno para la recogida de muestras..... | 43 |
| Tabla 11: Tabla de recogida de muestras en terreno..... | 46 |
| Tabla 12: Modelo de ficha de observación..... | 47 |
| Tabla 13: Técnicas e instrumentos por objetivos específicos | 50 |
| Tabla 14: Precisiones y errores del método NDVI en la delimitación de humedales..... | 54 |
| Tabla 15: Formula del NDVI para el cálculo de bandas para cada sensor | 54 |
| Tabla 16: Precisiones y errores del método TCT en la delimitación de humedales | 56 |
| Tabla 17: Precisiones y errores del método NDWI en la delimitación de humedales..... | 57 |
| Tabla 18: Formula del NDWI para el cálculo de bandas para cada sensor. | 57 |
| Tabla 19: Historial de decretos de escasez hídrica en la comuna de Casablanca..... | 79 |
| Tabla 20: Especies plantadas en la comuna de Casablanca | 82 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----------|
| Figura 1: Delimitación del área de estudio | 14 |
| Figura 2: Espectros de reflectancia generalizados en algunos materiales de la superficie terrestre..... | 30 |
| Figura 3: Mapa de las estaciones de muestreo en el humedal..... | 43 |
| Figura 4: Numero de imágenes superpuestas capturadas en el vuelo del dron (a la izquierda). Captura del recorrido realizado por el dron desde la aplicación operadora (a la derecha) | 48 |
| Figura 5: Matriz de los sensores utilizados para las imágenes satelitales | 49 |
| Figura 6: Esquema metodológico de esta investigación..... | 51 |
| Figura 7: Transformación Tasseled Cap entre el greenness (verdor) y la humedad (wetness) . | 55 |
| Figura 8: Comparación entre datos observacionales y el producto CR2MET de precipitación acumulada anual promedio entre 1979 y 2016. | 58 |
| Figura 9: Interfaz de la plataforma de datos climáticos Climate Engine | 58 |
| Figura 10: Errores típicos que se cometen al utilizar el coeficiente de determinación | 60 |
| Figura 11: Operativización de la herramienta Cell Statistics | 60 |
| Figura 12: Operativización del método Change Detection en ArcGIS Pro | 61 |
| Figura 13: Promedio de la conductibilidad eléctrica de las muestras obtenidas en el Humedal (a la izquierda) y la conductibilidad eléctrica en función de la distancia del mar (a la derecha) | 62 |
| Figura 14: Comparación de los índices TGI y GLI en la zona este del humedal de Tunquén. | 64 |

| | |
|---|----|
| Figura 15: Comparación entre los índices TGI y GLI sobre la vegetación al sur del humedal de Tunquén | 65 |
| Figura 16: Especies alóctonas masivas observadas en el terreno: Eschscholzia Califórnica (a la izquierda) y Cynara cardunculus (a la derecha) | 66 |
| Figura 17: Espuma endógena en el margen Suroeste (imagen izquierda) y Este (imagen derecha) del humedal | 67 |
| Figura 18: Situaciones observadas en el humedal: Neumático en medio del humedal (imagen izquierda) y perros captados vagando en los alrededores del humedal (imagen derecha) | 68 |
| Figura 19: Distribución fenológica mensual en el humedal de Tunquén | 69 |
| Figura 20: Tendencia histórica del NDVI en el humedal de Tunquén entre los años 1990 y 2021 | 70 |
| Figura 21: Porcentaje de hectáreas del NDVI en promedio anual en el humedal de Tunquén | 70 |
| Figura 22: Precipitaciones anuales entre 1990 y 2021 en Tunquén | 71 |
| Figura 23: Normalización de los datos de precipitación en función al promedio histórico | 72 |
| Figura 24: Normalización de los datos de precipitación en función de la tendencia histórica . | 73 |
| Figura 25: Porcentaje de hectáreas del NDWI en promedio anual en el humedal de Tunquén | 73 |
| Figura 26: NDWI en función de la evapotranspiración | 74 |
| Figura 27: Gráficos de dispersión de Tasseled Cap del humedal en el año 1989 | 75 |
| Figura 28: Gráficos de dispersión de Tasseled Cap del humedal en el año 2021 | 76 |
| Figura 29: Signos de eutrofización en el área de inundación del Estero Casablanca | 77 |
| Figura 30: Recurrencia temporal del NDVI y NDVI del humedal de Tunquén entre 1990 y 2021 | 78 |
| Figura 31: Evolución del NDVI en la cuenca del Estero Casablanca mediante Change Detection ArcGis Pro | 81 |
| Figura 32: Comparación de la localidad de Tunquén en 2009 (a la izquierda) y 2022 (a la derecha) | 84 |

Anexos

| | |
|---|-----|
| Anexo 1: Sistema Ramsar para la clasificación de humedales..... | 99 |
| Anexo 2: Script en lenguaje javascript para la obtención de imágenes satelitales en la plataforma Google Earth Engine | 102 |
| Anexo 3: Delimitaciones de protección propuestas para el área de Tunquén de los años 2012 y 2018 | 103 |
| Anexo 4: Compilación de gráficos utilizados en la correlación de determinación | 104 |
| Anexo 5. Correlaciones de los datos observados y las variables modeladas | 105 |
| Anexo 6: Evolución de la cuenca del Estero Casablanca basado en el NDBI | 106 |
| Anexo 7: Variación del margen Oeste del humedal de Tunquén entre los periodos 2006 y 2022.. | 106 |
| Anexo 8: Distribución de la naturaleza de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del Estero Casablanca..... | 106 |
| Anexo 9: Cartografía del uso del suelo en la cuenca del Estero Casablanca en el año 2016..... | 106 |
| Anexo 10: Cartografía del uso del suelo en la cuenca del Estero Casablanca en el año 2001 | 106 |

1. Introducción

Chile en su vasto territorio tiene una gran diversidad de ecosistemas que albergan innumerables especies que dependen de estos y es que su multitud de climas y ambientes permite que el país posea 73 de las 110 tipologías de ecosistemas. Entre ellos se encuentran los sistemas acuáticos como los humedales que son sistemas de importancia científica ya que brindan servicios ecosistémicos favorables para el medioambiente y la sociedad pero que son altamente sensibles a los cambios externos. La expansión urbana a los sectores rurales amenaza a estos ecosistemas, aumentando su degradación y en casos extremos llevando a la erradicación del mismo, es por esta razón que se tiene que evaluar los impactos medioambientales para así tener una radiografía del estado actual y su proyección a futuro para la cuenca y el humedal de Tunquén.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la situación actual del Humedal de Tunquén en la Región de Valparaíso, en relación a los cambios medioambientales a nivel vegetativo e hidrológico entre los años 1990 y 2021. Abordando el humedal y la cuenca del Estero Casablanca se propone realizar los siguientes objetivos específicos: a) *Diagnosticar las condiciones medioambientales que componen la situación actual del Humedal de Tunquén en relación a la vegetación circundante y al cuerpo de agua presente en el área de estudio;* b) *Explicar los cambios vegetacionales e hidrológicos del Humedal de Tunquén de las últimas dos décadas en relación a la variabilidad del estado fenológico de la vegetación presente, de la precipitación y de la extracción de agua;* c) *Identificar la variación de uso de suelos en las zonas adyacentes al humedal de Tunquén desde 1990 hasta el 2021 en relación al cambio de la cobertura de suelo.*

Con respecto a la metodología, se realizan análisis histórico a las imágenes satelitales de los sensores Landsat y Sentinel del humedal y la cuenca, que en conjunto de captura de imágenes aéreas sobre el humedal se configurará la naturaleza cuantitativa de esta investigación. Adicionalmente, se incorporan al análisis, mediciones en terreno sobre el cuerpo de agua del humedal como también la incorporación de observaciones en terreno de las especies vegetales.

Esta investigación se compone de 5 capítulos en donde se iniciará esbozando los antecedentes con respecto a las problemáticas actuales de humedal de Tunquén. Luego en el marco teórico,

abordar lo que significa un humedal y sus distintas conceptualizaciones a nivel académico y legislativo, como también su importancia, regulación y protección de los humedales en Chile. En marco metodológico en donde se explica el enfoque y el diseño metodológico utilizado en esta investigación. Finalmente, en los apartados de resultados y conclusiones, en donde se discuten los distintos hallazgos obtenidos y se reflexionará sobre la investigación realizada.

2. Marco introductorio

2.1. Antecedentes generales

Los humedales son ecosistemas dinámicos e importantes para el medioambiente y la sociedad debido a la gran variedad de servicios ecosistémicos que proveen. Su dinamismo radica en la interacción constante entre el agua, suelo, vegetación, flora y fauna, a su vez son sistemas muy frágiles a anomalías naturales como la sequía y a factores antrópicos como contaminación o extracción masiva de agua. Lo que hace pensar en las dimensiones que puede traer la destrucción de estos ecosistemas y tener en cuenta el panorama nacional con respecto a los humedales. Existen en Chile un total de 1966 humedales catastrados, de los cuales 1463 se ubican total o parcialmente en zonas urbanas y solo 16 se encuentran bajo la figura de sitio RAMSAR (Edáfica, 2020). En función de este escenario se puede inferir que los humedales poseen una amplia presencia en el territorio nacional y, en el caso particular de la comuna de Algarrobo, existen 12 humedales que representan una superficie total de 81 hectáreas.

En uno de esos humedales se encuentra el humedal de Tunquén en la región de Valparaíso, conocido por su importancia paleontológica, zoológica y botánica, principalmente por la alta biodiversidad, convirtiendo este ecosistema en uno de los pocos lugares en la región de Valparaíso de importancia en la conservación de especies nativas (Zunino et al., 2009) y sin intervención inmobiliaria hasta el año 2014 (*Sentencia segundo tribunal Ambiental de la República de Chile*, 2016). Su composición se basa en un espejo de agua que permanece retenido por la acumulación de sedimentos que impide su desembocadura al océano pacífico y que a su vez es alimentado por la cuenca del Estero Casablanca.

Dichos antecedentes derivaron en la necesidad de proteger Tunquén y convertirlo en un santuario de la naturaleza data del año 2002 cuando un grupo de vecinos de la zona que se organizaban y realizaban “*mingas de limpieza*” de la playa y del humedal tras la finalización

del periodo estival, se decidió postular a la protección del sistema ecológico de Tunquén, que comprendía desde el humedal hasta las laderas de los cerros que encierran el campo dunar (Lucero, 2022). Fue así como, en enero del 2015, se promulga en el diario oficial la declaración del Santuario de la Naturaleza Humedal de Tunquén el cual estableció como objeto de protección lo siguiente:

“Las formaciones vegetacionales bosque esclerófilo costero y desierto costero; el sistema dunario; las especies de flora y fauna en estado de conservación y, en especial, la fauna íctica nativa (...) el humedal, conformado por el estero Casablanca y su estuario, y los servicios ecosistémicos asociados; y la singularidad paisajística”. (Diario Oficial de la República de Chile, 2015)

También se especificó que la administración y manejo queda a cargo de Romo Ltda., cuya representante es Sara Romo Strange (dueña del predio en donde se sitúa el humedal) y quedó bajo la supervigilancia y custodia del Ministerio del Medio Ambiente, ente que ha sido clave para la comunidad para canalizar las denuncias.

Pese a lo anterior, el humedal ha sido objeto de agresiones a pesar de ser un santuario de la naturaleza, como el hecho que ocurrió el 5 de junio de 2018, el cual se interpuso una denuncia en contra de Transportes y Áridos Tulio Gutiérrez por extracción ilegal de áridos que se encuentra adyacente a la zona del humedal. La ilegalidad que expuso la Fundación Tunquén Sustentable fue que la empresa no se sometió al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), la denuncia se acompañó con el memorándum N°83/2018 de la I. Municipalidad de Algarrobo el cual señalaba que la actividad extractiva se desarrollaba en una zona IS (Zona de Interés Silvoagropecuario), fallando a favor de la fundación (*Segundo Tribunal Ambiental*, 2019).

A finales del 2020 se reportó una baja significativa del nivel de agua del humedal causando preocupación en los residentes y organizaciones, aunque años antes se advirtió una baja en el caudal superficial del Estero Casablanca por el aumento de las concesiones de derecho en la cuenca de Casablanca (Rizzo Associates Chile S.A, 2015). También se reportaron episodios de mortandad de peces de la especie *Basilichthys microlepidotus* en la zona del humedal y, que, a pesar de estos eventos, las diversas organizaciones locales no han cesado en el mecanismo legal que los lleva día a día a denunciar cualquier anomalía que se presente en el santuario en su conjunto, referido a las 326 hectáreas que no solo comprenden el

humedal o los campos dunares, sino que también a las quebradas y laderas adyacentes (ver **Anexo 3**). Actualmente se encuentra publicado la extensión del santuario “Santuario de la Naturaleza Playa de Tunquén – Quebrada Seca” que aumenta los límites de protección a los ecosistemas denominados Laguna Seca y Quebrada Seca (Diario Oficial de la República de Chile, 2022). Además, la denuncia ante la Dirección General de Aguas (DGA) en contra la inmobiliaria Santa Augusta de Quintay está en proceso, por la sobre extracción de agua en el Estero de Casablanca que es el que alimenta el humedal.

2.2. Planteamiento del problema

En los últimos años la comuna de Algarrobo ha experimentado un aumento en el desarrollo inmobiliario, es decir, que cada vez más los proyectos inmobiliarios han optado por instalarse en la zona norte de la comuna, cuya característica es de tipo rural pero que, a su vez, ofrecen un paisaje natural que resulta atractivo para la inversión inmobiliaria y que avanzan hacia la localidad de Tunquén. La cual ya se encuentra entre dos megaproyectos “El Rabanal”, ubicado en la localidad rural de El Yeco, obra que actualmente se encuentra paralizada por orden del Consejo Nacional de Monumentos y Santa Augusta de Quintay inaugurada el año 1994. La expansión de la mancha urbana de la comuna de Algarrobo experimentó un alto nivel entre los años 2006 y 2011, representado un aumento de viviendas en esa comuna (Rojas, 2018), lo anterior ha aumentado la presión antrópica en áreas naturales como lo es en la localidad de Tunquén en la Región de Valparaíso. Si bien existe una protección por parte del Estado y una administración comunitaria de las cuales se crean organizaciones no gubernamentales ambientales como la Fundación Tunquén Sustentable, estas medidas pueden ser insuficientes debido a la el sector está bajo la amenaza constante, debido a la acción de privados concretizado en el aumento de los derechos de agua en la cuenca del Estero de Casablanca, reducción del nivel del agua en el humedal y episodios de masiva mortandad de peces y contaminación que pueden estar llevando al humedal a una situación límite (Cossio, 2021), acelerando su degradación y, por ende, afectando a los servicios ecosistémicos que brinda a la localidad.

Los antecedentes expuestos, han motivado la presente investigación en el Santuario de la Naturaleza “Humedal de Tunquén” mediante un estudio que abarca entre los años 1990 y 2021, cuya finalidad es evaluar la situación actual del humedal, considerando la variabilidad

histórica que este ecosistema ha tenido en el paso de los años, dando énfasis en el rol de los sistemas de teledetección.

2.3. Pregunta de investigación

¿Cómo ha evolucionado la vegetación e hidrología del Humedal de Tunquén entre los años 1990 y 2021?

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo General

Evaluar la situación actual del Humedal de Tunquén en la Región de Valparaíso, en relación a los cambios medioambientales a nivel vegetativo e hidrológico entre los años 1990 y 2021.

2.4.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar las condiciones medioambientales que componen la situación actual del Humedal de Tunquén en relación a la vegetación circundante y al cuerpo de agua presente en el área de estudio.

Explicar los cambios vegetacionales e hidrológicos del Humedal de Tunquén de las últimas dos décadas en relación a la variabilidad del estado fenológico de la vegetación presente, de la precipitación y de la extracción de agua.

Identificar la variación de uso de suelos en las zonas adyacentes al humedal de Tunquén desde 1990 hasta el 2021 en relación al cambio de la cobertura de suelo.

2.5. Hipótesis

El humedal está presentando signos de degradación la cual se evidencia en la vegetación circundante y en el cuerpo de agua, que guarda estrecha relación a la presión antrópica que se ha ejercido durante los últimos años en la cuenca que lo alimenta y los episodios de contaminación que ha experimentado en su caudal, lo cual refleja una considerable degradación del humedal.

2.6. Justificación del problema

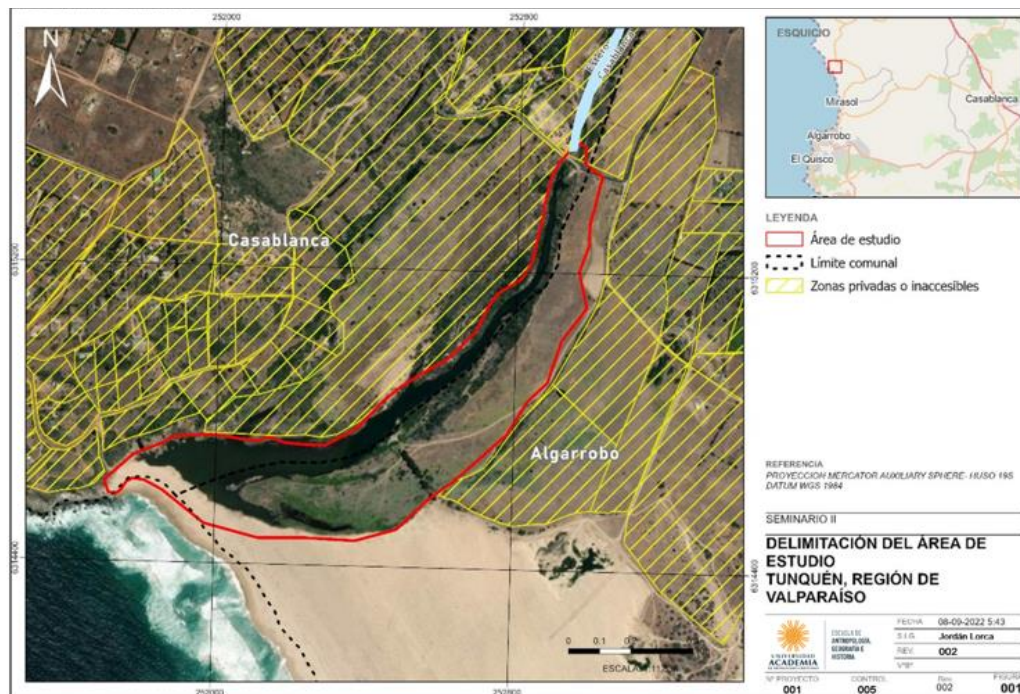
La presente investigación plantea una contribución en el área de desarrollo investigativo del Santuario de la Naturaleza de Tunquén, haciendo énfasis en los factores externos que afectan

al santuario, esto mediante el aporte de relaciones espaciales, aplicación de metodologías comparativas y el diagnóstico situacional a fines de potenciar el conocimiento geográfico en las comunidades. La razón por la cual se deben dar más importancia al estudio de los humedales costeros, como es el caso del Humedal de Tunquén, es por el aumento explosivo de la oferta inmobiliaria en los últimos años en las zonas costeras del litoral que, según Dattwyler (2016), se debe a una tendencia a la propagación del tejido urbano sin ciudad, es decir, la promoción inmobiliaria de espacios privados sin espacios públicos ni equipamientos urbanos accesibles a toda la población. Sin duda un escenario que se vuelve cada vez común que viene acompañado por efectos devastadores en el medioambiente por los procesos de antropización¹ de las cuencas y los humedales, profundizando los conflictos ambientales en la zona. Esta investigación también se encarga de dar importancia a los sistemas de sensoriamiento remoto sobre este tipo de ecosistemas.

¹ Basado en el concepto de antropización de Peña-Cortés et al., (2006) el cual hace referencia a niveles de alteración de cuencas y humedales según las variables morfológicas, morfométricas, presión de los usos de suelos, cobertura vegetal y tipos de suelos que influyen en las funciones de los humedales

2.7. Área de estudio

Figura 1: Delimitación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

El área de estudio comprende un área aproximada de 38 hectáreas, el cual se priorizó el estudio en la zona accesible al humedal como también la unión del estero y la zona de embancamiento de los sedimentos del campo dunar.

2.8. Limitantes

Dado la característica de la zona y los procesos de parcelación en el sector del humedal y del Estero de Casablanca, estos poseen ciertas limitantes con respecto a los terrenos de privados que están cercados perimetralmente y que por este motivo a la hora de tomar muestras en el terreno no se podrá acceder a la zona norte del humedal con el fin de evitar problemas y de respetar los límites de los predios. El Estero Casablanca solo se puede acceder a una zona de acumulación colindante con la ruta F-818 ya que las cercas están puestas sobre el agua.

3. Marco Teórico

3.1. Aspectos generales de los humedales

El estudio de los humedales ha tenido un progresivo avance en la investigación de estos sistemas que particularmente son complejos, debido que existe varios elementos que permitirá su formación junto a los beneficios que estos sistemas pueden aportar a la sociedad. La necesidad de definir lo que es exactamente un humedal tiene sus complicaciones, esto es por la influencia del lenguaje común que conceptualiza un humedal atribuyéndole a los pantanos, estanques y hasta turberas. A continuación, se esbozarán las diferentes definiciones de este sistema con el fin de considerar las diferentes perspectivas académicas, internacionales y particularmente la legislación chilena.

3.1.1. ¿Qué es un humedal?

3.1.1.1. Definiciones de humedales desde el ámbito académico

La definición de humedal ha variado durante el paso de años, el concepto propiamente tal ha sido interpretado de diversas maneras por diversos autores, es dificultoso definir a los humedales en el ámbito académico, ya que dependiendo el campo de estudio puede que se acentúen en ciertas características como resaltando sus funciones ecosistémicas. Históricamente los humedales carecían de importancia, dado que se consideraban los drenajes procedentes de estos para producir las tierras altas sobre todo en el siglo XIX (Mitsch & Gosselink, 2015). El concepto de humedal o *wetlands* no se utilizó hasta el siglo XX, en donde se incorporó en el lenguaje común. Anteriormente en el siglo XIX eran relacionados con los términos pantano, ciénaga o páramo, en donde la importancia de valoración de estos ecosistemas en la época de los 70s fue tratada con poco interés en su definición. El interés en la definición de humedal surgió a finales de los 70s con la redacción de leyes y reglamentos nacionales e internacionales que requerían precisar de mejor forma el concepto, debido a la necesidad de delimitación e importancia que estaba adquiriendo los humedales en la sociedad (Mitsch & Gosselink, 2007).

La mayoría de las definiciones de humedales se basa desde la perspectiva de la biología, dado a que los profesionales de esta área, ligados a la botánica y la vida silvestre, fueron los primeros en reconocer el valor de estos ecosistemas (Tiner, 2017).

A pesar de lo anterior, la primera definición de humedal normadas tuvo lugar en 1956 en una circular del *Fish and Wildlife Service* (FWS) de los Estados Unidos:

“The term “wetlands,” (...) refers to lowlands covered with shallow and sometimes temporary or intermittent waters. They are referred to by such names as marshes, swamps, bogs, wet meadows, potholes, sloughs, and river-overflow lands. Shallow lakes and ponds, usually with emergent vegetation as a conspicuous feature, are included in the definition, but the permanent waters of streams reservoirs, and deep lakes are not included”. (Shaw & Fredline, 1956, Pp 5.)

Inicialmente en su definición de humedal menciona las características de cobertura de agua, periodo, nombres asociados y la vegetación emergente que conllevan estos sistemas. Es importante mencionar que la FWS de los Estados Unidos es pionero en el monitoreo de los humedales, ya que es uno de los más antiguos en el estudio y conservación institucionalizada de ese país.

A modo de comparación, a escala latinoamericana, no se puede dejar de lado al país que se estima que el 20% de su superficie corresponden a humedales incluyendo a uno de los más grandes como lo es “El Pantanal”, en Brasil. Se propone la siguiente definición:

Los humedales son ecosistemas situados en la interfaz entre los medios acuático y terrestre; pueden ser continentales o costeros, naturales o artificiales, inundados permanente o periódicamente por aguas poco profundas o estar formados por suelos anegados. Sus aguas pueden ser dulces o muy o poco salinas. Los humedales albergan comunidades vegetales y animales específicas adaptadas a su dinámica hidrológica. (Junk et al., 2014, Pp. 3)

Esta definición resulta más precisa que la presentada anteriormente, ya que reconoce la composición del agua que pueden tener estos ecosistemas y la funcionalidad de hábitat que poseen, además, estos autores dotan de importancia a la biota, las funciones y los pueblos nativos (Junk et al., 2014).

Contrariamente a este elemento, autores como Tiner (2017) cuestiona que el concepto de humedal sea abordado por sus funciones ecosistémicas, ya que no tiene sentido que sus características, como el almacenamiento de las inundaciones o la estabilización de las costas y la recarga de las aguas subterráneas, no son exclusivas de los humedales. Además, cuestiona que los humedales artificiales reemplacen y sean dispuestos en la misma categoría que un humedal natural como lo hacen muchas normativas alrededor del mundo como en Nueva Zelanda, Brasil o China (Tiner, 2017).

Se tiene conocimiento que los humedales sean asociados a otros sistemas, es por ello por lo que William M. & J. Gosselink (2015) diferencian a los humedales de otros sistemas atribuyéndole la presencia de agua, ya sea en la superficie o dentro de la zona de las raíces; las condiciones del suelo son únicas difieren de las tierras altas adyacentes; Albergan una biota que se adapta a las condiciones de humedad (hidrofitos) y tiene una ausencia de una biota intolerante a las inundaciones. Sin duda, estos autores son reconocidos por la extensa carrera de estudio a los humedales, por lo que la definición utilizada para esta investigación proviene de sus obras más citadas en el estudio de estos ecosistemas.

3.1.1.2. Definición de las convenciones internacionales

Las convenciones internacionales se caracterizan por establecer bases de conservación que dan paso para que los Estados definan leyes con respecto a materias medioambientales. Si bien se han realizado distintas convenciones organizadas por la Asociación Internacional de Ecología de Humedales (INTECOL Wetland Conference) la cual es la más grande internacionalmente y una de las más influyentes entre los científicos, se ha desarrollado en distintas partes del mundo, como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Lugares y temáticas en donde se realizado INTECOL Wetlands Conference hasta la fecha.

| Año | Lugar | Temática |
|------|------------------------|--|
| 1980 | Nueva Delhi, India | Sin información |
| 1984 | Trebon, Checoslovaquia | Sin información |
| 1988 | Rennes, Francia | Conservación y desarrollo: El uso sostenible de los recursos de los humedales |
| 1992 | Columbus, EE. UU | Humedales del mundo |
| 1996 | Perth, Australia | Humedales en el futuro |
| 1990 | Quebec, Canadá | Humedal en el milenio |
| 2004 | Utrecht, Noruega | Sin información |
| 2008 | Culaba, Brasil | Grandes Humedales, grandes preocupaciones |

| | | |
|------|-----------------------------|--|
| 2012 | Orlando, EE. UU | Humedales en un mundo complejo |
| 2021 | Christchurch, Nueva Zelanda | Conocimiento tradicional y ciencia innovadora en la investigación y gestión de los humedales |
| 2022 | Ginebra, Suiza | Fronteras de la Ecología: Ciencia y Sociedad |

Fuente: Elaboración propia adaptado de Mitsch & Gosselink, (2015).

Pero a pesar de lo anterior, INTECOL no ha tenido influencia a nivel latinoamericano como las dos convenciones internacionales más relevantes, que han tenido impactos en la normativa chilena, tales como:

Convención de Washington de 1940

Mediante esta convención, Chile se suscribe bajo el decreto N°531 de 1967 y se establecen los lineamientos que fueron incorporados en la legislación chilena; categorizando y definiendo los Parques Nacionales, Reservas Nacionales, Monumentos Naturales, Reservas de Regiones Vírgenes y Aves Migratorias (Convención para la Protección de la Flora, Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América, firmado en Washington el 12 de Octubre de 1940, 1967).

La Convención de Washington tiene la característica de ser un “Convenio Marco”, lo que se traduce en la inexistencia de Secretaría u otro órgano de funcionamiento o supervisión (Instituto Libertad, 2018). Independiente de lo anterior, esta convención sirve de antesala en materia legislativa, resumido a un interés acotado en reconocer a las aves migratorias y a ciertos lugares con una alta biodiversidad en categorías de protección.

Convención Ramsar

En 1971 se llevó a cabo la convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas, más conocida como convención Ramsar, realizada en Irán. Esta convención realizada por la *International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN)*, tiene por objetivo establecer responsabilidades

internacionales con respecto al uso racional y a la conservación de los humedales. En su definición de humedal estipula lo siguiente:

“Esta convención para la protección de la flora, fauna y las bellezas escénicas naturales de América acaecida en Estados Unidos Convención Ramsar son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. (Ramsar, 1971)

La definición se hace cargo de las conceptualizaciones que se le ha dotado localmente a los humedales planteadas anteriormente, incluyendo su origen natural y artificial. Si bien, esta conceptualización de humedal es amplia, debido a que no detalla más allá de la vegetación asociada a los humedales, sirvió para establecer los primeros lineamientos internacionales con respecto a las áreas que son hábitats de aves migratorias, y así mismo crear una lista Ramsar.

Adicionalmente, Ramsar reconoce y clasifica los humedales de la siguiente forma: Humedales Marinos (costeros, lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral); Estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares); Lacustres (asociaciones con lagos); Ribereños (asociaciones a ríos y arroyos); y finalmente Palustres (“pantanosos” como las marismas, pantanos y ciénagas). Detalladamente esta convención identifica 42 tipos de humedales, el cual se adjunta en el anexo. Independiente de lo anterior, se establece que para que un humedal ingrese a la llamada “Lista Ramsar” tenga una característica de rareza o sea único, o de importancia internacional.

Se reflexiona sobre el rol que adquieren estas convenciones ya que compromete a los Estados a establecer normativas de cooperación internacional con respecto a la temática de humedales, esto no hubiese sido posible sin los estudios científicos de las áreas de la biología y a la botánica.

3.1.1.3. Definiciones de humedales en la legislación chilena

La legislación chilena incorpora a los humedales desde la década de los 80s, la cual ha sido modificada hasta la actualidad, junto con la creación reciente de la Ley de Humedales Urbanos, que dota a estos ecosistemas de una protección jurídica.

Cronológicamente una de las primeras menciones de estos ecosistemas en Chile data del 11 de noviembre de 1981 en el decreto N° 771 del Ministerio de Relaciones Exteriores, el cual suscribe al país a la convención RAMSAR realizada el 2 de febrero de 1971 en Irán, en ella se reconoce las funciones ecológicas fundamentales de las zonas húmedas como reguladoras de los regímenes de agua y como regiones que permiten la conservación de flora y fauna característica, especialmente de aves acuáticas, reconociendo la migraciones de estas aves y su importancia de las zonas húmedas de gran valor económico, científico y recreativo (Ministerio de Relaciones Exteriores, 1981). El mismo artículo delimita las áreas de los humedales en ciénagas, pantanos, áreas de musgos o agua naturales o artificiales, de régimen temporal o permanente, aguas estáticas o corrientes y zonas de agua de mar con profundidad menor a 6 metros durante la marea baja. Sin embargo, el mismo decreto si bien suscribe a Ramsar, excluye a las turberas que son otro tipo de humedal que está considerado en la convención.

Es importante destacar que existen en la legislación chilena normas que se relacionan a los humedales, como es el caso del Código de Aguas en la ley N° 1.122 de 1981 en el artículo 2, cual menciona que las “*aguas detenidas*” son la que se encuentran acumuladas en depósitos naturales o artificiales, como lagos, lagunas, pantanos, charcas, aguadas, ciénagas, estanques o embalses. En el artículo 47 especifica que un sistema de drenaje se refiere a todos los cauces naturales o artificiales que sean colectores de aguas con el fin de recuperar terrenos que se inundan periódicamente, desecar terrenos pantanosos y deprimir niveles freáticos cercanos a la superficie (Dirección General de Aguas, 1981). Con la aplicación del Código de Aguas los efectos fueron inmediatos, debido a que esa ley impactó negativamente a los humedales altoandinos (vegas y bofedales), ya que estos comenzaron secarse con la pérdida de recursos naturales (flora y fauna) y dañando los derechos ancestrales sobre los recursos naturales de las comunidades indígenas (Alegría & Lillo, 2000). Posteriormente años más tarde, se incluye a los bofedales y las vegas delimitándolos e identificándolos en la Región de

Tarapacá y Antofagasta mediante la resolución 909 (DGA, 1996), cuyo fin fue establecer zonas de protección a estos humedales, como también la prohibición de extracción de agua o de solicitud de nuevos derechos.

Otras incorporaciones en la legislación nacional de la conceptualización de humedal se encuentran en la ley sobre recuperación de bosque nativo y fomento forestal del Ministerio de Agricultura y la Corporación Nacional Forestal del año 2010, la cual define un humedal como:

“Ecosistemas asociados a sustratos saturados de agua en forma temporal o permanente, en los que existe y se desarrolla biota acuática y, han sido declarados Sitios Prioritarios de Conservación, por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o sitios Ramsar. Para efectos de delimitación, se considerará la presencia y extensión de la vegetación hidrófila. Tratándose de ambientes que carezcan de vegetación hidrófila se utilizará, para la delimitación, la presencia de otras expresiones de biota acuática”. (Ministerio de Agricultura & Corporación Nacional Forestal, 2010)

El reconocimiento de la biota y la vegetación hidrófila, representan un avance con respecto a las leyes repasadas anteriormente, estos elementos sirven para delimitar estas áreas (en referencia a los humedales), como también, regula la institución que puede caracterizar los humedales, ya sea la CNMA o Ramsar, por lo cual es novedoso en esta materia. Posteriormente, en el año 2011 se realiza una modificación en torno al concepto de humedal presente en el diseño del inventario nacional de humedales la cual suscribe lo siguiente:

“Acogiéndonos a la sugerencia enunciada por el mencionado marco internacional y bajo la premisa que se está en la etapa de descubrimiento, reconocimiento y conocimiento (...) la definición de humedal que se ha seleccionado para el Inventario Nacional de Humedales corresponde a: “ecosistemas asociados a sustratos saturados temporal o permanentemente de agua, los cuales permiten la existencia y desarrollo de biota acuática”. (Ministerio de Medio Ambiente & Centro de Ecología Aplicada, 2011, Pp. 6)

Se redefine el concepto de humedal acotándolo e incorporando al sustrato, es decir, al subsuelo, ampliándolo no solo al componente vegetacional sino a los organismos acuáticos y a los animales presentes ahí. Dentro de la definición de humedal, existen varias formas de cómo poder identificarlos y clasificarlos, con el fin de aplicarles programas de protección y manejo, a raíz de esto en el año 2006, la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA)

propusieron una clasificación de humedales en función del ecotipo² como se muestra en la **Tabla 2**, con el objetivo de utilizarlo en el inventario nacional de humedales.

Tabla 2: Clasificación de los humedales según su ecotipo

| Ecotipos | Clase | Descripción | Tipos |
|---------------------|----------------------------|--|--|
| Humedal costero | Instrucción Salina | Proceso que determina la incorporación de agua salada proveniente de mar hacia los humedales continentales | Lago Costero, Laguna Costera, Albuferas, Estuario, Marismas. |
| Humedal Continental | Evaporación | Proceso que resulta de la interacción entre la precipitación y la temperatura del aire | Salar, Bofedal |
| | Infiltración | Proceso que resulta de la interacción entre las características edafológicas del suelo, precipitaciones y pendientes del terreno | Hualve, Ñadi, Charco, Bosques |
| | Infiltración Saturada | | Río, Arroyo, Riachuelo, Estero |
| | Afloramientos Subterráneas | Alimentación de recursos hídricos superficiales desde aguas subterráneas | Manantiales, Vega, Ciénaga |

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, (2016).

El inventario nacional de humedales es un programa creado a partir de la ley 20.417 que ratifica, que es deber del Estado dar seguimiento a la evolución de los ecosistemas amenazados, y dar cuenta del estado de los componentes ambientales a nivel nacional (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2010).

² Es una subpoblación genéticamente diferenciada que está restringida a un hábitat específico, un ambiente particular o un ecosistema definido, con unos límites de tolerancia a los factores ambientales (González & Rojas, 2014).

Actualmente se encuentra en publicada la ley 21.202 o más conocida como “Ley de humedales urbanos”, operativa desde el enero del 2020, tiene por objetivo proteger los humedales declarados por el Ministerio del Medio Ambiente para resguardar sus características y de mantener su sistema hidrológico superficial o subterránea. Esta ley define a los humedales de la siguiente manera:

“Todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano” (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

Esta ley tiene por objetivo priorizar los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT), sin embargo, excluye a las comunas que no cuenten con este instrumento, la categorización tiene que estar comprendida en el límite urbano indicado por el IPT. Adicionalmente, el inventario de humedales urbanos agrega denominaciones a los humedales ubicados en zonas periurbanas y rurales. Los humedales periurbanos son descritos como aquellos que se ubican dentro del área de influencia, conocido como área urbana consolidada³, mientras que los humedales rurales son aquellos que están fuera y próximos al área urbana consolidada (Edáfica, 2020).

En este recorrido histórico de la legislación entorno a los humedales, dan cuenta de una variación circunstancial en la conceptualización, que van evolucionando según la contingencia de ese momento, además, no puede negar que actualmente los humedales son vistos como bienes inmuebles solo el simple hecho de apropiabilidad del suelo. En los últimos años, la protección del medioambiente se ha vuelto un tema relevante en el contexto del cambio climático y la pérdida acelerada de ecosistemas a nivel mundial, esto conlleva a una mayor preocupación en torno a las áreas naturales y sus beneficios a la sociedad.

3.1.2. Importancia de los humedales para la sociedad

Los humedales tienen una valoración e importancia significativa para la sociedad, a pesar de que algunos años gran parte de los humedales fueron considerados como lugares poco productivos e incluso y en muchos casos como lugares riesgosos e insalubres a los que era

³ Buffer que comprende un área de influencia equivalente a 1000m.

mejor drenarlos para convertirlos en áreas productivas; tales como: campos de cultivo, represas, terrenos urbanos u otros tipos de uso tradicional (Corporación Nacional Forestal, 2011). Sin embargo, hoy existe un mayor conocimiento y conciencia sobre la importancia de los humedales y sus implicancias por lo que ha motivado su interés en la preservación y en el cuidado de los humedales.

A nivel individual un humedal puede llegar a ser considerado una fuente esencial de bienestar no material que impacta en la salud física y mental y en los valores históricos, nacionales, éticos, religiosos y espirituales de una sociedad (de Groot et al., 2007). La importancia de los humedales puede ser abarcada desde los valores socioculturales que estos representan, estos pueden ser agrupados en cinco categorías categorizadas por Ramsar (véase **Tabla 3**).

Tabla 3: Criterios socioculturales para la valoración de la importancia de ecosistemas (humedales)

| Criterios Socioculturales | Descripción |
|---------------------------|---|
| Valor terapéutico | Provisión de medicinas, aire limpio, agua y suelo, espacio para recreación y deportes al aire libre y efectos terapéuticos generales de la naturaleza sobre el bienestar mental y físico de las personas. |
| Valor recreativo | Importancia en la naturaleza para el desarrollo cognitivo, relajación mental, inspiración artística, disfrute estético y beneficios recreativos |
| Valor de patrimonio | Importancia de la naturaleza como referencia en la historia e identidad cultural personal o colectiva. |
| Valor espiritual | Importancia de la naturaleza en símbolos y elementos con significado sagrado, religioso o espiritual. |
| Valor de existencia | Importancia que las personas conceden a la naturaleza por cuestiones éticas (valor intrínseco) y de igualdad intergeneracional (valor de legado). También denominado como “valor de satisfacción personal”. |

Fuente: De Groot et al., (2007).

Aparte del valor sociocultural de los humedales, se encuentran el valor económico de los mismos, no quiere decir que solo se considera el valor monetario, sino que también los aportes al empleo y la productividad, tal como se muestra en la **Tabla 4**:

Tabla 4: Marco de valor económico total

| | | |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| Valor económico total | Valor del uso/Valor del no uso | Recursos usados directamente (Servicios de aprovisionamiento como agua, pesca, etc. Y los Servicios culturales) |
| | | Recursos usados indirectamente (Servicios de regulación como depuración de agua, etc.) |
| | | Valor de legado: Posible uso en las generaciones venideras |
| | | Valor de existencia: derecho de existencia (Servicios de apoyo [ej.: panda, águilas, etc.]). |
| | | Valor de la opción: Posible uso futuro. |

Fuente: Adaptación de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2003).

A nivel nacional se interpretan cuatro servicios ecosistémicos que brindan los humedales a la sociedad estos son los servicios de soporte como lo es el ciclo de nutrientes; servicios de aprovisionamiento basado directa e indirectamente en la biodiversidad; servicios regulatorios como control de inundaciones; y los servicios culturales (Wildlife Conservation Society Chile, 2019).

3.1.3. Importancia de los humedales para el medio ambiente

Los humedales son lugares con una alta concentración de biodiversidad de especies de animales y vegetales, como también, constituyen el lugar de organismos no celulares como los virus, en tanto poseen niveles de endemismos característicos que son objeto de protección en varios países. Es aquí en donde se estima que en Chile existen un total de 1966 humedales

catastrados según el último Inventario de Humedales (Edáfica, 2020), es un dato que adquiere relevancia en torno la valoración de estos ecosistemas.

En la actualidad los humedales tienen una condición ecotonal entre tierra-agua, convirtiéndolos en los ecosistemas más productivos de la tierra y son fuente de una importante diversidad biológica, por ende, los humedales aportan agua y productividad que de la cual dependen innumerables especies vegetales y animales para su supervivencia. De esta forma concentran una gran cantidad de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces, macro y microinvertebrados, además de plantas vasculares y no vasculares (Corporación Nacional Forestal, 2011).

La productividad de los humedales está asociado a los procesos hidrológicos (lluvia, infiltración del suelo, caída de nieve) que permiten la provisión y mantención de calidad del agua, son un componente clave de la biodiversidad de los humedales. (Wildlife Conservation Society Chile, 2019). Aparte de ser un factor clave la función hidrológica a corto y largo plazo, almacenar agua no solo sirve de reservorio sino que también como control de inundaciones aguas abajo, variables que están asociadas a la tasa de residencia (tiempo de renovación del agua) y el hidroperíodo (tiempo que se demora un humedal en alcanzar una condición de equilibrio) (Mitsch & Gosselink, 2007). Además, el agua cumple funciones de transporte e intercambio de nutrientes, compuestos orgánicos, toxinas, sedimentos desde y hacia el humedal. El transporte es por medio de la precipitación, escorrentía superficial y subterránea; y las mareas, en caso de los humedales costeros (Mitsch & Gosselink, 2007).

Otra funcionalidad de los humedales es la capacidad de descontaminar aguas, esta función se logra a través de los sedimentos que retienen/liberan nutrientes, elementos, compuestos orgánicos e inorgánicos desde y hacia la columna de agua (Mitsch & Gosselink, 2007), esto es enfocado en la actividad microbiana y de los organismos descomponedores que se produce al interior de los humedales.

El proceso de hábitat de los humedales se asocia específicamente al mantenimiento de comunidades vegetales, desarrollando adaptaciones morfológicas y metabólicas a los suelos inundados o saturados. Las adaptaciones metabólicas de las plantas de los humedales incluyen el aumento de las tasas de crecimiento, las vías metabólicas anaeróbicas y el

aumento de la producción de agua. El intercambio de gases del suelo y de la atmósfera también tiene lugar a través de los tallos rotos sobre el suelo (Vepraskas & Craft, 2016).

El caso de los humedales costeros, estos se ven afectados por el estrés adicional de la salinidad. En resumen, la salinidad genera un estrés osmótico resultante del menor potencial hídrico del agua salada y la toxicidad de las altas concentraciones de Na⁺ y Cl⁻, las altas concentraciones de sulfuro en los suelos de los estuarios pueden inhibir las funciones fisiológicas de las plantas, especialmente la producción de enzimas fotosintéticas y la absorción de nitrógeno. Las adaptaciones metabólicas que permiten a las plantas habitar en entornos salinos requieren energía celular y representan una compensación por la supervivencia (Vepraskas & Craft, 2016)

Abordado a nivel de especies, las aves acuáticas son aquellas que dependen de estos ecosistemas ya que poseen barro o fango en donde encuentran los alimentos. Como característica estas aves realizan migraciones, abarcan tramos tan extensos que pueden ir de un hemisferio a otro, siguiendo la disponibilidad de agua y alimentos. Como por ejemplo la gaviota de Franklin, conecta Chile y Perú con Canadá y EE.UU., viajando desde sus sitios de reproducción nortinos para pasar su invierno en Chile (Wildlife Conservation Society Chile, 2019).

Los humedales poseen una gran cantidad de beneficios para el medioambiente, destacando principalmente su capacidad de descontaminar aguas. Pero no se debe pensar que son resistentes a cualquier evento de contaminación, sino que son sistemas equilibrados, lo que quiere decir que cualquier anomalía puede repercutir significativamente en estos sistemas, por lo que es menester conocer los factores que regulan a los humedales.

3.1.4. Factores reguladores de los humedales

Existen factores que regulan el comportamiento de un humedal ya sea por los caudales, nivel freático, humedad y salinidad del suelo, y las condiciones climáticas. En el primer concepto el caudal de las vertientes es una condición básica y necesaria para la sustentabilidad de los humedales, dado que su origen corresponde a aguas subterráneas que afloran a la superficie, estos aportes son relativamente constantes en calidad y cantidad (Centro de Ecología Aplicada, 2006). Cualquier cambio este elemento puede afectar la estructura y

funcionamiento del humedal. Mientras que el nivel freático es una fuente hídrica para la vegetación hidrófila y como basamento hidráulico para el escurrimiento superficial que presentan los humedales (Mitsch & Gosselink, 2007). Si varía afecta la disponibilidad de agua para la vegetación y/o la pérdida hídrica por infiltración desde las lagunas.

Los factores de humedad y salinidad hacen referencia a la disponibilidad de agua y salinidad en los rizomas de la vegetación hidrófila. El estrato donde se desarrolla el rizoma de la vegetación hidrófila corresponde a 1 – 2 m de espesor, sin embargo, la mayor biomasa de raíces se concentra en el primer metro de profundidad. El último factor corresponde a las condiciones climáticas a nivel local regulan la dinámica temporal de los humedales, factores como las precipitaciones o temperatura del aire, afectan la expresión de los componentes biológicos (Centro de Ecología Aplicada, 2006).

3.1.5. Condición de amenaza de los humedales

Lejos de abarcar la explicación del cambio climático es necesario inmiscuir sobre la acción directa del ser humano sobre estos ecosistemas. Entre los diferentes efectos se puede mencionar la conversión de los hábitat acuáticos y su fragmentación, los impactos del sobreuso del agua (especialmente para la agricultura, la minería y el uso domiciliario e industrial), los impactos sobre la calidad del agua, tales como la eutroficación, provocada por carga excesiva de nutrientes, la contaminación industrial, minera y domiciliaria y la introducción de especies exóticas invasoras que modifican los ecosistemas, cambiando su composición y funcionamiento, modificando sus tramas tróficas y causando la disminución poblacional e incluso la extinción de numerosas especies (Corporación Nacional Forestal, 2011). El sobre uso de aguas genera una presión sobre la cuenca que alimenta a los humedales que en esta investigación se refiere al Estero Casablanca.

La presión antrópica hace referencia a un fenómeno en creciente aumento paralelo a la presión inmobiliaria y actividades agrícolas que genera efectos devastadores en las zonas naturales, la cual va de la mano con la degradación que sufren los ecosistemas. Los usos de suelo, y el reemplazo de bosques por agricultura tiene fuertes influencias en los flujos de nutrientes hacia los cuerpos de agua. La dinámica agrícola y los cambios en el uso del suelo asociados, determinan variaciones en los patrones paisajísticos y en la disponibilidad de hábitat en paisajes rurales, provocando un aumento en el alcance y complejidad de los

problemas ecológicos, afectando el balance natural del paisaje (Peña-Cortés et al., 2006). La intensificación de la agricultura conlleva simplificación de los patrones espaciales del paisaje por el aumento de los cultivos, eliminación de elementos lineales y aislamiento de hábitat, favorece la erosión del suelo y el aumento de las concentraciones de pesticidas y minerales en las cuencas de escorrentía que alteran las cargas de sedimento y nutrientes en ríos y cuerpos de agua, como pérdida de fertilidad del suelo (Baessler & Klotz, 2006).

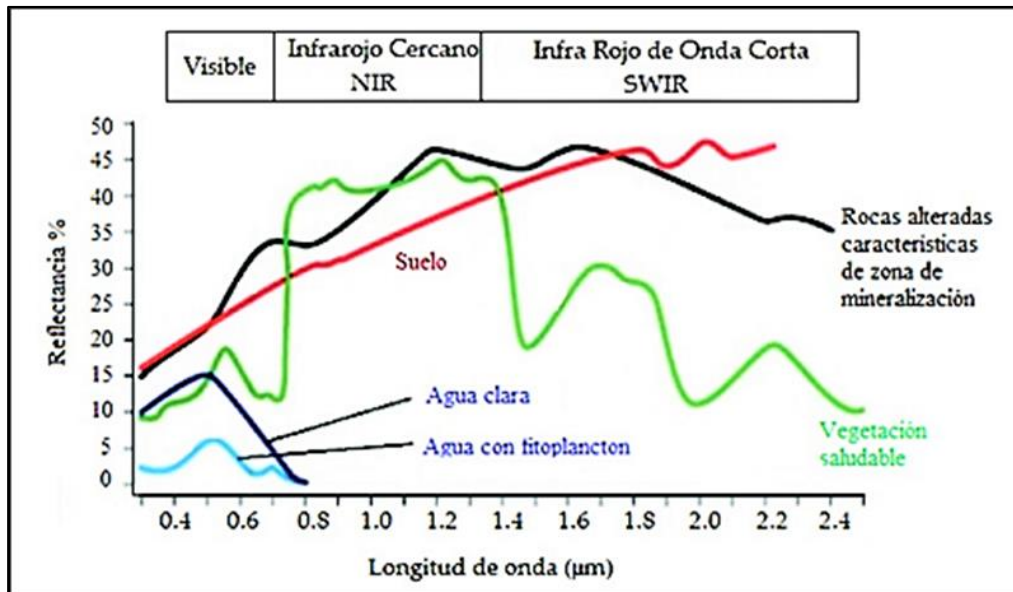
Chile, al igual que los demás países de América y del mundo, presenta una tasa de alteración y pérdida de sus humedales de gran magnitud, situación que ha sido de carácter histórico, y que hoy es difícil de cuantificar. Contribuye a esto la escasa planificación territorial, el sobreuso del recurso y la modificación o alteración de los cursos y cuerpos de agua (Corporación Nacional Forestal, 2011).

3.3. Uso de sensores remotos en los humedales

Existen otras formas de monitoreo y de seguimiento de los ecosistemas que enriquecen de manera sustancial la información de manera remota, en los que encontramos la información proveída satelitalmente que permite la extracción de datos a diferentes escalas y temporales. Esta información satelital es detectada por sensores, los cuales son instrumentos que capturan la energía reflejada o emitida por los cuerpos terrestres. Los datos que proporcionan los sensores remotos pueden ser usados como entradas en modelos hidrológicos y ecológicos, siendo una herramienta de ayuda para predecir el comportamiento y cambios de un ecosistema ante intervenciones de cualquier tipo (Faccio, 2010).

El componente principal de sensores remotos es la capacidad de detectar la intensidad de luz reflejada por un objeto llamada firma espectral. Esto quiere decir que todos los datos de reflectancia (entendido como la capacidad de un cuerpo de reflejar la luz) son únicos para el material y el medioambiente, los cuales son almacenados en metadatos, por ejemplo, en la vegetación los valores varían en la etapa de crecimiento de la planta, clorofila y el contenido de humedad de las plantas (Reina, 2018). El porcentaje de reflectancia puede graficarse en función de la longitud de onda, tal como se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2: Espectros de reflectancia generalizados en algunos materiales de la superficie terrestre.



Fuente: Reina, 2018

Las firmas espectrales tienen un sin número de aplicaciones, en la mayoría de los casos su uso es el resultado de la combinación de datos provenientes de imágenes más captura de espectros de reflectancia en campo (Reina, 2018).

Existen varios tipos de sensores con resoluciones y características diferentes que permiten su uso de manera combinada, ya sea se pueden utilizar un sensor de alta resolución espacial, pero con menor resolución temporal y viceversa, alcanzando estudios más completos y sujetos a las necesidades del investigador (Paruelo, 2008). Las técnicas de percepción remota emplean observaciones en el espectro de luz visible, infrarrojo y microondas, permitiendo realizar observaciones en las dinámicas variacionales de inundación del humedal (Contreras Silva, 2014). Entre los sensores más utilizados en los estudios de humedales son los siguientes:

- SAR: El radar de apertura sintética (SAR) ha sido reconocido desde hace tiempo como una importante fuente de datos para la vigilancia de las aguas superficiales, especialmente en condiciones meteorológicas inclementes, por lo que se utiliza operativamente para aplicaciones de cartografía de inundaciones. El SAR es un sensor indicado para la

vigilancia de los humedales debido a la capacidad de adquisición de datos a tiempo y a la sensibilidad a las aguas superficiales y a la vegetación inundada (Tiner et al., 2015).

Algunos ejemplos de satélites SAR son:

- ALOS
 - ALOS PALSAR
 - Sentinel-1A
-
- Landsat: Landsat o llamado inicialmente Earth Resources Technology Satellite (ERTS), recogió las primeras imágenes de satélite que se utilizaron ampliamente para la cartografía de los humedales (Tiner et al., 2015). A lo largo de los años se lanzaron varias misiones Landsat, algunos son los siguientes:
 - Landsat 1 (1972)
 - Landsat 5 (1984)
 - Landsat 7 + ETM (1999)
 - Landsat 8 OLI/TIRS (2013)
 - Landsat 9 OLI/TIRS (2021)

La percepción remota en el estudio de los humedales ha brindado la posibilidad de adquirir información de tipo espacial y temporal, siendo una alternativa en el estudio de los cambios que ocurren en los humedales, ya sea por causa natural o por la actividad humana (Contreras Silva, 2014).

En el caso de los humedales, las respuestas espectrales pueden estar relacionadas con la presencia de vegetación, que puede ser similar a la vegetación que no corresponde a áreas adecuadamente inundadas, dado a los factores como la clorofila, pigmentos, entre otras características de las plantas que afectan a la respuesta espectral del humedal, por lo que puede variar el nivel de reflectividad. Ejemplo de lo anterior, es cuando el humedal se encuentra en un periodo seco, su nivel de reflectancia disminuye en el rango del infrarrojo cercano y sus variaciones en el espectro visible. En cambio, en periodos húmedos aumenta los niveles de reflectancia en el rango del infrarrojo cercano (Saravia, 2018).

Se puede diferenciar el comportamiento espectral en la vegetación, en el espejo de agua y en el suelo de los humedales. En el caso de la vegetación el espectro muestra una alta variabilidad con respecto a la longitud de onda, presentando valores más altos en algunas zonas que en otras. Esta reflectividad se asocia al contenido de clorofila, lo que quiere decir que a mayor contenido de clorofila hay mayor reflectancia y viceversa, lo que también se relaciona con el contenido de agua de las plantas (Saravia, 2018).

En la superficie del espejo de agua de los humedales puede ser identificada a través de la firma espectral del agua, la cual tiene la capacidad de absorber o transmitir la mayor parte de radiación visible que reciben. Según sea el cuerpo de agua, la reflectividad puede variar según el estado del mismo, esto quiere decir que, si existen condiciones de turbiedad, aumentará la reflectividad en las bandas visibles debido por el aumento de sedimentos (Cetina, 2017). En casos de la profundidad del agua, si esta más profunda mayor será su reflectancia.

La respuesta espectral del suelo dependerá de su composición química, textura, estructura y el contenido de humedad. En caso de la composición química, una reflectancia alta en todas las bandas está en los suelos calcáreos, mientras que los suelos arcillosos tienen mayor reflectividad en la banda del rojo (Cetina, 2017). La composición espectral del suelo varía con la reflejada por las plantas, por lo que factores como la densidad, morfología y distribución geométrica de la vegetación pueden alterar la respuesta espectral del suelo (Ormeño, 2006)

3.3. Protección de áreas naturales en Chile

En Chile los humedales pueden estar protegidos bajo los estatutos de conservación, los cuales son los Parques Nacionales, Reserva Nacional, Monumento Natural, Parques y Reservas Marinas, Sitios Ramsar, Santuario de la Naturaleza, Sitio Prioritario de Conservación como también a las Áreas Protegidas Privadas. Cada uno de estos estatutos de protección están asociados a organismos y a fuentes distintas tal como se evidencia en la **Tabla 5**.

Tabla 5: Estatutos de protección a nivel de leyes en Chile

| Estatuto de protección | Legislación asociada | Organismo administrador |
|-----------------------------------|--|---|
| Parque Nacional | Convención de Washington (Decreto N° 531, 1967) | CONAF (Artículo 10 de la Ley de Bosques, 1931) |
| Reserva Nacional | Convención de Washington (Decreto N° 531, 1967) | Intendente (Artículo 17, Código de Minería, Ley 18.248) CONAF (Artículo 10 de la Ley de Bosques, 1931) |
| Monumento Natural | Convención de Washington (Decreto N° 531, 1967) | Intendente (Artículo 17, Código de Minería, Ley 18.248) CONAF (Artículo 10 de la Ley de Bosques, 1931) |
| Parques y Reservas Marinas | Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley 18.892, 1989) | SERNAPESCA (Decreto 238, 2005) |
| Sitios Ramsar | Ley 771 de 1981 sobre la Convención Ramsar | Depende del caso ya sea público o privado |
| Santuario de la Naturaleza | Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales y normas relacionadas (Artículo 31) | Consejo de Monumentos Nacionales (Dictamen N° 26190) |
| Sitio Prioritario de Conservación | Ministerio de Medio Ambientes, ex Comisión Nacional del Medio Ambiente (Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales) | Varía si se cumplen ciertos requisitos del SNASPE |
| Áreas Protegidas Privadas | Ninguna | Privados |

Fuente: Elaboración propia adaptado de Desplanque, S. (2016)

3.3.1. Aproximaciones a los Santuarios de la Naturaleza en Chile

Una de las particularidades del área de estudio, es la protección jurídica de Santuario de la Naturaleza. La figura legal de Santuario de la Naturaleza la cual se encuentra incluida en el artículo 31 de la ley 17.288 de Monumentos Nacionales y normas relacionadas estipula que los Santuarios de la Naturaleza son todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuyas conservaciones sean de interés para la ciencia o para el Estado (CMN, 1970). Además, se

especifican ciertos deberes de los propietarios (en caso de que se encuentre en un predio privado el santuario) de la obtención de permisos para el desarrollo de actividades de caza, pesca u obras de construcción, etc., como también velar la protección del mismo. A modo resumen, un Santuario de la Naturaleza es un área delimitada y administrada para su protección, pudiendo ser propiedad fiscal o privada, dentro de esta área se pretende preservar a las especies junto a los procesos biológicos y ecológicos. Además, estos se encuentran fuera del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), quedando bajo la administración de CONAF.

Actualmente se encuentra en tramitación el proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Área Protegidas (SBAP), el cual da cuenta de la insuficiencia de la regulación que tienen los Santuarios de Naturaleza que se plasma en una ley orientada a la protección del patrimonio histórico, por sobre el patrimonio natural. La ley N° 17.288, reguló la creación de Santuarios de la Naturaleza, no obstante el haber sido modificada el año 2010 por la Ley N° 20.417, regula someramente esta figura, dejando vacíos en materias vinculadas con su declaración, administración y protección (Proyecto de ley SBAP, 2014).

Es aquí en donde se ha llevado a cabo la discusión sobre la necesidad de redefinir ciertas figuras en la legislación para evitar sobre interpretaciones e incorporar a la ley, definiciones que precisen de mejor manera las acciones de conservación. No solo para los Santuarios de la Naturaleza, sino que también, para los humedales de importancia internacional, esto último ha sido abordado y criticado por la regulación insuficiente. Si bien, una zona húmeda puede ser declarada a nivel internacional como un Sitio Ramsar, actualmente dicha declaración no implica una categoría de protección oficial a nivel nacional, lo que deriva en una falta de protección de los humedales” (Proyecto de ley SBAP, 2014).

3.3.2. Particulares en la protección de áreas naturales

La protección de áreas naturales es un tema que no es de exclusividad del Estado, los otros actores que protegen son los propietarios, está claro mencionar que en la ley existen reglamentos o normativas para ello, es aquí en donde los privados juegan un rol importante en la regulación y cumplimientos de esas normativas. Si bien en la Ley 19.300 de las Bases Generales del Medio Ambiente crea el Sistema Nacional de Área Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), promueve que el Estado incentive a los particulares a crear áreas

silvestres protegidas mediante un reglamento (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994). Este reglamento está pendiente desde 1994, a pesar de ello este reglamento, en el país existen varias iniciativas de áreas protegidas bajo dominio y administración del sector privado, como la Fundación Kennedy.

Lo anterior, es un antecedente no menor con respecto a los vacíos legislativos en función a estas áreas, ya que puede significar que la categorización del “objeto de protección” quede a merced del propietario y sin ningún reglamento que establezca bases para ello. Oltremari & Martínez (1990) sugieren que la falta de reconocimiento y de un reglamento, puede significar algunas áreas catalogadas como protegidas no cumplan los requisitos para tal condición y que los estudios realizados para identificar iniciativas privadas en el establecimiento de las Áreas Protegidas Privadas (APP) han utilizado metodologías diferentes, dificultando aún más este tema. Alrededor de las APP existen varias organizaciones que velan por la protección de áreas naturales sobre todo de humedales, como, por ejemplo, la Fundación Kennedy y ASI Conserva Chile, ambas agrupan a pequeños y grandes propietarios, fundaciones, universidades, y comunidades en general, cuyo fin es crear áreas de protección en Chile.

Si se analiza otros países con respecto a este tema, se explica que los instrumentos que se incorporan a esas normas son de carácter jurídico y económico. Como por ejemplo algunos países tienen reglamentos asociados a: Declaraciones públicas de áreas protegidas privadas (Reino Unido, Francia, Costa Rica); Incentivos económicos a la conservación (EE.UU, Reino Unido, Bélgica, Costa Rica) (Fundación Terram, 2005). Lo que conjetura una tendencia sobre la importancia de la participación de recursos privados para la protección de aquellos ecosistemas que el Estado no puede proteger por razones de propiedad o falta de recursos.

Normalmente se asocia al sector privado a entes sin interés en el medio ambiente, pero llevan administrando áreas naturales desde antes de los años 2000. Mucho de esos propietarios se encuentran las organizaciones ambientales, que son un gran aporte en la vigilancia y el cumplimiento de las leyes, no solo se necesita redefinir los “objetos de protección” en la legislación chilena, sino que también se debe reforzar las leyes en torno a las APP, como lo es en el caso del Santuario de Naturaleza Humedal de Tunquén cuya figura encomendada de su administración y manejo corresponde a un privado. Estas áreas carecen de un reglamento

que incentive la creación y el manejo de un área de protección que garantice los instrumentos técnicos y económicos para ello (Fundación Terram, 2005).

Fuera del ámbito legal que implica para los privados, actualmente se discute sobre la gobernanza de las áreas protegidas, esto surge como una nueva modalidad de colaboración entre Estado y los ciudadanos. La Unión Internacional Para la Conservación de la Naturaleza (UICN) afirma que la gobernanza en Áreas Protegidas tiene que reflejar y abordar los factores sociales, ecológicos, culturales, históricos y económicos pertinentes (véase **Tabla 6**). Además, califica que “la buena gobernanza” en cualquier área debe definirse teniendo en cuenta las circunstancias, las tradiciones y los sistemas de conocimientos locales (UICN, 2014).

Tabla 6: Modalidades de gobernanza, propuestas por la UICN

| Tipo de gobernanza | Descripción |
|-----------------------------------|---|
| Gobierno | Modelo clásico: áreas de propiedad o bajo control estatal |
| Comunidades locales e indígenas | Nuevo: conservación voluntaria por parte de comunidades |
| Propietarios privados | Nuevo: conservación voluntaria por parte de privados |
| Cogestión o gobernanza compartida | Algunos elementos nuevos: asociaciones con ONG, comunidades, personas físicas y empresas, o entre todas éstas |

Fuente: Adaptación de Correa, (2016).

El cambio del sistema actual de gestión de áreas a uno de gobernanzas (como se muestra en la tabla 6) podría significar un efecto positivo en las comunidades a cargo de estas áreas permitiendo participar de las decisiones que importantes con respecto a las gestiones y manejo de la protección de áreas. Cabe recordar que el área de estudio se encuentra bajo administración de privados y solo bajo la supervigilancia del Ministerio del Medio Ambiente.

3.3.2.1. La dualidad del conflicto territorial ¿Conflicto ambiental o social?

Desde un punto de vista general relacionado a las ciencias sociales, gran parte de los procesos urbano-sociales tiene en común un nexo con el proceso neoliberal que en Chile. Dicho proceso de *neoliberalización* de Chile en los últimos años ha causado una alta concentración de la riqueza y el poder, que han potenciado las desigualdades y han disparado un gran número de conflictos concentrados en los espacios de carácter urbano. Se habla de un separatismo social generalizado se instala como tendencia y se hace particularmente evidente en la organización del espacio urbano toda vez que el territorio y sus configuraciones se han convertido en los indicadores más evidentes de las nuevas desigualdades (Cantillan & Herrera, 2020). Bajo esa lógica los llamados “conflictos” cuyos efectos perturban los patrones de interacción entre el Estado y la ciudadanía generando instancias de creación y el cambio social (Tilly et al., 2005).

Se hace alusión en gran parte al “derecho a la ciudad” y al renovado uso que le dan los movimientos sociales cuya teoría analiza los procesos de urbanización y como se incrementan las desigualdades y los conflictos de la vida urbana por la producción industrial. Lefevre acuñaba una nueva forma de explotación “la miseria del hábitat” cuya superación solo se lograba devolviendo a la ciudad la dimensión de un espacio en donde la realidad urbana esté destinada a los usuarios y no a los especuladores, a los promotores capitalistas, a los planes de los técnicos (Lefebvre, 1969).

Siguiendo la línea del concepto de conflicto, Sabatini expresa que los conflictos ambientales pueden ser definidos antes que nada como conflictos sociales por el control del territorio, que tienen un carácter multidimensional y distributivo (Sabatini, 1997). Como señala el autor, suelen surgir en torno a grandes proyectos productivos, de infraestructura e inmobiliarios originados por cambios en los usos del suelo y por la distribución de esas externalidades cuya localización se da principalmente las localidades rurales, pasando por las ciudades menores hasta alcanzar las grandes ciudades. Existen distintas perspectivas con respecto a los conflictos ambientales las cuales se resumen en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Resumen de las perspectivas sobre el conflicto ambiental abordado por el CIP.

| Autor | Perspectiva del conflicto ambiental |
|----------------------|--|
| Orellana, 1999 | [Conflicto socioambiental] Los conflictos involucran a las comunidades directamente afectadas por los impactos derivados de un determinado proyecto. |
| Fontaine, 2004 | No existe el “conflicto ambiental” sin dimensión social. |
| Homer-Dixon, 1991 | Los conflictos ambientales se manifiestan como políticos, sociales, económicos, étnicos, religiosos o conflictos territoriales, o como conflictos en torno a recursos o intereses nacionales. Son conflictos inducidos por una degradación del ambiente. |
| Peluso & Watts, 2001 | Asocia el crecimiento poblacional con una mayor presión sobre los recursos naturales, con los consiguientes conflictos por el acceso a los mismos. |
| Martínez A, 1998 | Refiere al “ecologismo de los pobres” que intenta conservar el acceso de las comunidades a los recursos naturales y a los servicios ambientales de la naturaleza. |
| Alonso & Costa, 2002 | El conflicto ambiental es el despliegue de dinámicas de interacción, generación de alianzas y adhesión a valores, cuando se genera conflicto por los recursos, bienes, la contaminación o la generación e imposición de definiciones de realidad. |

Fuente: Elaboración a partir del artículo de Walter (2009).

Cabe mencionar que desde la perspectiva que se tome, puede ser abordado desde la perspectiva del “conflicto ambiental” o del “conflicto medioambiental”, en este ámbito es importante destacar que algunas variaciones corresponden a las corrientes del Sur y del Norte con un enfoque a los nuevos post materialistas.

4. Marco Metodológico

4.1. Enfoque metodológico

La investigación presenta técnicas de levantamiento de información y de análisis que definen los objetivos, contienen elementos que trabajan en una sola dimensión, el enfoque cuantitativo. Lo cuantitativo responde a una utilización de la recolección de los datos con base en la medición numérica y el análisis estadístico, que plantea un problema de estudio delimitado aunque en evolución (Hernández et al., 2014). Por consiguiente, esta investigación se basa a través de la producción de datos muestrales y estadísticos se pretende lograr una evaluación sobre el estado vegetativo e hidrológico del humedal de Tunquén.

4.2. Tipo de investigación o de estudio

Para esta investigación se quiere evaluar, pero también diagnosticar las condiciones medioambientales que modelan al humedal actualmente, con mediciones en terreno y dilucidar los cambios vegetaciones e hidrológicos a lo largo de los años con datos históricos, por lo que esta es investigación es explicativa, pero tiene elementos exploratorios a su vez. Las investigaciones explicativas son aquellas que en su objetivo se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables, es decir va más allá de la descripción (Hernández et al., 2014). Mientras que las de tipo exploratorias tiene por objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes (Hernández et al., 2014).

Lo anterior se suma a que el diseño de la investigación apunta a una investigación no experimental, que son aquellas investigaciones que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos (Hernández et al., 2014).

4.3. Diseño Metodológico

4.3.1. Tipo de muestreo

Para esta investigación se utilizó una escala sectorial con el fin de representar al humedal lo mejor posible, priorizando las zonas públicas con el fin evitar predios cercados que están

adyacentes al área de estudio. La delimitación depende del modelo SIG generado que permite estudiar las zonas de unión con el Estero Casablanca, el Océano Pacífico, entre otros.

El tipo de muestra que se utilizó es no probabilístico, que es entendido como aquel procedimiento que no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador, lo cual las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación (Hernández et al., 2014).

4.4. Unidad de Análisis

La unidad de análisis es entendido como quién o quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición (Hernández et al., 2014). En este caso es el humedal de Tunquén, en donde se aplicarán las mediciones en la vegetación y en el cuerpo de agua.

- Vegetación: Unidad de análisis primordial sobre todo en estudios de los humedales, ya que actúan como indicadores del estado de los ecosistemas, los indicadores principales son la clorofila de las plantas.
- Cuerpo de agua: Unidad de análisis que se relaciona directamente con la vegetación debido a indicadores de estrés hídrico que puede presentar el suelo de los humedales.

Tabla 8: Unidad de análisis del objetivo general

| Objetivo General | Unidad de análisis | Conceptos rectores |
|--|--|--|
| Evaluar la situación actual del Humedal de Tunquén en la Región de Valparaíso, en relación a los cambios medioambientales a nivel vegetativo e hidrológico entre los años 1990 y 2021. | <ul style="list-style-type: none"> • Evolución en relación a la vegetación, al cuerpo de agua y al cambio del uso del suelo en el humedal. • Estado actual de la vegetación en el humedal. | <ul style="list-style-type: none"> • Dinámica vegetacional • Hidrología del humedal • Uso del suelo |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Unidades de análisis por objetivos específicos

| Objetivos específicos | Sub-unidad de análisis | Variables | Dimensiones | Indicadores |
|---|---|---|---|--|
| Diagnosticar las condiciones medioambientales que modelan la situación actual del Humedal de Tunquén en relación a la vegetación circundante y al cuerpo de agua presente en el área de estudio. | Vegetación adyacente y cuerpo de agua. | Estado químico del cuerpo de agua. | Condiciones químicas actuales del humedal. | Datos medidos a través de instrumentos. |
| Dilucidar los cambios vegetacionales e hidrológicos del Humedal de Tunquén y del Estero Casablanca de las últimas dos décadas en relación a la variabilidad del estado fisiológico de la vegetación presente, de la | Vegetación adyacente, cuerpo de agua y el Estero de Casablanca. | -Estado fisiológico de la vegetación. -Hidrología del humedal y el estero. | -Temporalidad asociada al humedal y las condiciones ambientales. -Estado de la extracción de agua en el Estero Casablanca. | -Variación histórica en los índices espectrales NDVI, TCT, NDWI. -Variación histórica de las precipitaciones y las temperaturas. -Concesión de los derechos de agua históricamente |

| | | | | |
|--|---------------|---------------------|--|--|
| precipitación y de la extracción de agua. | | | | en el Estero Cartagena. |
| Identificar la variación de uso de suelos en las zonas adyacentes al humedal de Tunquén desde 1990 hasta el 2021 en relación al cambio de la cobertura de suelo. | Uso del suelo | Cobertura del suelo | Temporalidad relacionada a los efectos antrópicos en el Estero Casablanca. | Variación del uso del suelo en la subcuenca del Estero Casablanca. |

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección

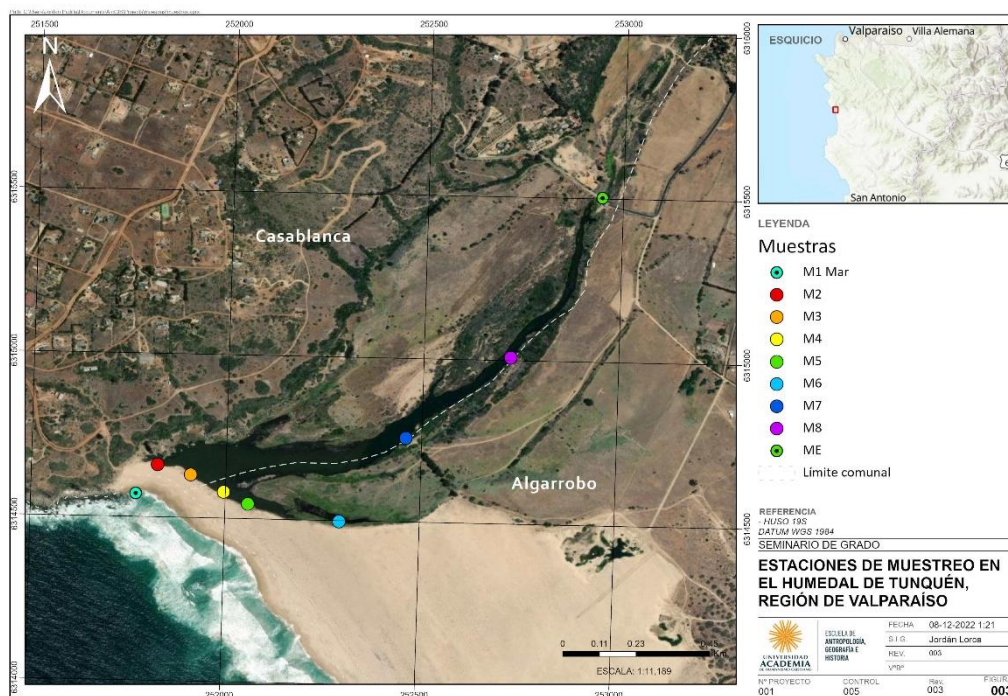
4.5.1. Muestreo en terreno

Para completar el objetivo específico 1 de esta investigación, primero se debe analizar mediante mediciones con instrumentos en el humedal de Tunquén, esto es debido a que es necesario dar una caracterización química al agua, con el fin de generar un “monitoreo base” para proceder con la comparación histórica. Para establecer puntos de muestreo en el humedal, se estableció el siguiente criterio que son los que definen el protocolo de emergencias de la Dirección General de Aguas (2007):

- Accesibles y perfectamente identificables mediante puntos notables (asignados con coordenadas UTM, DATUM y HUSO mediante instrumento GPS)

En total se establecieron 16 estaciones de muestreo (véase **Figura 3**) cuyos datos se tomarán en conjunto de un equipo GPS Gamin eTrex 30x, los cuales se priorizó la toma de muestra en lugares de la zona de acumulación de agua en el lado Este en la zona de unión del Estero de Casablanca y en la zona de embancamiento del humedal.

Figura 3: Mapa de las estaciones de muestreo en el humedal



Fuente: Elaboración propia.

Las técnicas del siguiente apartado serán utilizadas en el primer objetivo, cuya característica principal es la toma de datos *in situ* en el humedal con el instrumento multiparámetro PCT-407 Ezdo Gondo y la estación meteorológica Technoline WS 1600-IT. Para la toma de muestra los datos son anotados en una tabla (véase **Tabla 11**) que especifica número de muestra, hora de la muestra, temperatura, pH, conductividad eléctrica medidos por la sonda como también se dispone un apartado para los datos meteorológicos al momento de tomar las muestras. Para generar una toma de muestras se establecieron 3 trabajos en terreno para ello, tal como se visualiza en la **Tabla 10**.

Tabla 10: Fechas de los trabajos en terreno para la recogida de muestras

| Fecha | Hora | Actividad |
|-------------------------|---------------|---|
| Sábado 10 de septiembre | 12:00 – 13:00 | Vuelo de dron en la zona para la captura del margen del humedal |
| | 13:00 – 15:00 | Toma de muestras <i>in situ</i> en el humedal de Tunquén: |
| | 11:00 – 13:00 | |

| | | |
|--------------------------|---------------|-------------------------|
| Domingo 11 de septiembre | 15:00 – 18:00 | Temperatura |
| Miércoles 05 de octubre | 11:00 – 13:00 | Conductividad eléctrica |
| | 15:00 – 18:00 | pH |
| | | Elementos degradatorios |

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.1. Temperatura

La temperatura afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran en el agua, por lo que es un indicador necesario para la toma de muestras. A pesar de lo anterior, la temperatura es sensible a muchos factores externos como la ubicación geográfica del cuerpo de agua y la estación del año (Abarca, 2007), por lo que una variable a considerar. Para toma de temperatura en el humedal se pretende usar un termómetro con sonda.

4.5.1.2. Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH se utiliza para medir la acidez o la naturaleza básica (alcalina) de una solución y también es una medida del balance de los iones de hidrógeno [H+] y los iones de hidroxilo negativo [OH-] en el agua (Abarca, 2007). El rango de los valores del pH es de 0 a 14 cuyo valor neutral es 7, entonces el agua que contiene más iones de hidrogeno es ácida mientras si tiene más iones hidroxilo es básica (mayor a 7). En este caso se requerirá el uso de un phimetro, instrumento necesario para toma de muestras de este tipo.

4.5.1.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es definida como la capacidad que tiene el agua para conducir corrientes eléctricas, la cual se mide en microsiemens (μS) dividido por centímetro (cm). También puede medirse en milisiemens (mS), medida equivalente a 1000 μS . La conductividad del agua está directamente relacionada con la cantidad de sólidos disueltos totales, que son en su mayoría sales minerales. Las cargas eléctricas son conducidas en el agua por estas sales, lo cual a su vez está ligado con la salinidad, por lo tanto, aguas con alta

salinidad son siempre buenas conductoras de cargas eléctricas (CONAF & Universidad de Chile, 2016).

4.5.1.4. Elementos degradatorios




Basada en la observación de elementos en el terreno que puedan afectar directamente en el humedal o que represente una posible anomalía, basado en la propuesta de observación ambiental de Abarca (2007), tiene por objetivo identificar posibles contaminantes como también identificar factores físicos que puedan incidir en los resultados de la toma de muestras. Para este apartado se elaboró una ficha de observación en cual se compone de los ítems sobre los signos de contaminación y del marco ambiental, tal como se muestra en la **Tabla 12**.

Tabla 11: Tabla de recogida de muestras en terreno

| N° de muestra | Hora | Temperatura | pH | Conductividad eléctrica | Condiciones meteorológicas al momento de la toma | | | |
|---------------|------|-------------|----|-------------------------|--|---|-----|--------|
| | | | | | T° | H | atm | Tiempo |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Modelo de ficha de observación

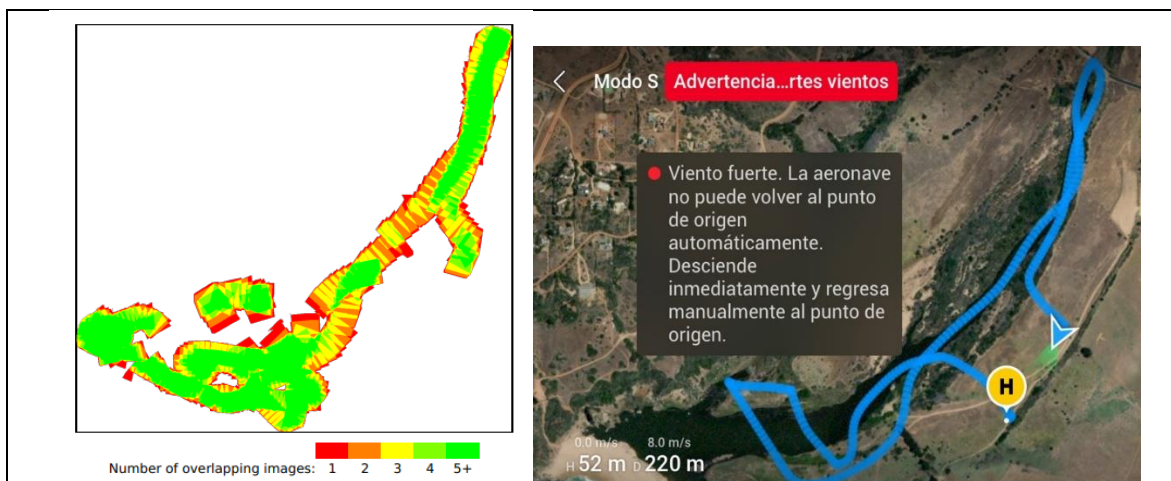
| Ficha de observación | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----------|---|---|--------------------|--|--|----------|---|-------------|--------------------|--------|---------|---|---|
| Humedal de Tunquén | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha: | | | | | | | Hora | | | | | | | | |
| Signos de contaminación | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agua: | Ninguno | | | Agua residual | | | Aceite | | | Des. Solido | | Deteg. | | | |
| Márgenes: | Ninguno | | | Aceite | | | | | | | | | | | |
| Turbiedad | Ninguno | | | Poca | | | Media | | | Alta | | | | | |
| Olor Elija un elemento. | Ausente | | | Químico | | | Otro | | | | | | | | |
| Sedimento negro | Superficial | 1 | 2 | 3 | En el fondo | | | 1 | 2 | 3 | Ninguno | | 1 | 2 | 3 |
| Medidas de protección del río | Ninguna | | | Parcial | | | Total | | | | | | | | |
| Vegetación | Plantas emergentes | 1 | 2 | 3 | Plantas marginales | | | 1 | 2 | 3 | Plantas sumergidas | | 1 | 2 | 3 |
| | Plantas suspendidas | 1 | 2 | 3 | Algas filamentosas | | | 1 | 2 | 3 | | | | | |
| Fauna | Peces | 1 | 2 | 3 | Gusanos | | | 1 | 2 | 3 | Pulgas de agua | | 1 | 2 | 3 |
| | Insectos | 1 | 2 | 3 | Larvas | | | | | | Otros _____ | | | | |
| Actividades antropogénicas que influyen en este punto | | | | | | | | | | | | | | | |
| Urbana | Agrícola y pecuaria | | | Industrial | | | Minera | | | Rural | | N/a | | | |
| Marco ambiental | | | | | | | | | | | | | | | |
| Clima | Lluvia | Húmedo | | | Seco | | | Caluroso | | Frío | Nublado | | Soleado | | |
| Suelo márgenes | Negro | Café obs. | | | Café cla. | | | Rojizo | | Gris | Verdoso | | Otro | | |
| Pendientes márgenes |  180° a 160° | | |  150° a 120° | | |  110° a 90° | | | | | | | | |

Fuente: Adaptado de Abarca, (2007).

4.5.1.5. Captura de imágenes aéreas

Adicionalmente se capturan imágenes aéreas mediante dron, cuyo objetivo es obtener una compilación de imágenes sobre el margen del humedal y así realizar un ortomosaico del mismo para qué, posteriormente se apliquen los cálculos de índices espectrales sobre este. Para ello se utilizó la plataforma online Measure Ground Control de AgEagle, el cual se destinó para el procesamiento de las imágenes aéreas capturadas por el dron marca DJI Mavic Mini equipado con un sensor 1/2.3" CMOS de 12 Megapíxeles y de un peso de 249 gramos, a raíz de esto fue operado de forma manual a modo de seguridad debido a los fuertes vientos de la zona cubriendo la zona del humedal lo máximo posible una altura de 50 metros y así generar el ortomosaico necesario (véase **Figura 4**). Una vez generado el ortomosaico se procede a utilizar el software ArcGIS Pro y Pix4Dfields para aplicar el cálculo de bandas a las imágenes RGB.

Figura 4: Numero de imágenes superpuestas capturadas en el vuelo del dron (a la izquierda). Captura del recorrido realizado por el dron desde la aplicación operadora (a la derecha)



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Aplicación de sensores remotos

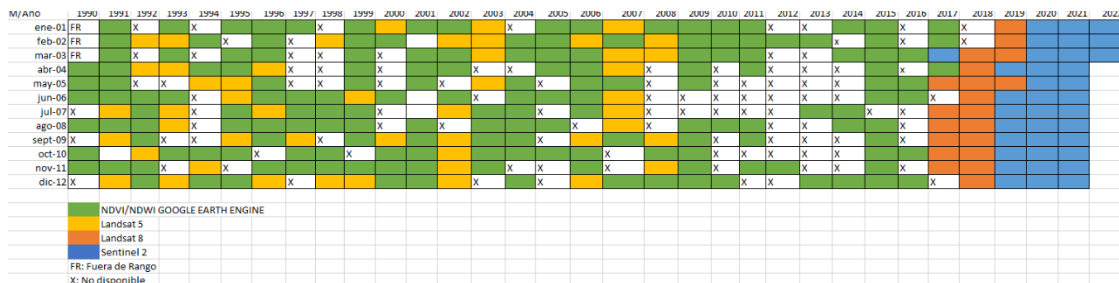
Uno de los objetivos primordiales en esta investigación es la utilización de sensores remotos para los objetivos específicos 1 y 3, los cuales proporcionarán información referente a los aspectos vegetacionales e hidrológicos en el área.

4.5.2.1. Uso de imágenes satelitales

La obtención de imágenes satelitales es esencial para cumplir con el objetivo específico 3, ya que estas imágenes proveerán información espectral necesaria sobre el estado del humedal a lo largo de los años.

Para ello se requirieron 233 imágenes satelitales que comprenden el periodo desde el año 1990 al 2022, priorizando los productos que poseen la mayor resolución disponible para cada año y, por supuesto, la disponibilidad de la misma. La obtención de las imágenes satelitales comprende el conjunto de datos Landsat 5, Landsat 8 y Sentinel 2 como se muestra en la **Figura 5**.

Figura 5: Matriz de los sensores utilizados para las imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener imágenes se utiliza la plataforma Google Earth Engine, sitio web que trabaja bajo un sistema de comandos scripts en lenguaje Javascript (código adjunto en Anexo 2). Una vez descargado las imágenes se procede a trabajar en las técnicas de procesamiento mediante índices espectrales.

Tabla 13: Técnicas e instrumentos por objetivos específicos

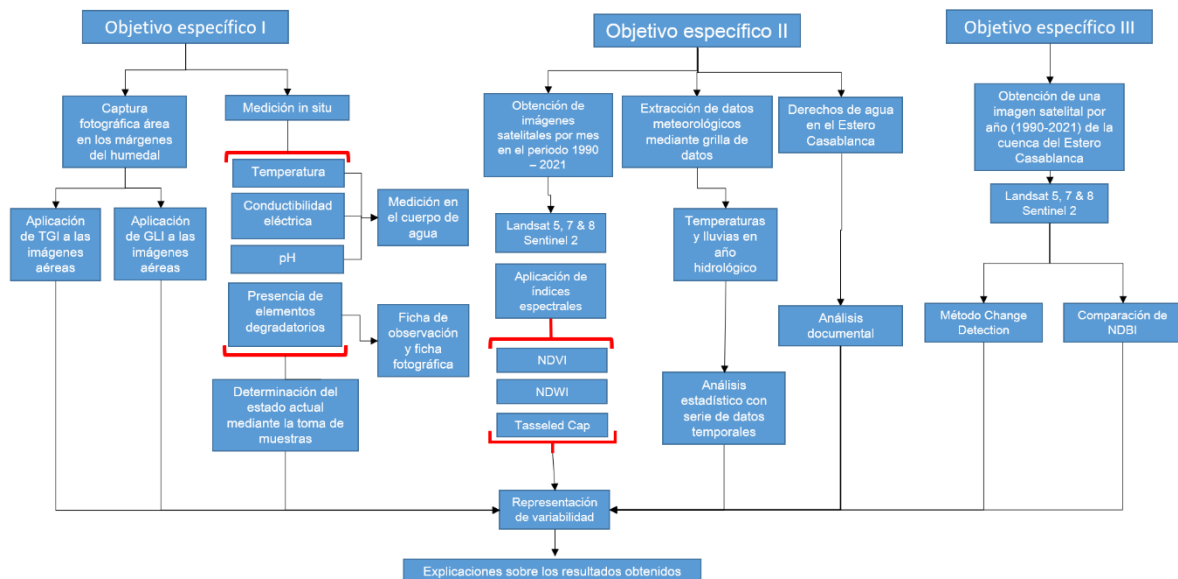
| Objetivo específico | Técnica de levantamiento de información | Técnica de análisis | Instrumento |
|--|---|---|--|
| <p>Diagnosticar las condiciones medioambientales que modelan la situación actual del Humedal de Tunquén en relación a la vegetación circundante y al cuerpo de agua presente en el área de estudio.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Toma de muestras • Ficha de observación • Imágenes aéreas | <p>Resultados mediante análisis estadísticos (variabilidad)</p> <p>Procesamiento de imágenes aéreas mediante GLI y TGI</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sonda multiparámetro PCT-407 Ezdo Gondo • Estación meteorológica Technoline WS 1600-IT • GPS Garmin Etrex 30x • Dron Mavic Mini |
| <p>Dilucidar los cambios vegetacionales e hidrológicos del Humedal de Tunquén y del Estero Casablanca de las últimas dos décadas en relación a la variabilidad del estado fisiológico de la vegetación presente, de la precipitación y de la extracción de agua.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Recogida documental • Imágenes satelitales • Revisión de bases de datos | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis documental • Análisis temporal • Procesamiento de imágenes satelitales mediante NDVI, TCT y NDWI • Análisis de recurrencia temporal | <ul style="list-style-type: none"> • Google Earth Engine • ArcGIS Pro • Datos Cr2 • Datos de Climate Engine dataset de Terraclimate |
| <p>Identificar la variación de uso de suelos en las zonas adyacentes</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Imágenes satelitales • Recogida documental | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de Change Detection | <ul style="list-style-type: none"> • ArcGIS Pro • Google Earth |

| | | | |
|--|--|---|--|
| al humedal de Tunquén desde 1990 hasta el 2021 en relación al cambio de la cobertura de suelo. | | <ul style="list-style-type: none"> • Fotointerpretación satelital • Análisis documental | |
|--|--|---|--|

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Técnicas de procesamiento (análisis/síntesis) o Plan de Análisis

Figura 6: Esquema metodológico de esta investigación



Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Aplicación de índices espectrales

Al trabajar con imágenes satelitales, estas tienen que someterse a un procesamiento inicial de los datos crudos para corregir las distorsiones radiométricas y geométricas de la imagen y eliminar el ruido. Esto se debe a que la energía captada por el sensor sufre una serie de interacciones con la atmósfera antes de llegar al sensor. Consecuentemente, la radiancia registrada por el sensor no es una representación exacta de la radiancia efectiva emitida por las coberturas (Contreras Silva, 2014). Esto significa que la imagen puede presentar anomalías en los píxeles que componen la matriz de los datos, por lo que resulta necesario

realizar operaciones de preprocesamiento antes de todo, entre ellos se encuentran la corrección atmosférica y radiométrica.

4.6.1.1. Aplicación de Green Leaf Index (GLI)

Este índice es uno de los más adecuados para resaltar la vegetación en zonas urbanas como forestales, es capaz de distinguir la vegetación de la no vegetación (Eng et al., 2019). Se destaca por ser una alternativa para la vigilancia de los cultivos de bajo coste ya que solamente utiliza las bandas RGB de cualquier dron (Andrade et al., 2019). Opera a través de la siguiente formula:

$$GLI = \frac{2 * \lambda_{B_G} - \lambda_{B_R} - \lambda_{B_B}}{2 * \lambda_{B_G} + \lambda_{B_R} + \lambda_{B_B}}$$

Donde:

GLI = Green Leaf Index o Índice de Hojas Verdes [adimensional] (-1 a 1)

λ_{B_G} = Reflectancia de banda del verde [nm]

λ_{B_R} = Reflectancia de banda del rojo [nm]

λ_{B_B} = Reflectancia de banda del azul [nm]

4.6.1.2. Aplicación de Triangular Greenness Index (TGI)

Este índice solo utiliza las bandas RGB y tiene como finalidad estimar la concentración de clorofila en las hojas y la cubierta vegetal utilizando la reflectancia del espectro visible que utiliza la longitud de onda máxima de la cámara utilizada por lo que la formula se adapta en función del sensor utilizado (De Ocampo et al., 2019).

$$TGI = -0.5[(\lambda_{Red} - \lambda_{Blue})(R_{Red} - R_{Green}) - (\lambda_{Red} - \lambda_{Green})(R_{Red} - R_{Blue})]$$

TGI = Triangular Greenness Index [adimensional] (-1 a 1)

λ_{Red} = Longitud de onda de la banda del rojo [nm]

λ_{Blue} = Longitud de onda de la banda del azul [nm]

R_{Red} = Reflectancia de banda del rojo [nm]

R_{Green} = Reflectancia de banda del verde [nm]

λ_{Green} = Longitud de onda de la banda del verde [nm]

R_{Blue} = Reflectancia de banda del azul [nm]

Este índice se encuentra automatizado en el software Pix4DFields por lo que al incorporar el ortomosaico al software este detecta las bandas RGB y el tipo de sensor CMOS de la cámara, esto permite adaptar y calcular TGI sin necesidad de intervención del usuario.

4.6.1.3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Uno de los índices espectrales más utilizados en el estudio de la vegetación mediante sensores remotos es el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) o *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*, también se ha demostrado que este índice se correlaciona, no solo con la acumulación de biomasa de los cultivos sino que está asociado a los niveles de clorofila de las hojas, la superficie foliar y la radiación fotosintéticamente activa que es absorbida por un dosel de cultivo (Bödingen, 2019). Este índice funciona mediante la diferencia de la reflectancia en las bandas del infrarrojo cercano y del rojo:

$$NDVI = \left(\frac{\lambda B_{IR} - \lambda B_R}{\lambda B_{IR} + \lambda B_R} \right)$$

Donde:

$NDVI$ = Índice de vegetación de Diferencia Normalizada.
[adimensional] (-1 a 1)

λB_{IR} = Reflectancia de banda del infrarrojo [μm].

λB_R = Reflectancia de banda del rojo [μm].

A raíz de esto, un valor elevado en el NDVI es el resultado de una combinación de una reflectancia elevada en el infrarrojo cercano y una reflectancia menor en la banda del rojo (Lillesand et al., 2015). Por lo que un valor NDVI muy bajo, podrá representar las áreas sin vegetación, cuerpos de agua y materiales de construcción. Precisamente los valores del NDVI pueden oscilar entre -1 y 1. El periodo asignado (1990 – 2021) es acorde al objetivo de esta investigación ya que sigue una normal climática para entender cómo la vegetación dentro y alrededor del humedal cambió con el tiempo.

Tabla 14: Precisiones y errores del método NDVI en la delimitación de humedales

| Dato Usado | Umbral de valores | Exactitud de la delimitación de los humedales (%) | Error de omisión (%) | Errores de comisión (%) |
|------------|-------------------|---|----------------------|-------------------------|
| NDVI | < (-0.25) | 3 | 97 | 1 |
| | (-0.25) - 0 | 14 | 86 | 19 |
| | 0 – 0.1 | 29 | 71 | 496 |
| | 0.1 – 0.2 | 12 | 88 | 73 |
| | 0.2 – 0.4 | 34 | 66 | 142 |
| | 0.4 – 0.6 | 9 | 92 | 27 |

Fuente: (Kulawardhana et al., 2007).

Procedimentalmente se calcula el NDVI de cada año, pero antes requiriendo que las imágenes se encontrasen sin presencia de nubes o con una presencia máxima de un 20% de cobertura de nubes en el área, que normalmente es frecuentada por la vaguada costera.

Dependiendo el sensor utilizado, la fórmula es la misma, pero sus bandas varían, por lo que se configura como muestra la **Tabla 15**.

Tabla 15: Formula del NDVI para el cálculo de bandas para cada sensor

| Sensor | Conversión del índice a la banda correspondiente al sensor |
|-----------------|--|
| Landsat (4 – 7) | $NDVI = \frac{\text{banda 4} - \text{banda 3}}{\text{banda 4} + \text{banda 3}}$ |
| Landsat 8 | $NDVI = \frac{\text{banda 5} - \text{banda 4}}{\text{banda 5} + \text{banda 4}}$ |
| Sentinel 2 | $NDVI = \frac{\text{banda 8} - \text{banda 4}}{\text{banda 8} + \text{banda 4}}$ |

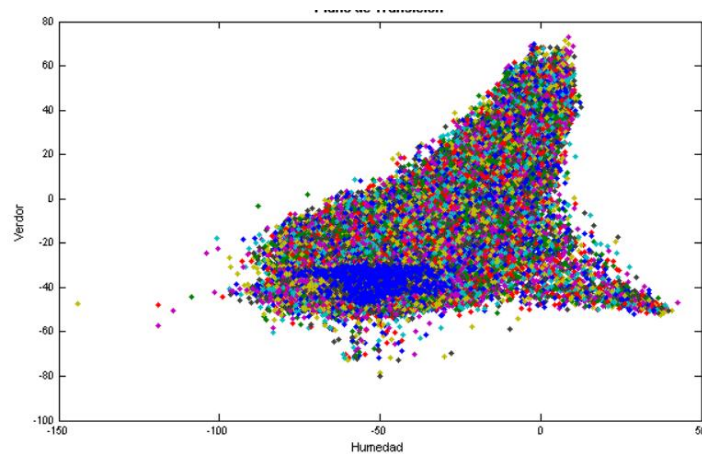
Fuente: (Kshetri, 2018).

4.6.1.4. Tasseled-Cap Transformation (TCT)

Además de los índices de vegetación descritos anteriormente, se aplica el Análisis de Componentes Principales (PCA) que transforma los datos de imagen a un nuevo sistema de coordenadas con un nuevo conjunto de ejes ortogonales más conocido como transformación

"*tasseled cap*" (Esri, s. f.). Esto produce un conjunto de componentes de vegetación útiles para la vigilancia de los cultivos agrícolas. La mayor parte de la información está contenida en tres componentes que están directamente relacionados con las características físicas de la escena.

Figura 7: Transformación Tasseled Cap entre el greeness (verdor) y la humedad (wetness)



Fuente: Risco E, 2011

El primero de ellos es el brillo o *brightness*, es una suma ponderada de todas las bandas y se define en la dirección de la variación principal de la reflectancia del suelo. Se asocia con el suelo descubierto o parcialmente cubierto y las entidades como el concreto, el asfalto, la grava, los afloramientos de roca y otras áreas descubiertas (Luna & Morales, 2018).

Otro componente es el verdor o greeness, es aproximadamente ortogonal a la luminosidad y es un contraste entre las bandas del infrarrojo cercano y del visible. El verdor está fuertemente relacionado con la cantidad de vegetación verde presente en la escena.

Y el último componente es la humedad o wetness, se relaciona con el contenido de agua en la vegetación y en el suelo y se marca por el contraste en el Short Wave Infrared (SWIR), en donde se manifiesta con mayor claridad la absorción del agua y el resto de las bandas.

Tabla 16: Precisiones y errores del método TCT en la delimitación de humedales

| Dato Usado | Umbral de valores | Exactitud de la delimitación de los humedales (%) | Error de omisión (%) | Errores de comisión (%) |
|------------|-------------------|---|----------------------|-------------------------|
| TCT | < (-40) | 26 | 74 | 322 |
| | (-40) - 0 | 57 | 43 | 343 |
| | 0 - 10 | 11 | 89 | 29 |
| | 10 - 30 | 6 | 94 | 7 |
| | >30 | 1 | 99 | 0 |

Fuente: (Kulawardhana et al., 2007).

4.6.1.5. Normalized Difference Water Index (NDWI)

Para esta investigación, en el elemento agua se utilizó el Índice Normalizado de Diferencia de Agua o Normalized Difference Water Index (NDWI), el cual se expresa a continuación:

$$NDWI = \left(\frac{\lambda B_G - \lambda B_{IR}}{\lambda B_G + \lambda B_{IR}} \right)$$

Donde:

$NDVI$ = Índice de vegetación de Diferencia Normalizada.

[adimensional] (-1 a 1)

λB_G = Reflectancia de banda del verde [μm].

λB_{IR} = Reflectancia de banda del infrarrojo [μm].

En el fondo, este índice opera con las bandas Verde y NIR (Infrarrojo cercano) cuyos valores representan la reflectancia espectral en las en esas bandas. Esta ecuación NDWI produce valores en el rango de -1 a 1, donde los valores positivos indican zonas de agua y los valores negativos significan superficies no acuáticas (Lv et al., 2019). Al igual que en el NDVI, la formula se debe adaptar a las bandas del sensor utilizado (véase **Tabla 18**).

Tabla 17: Precisiones y errores del método NDWI en la delimitación de humedales.

| Dato Usado | Umbral de valores | Exactitud de la delimitación de los humedales (%) | Error de omisión (%) | Errores de comisión (%) |
|------------|-------------------|---|----------------------|-------------------------|
| NDWI | < (-0.30) | 17 | 83 | 239 |
| | (-0.30) – (-0.25) | 22 | 78 | 202 |
| | (-0.25) – (-0.20) | 24 | 76 | 142 |

Fuente: (Kulawardhana et al., 2007)

Tabla 18: Formula del NDWI para el cálculo de bandas para cada sensor.

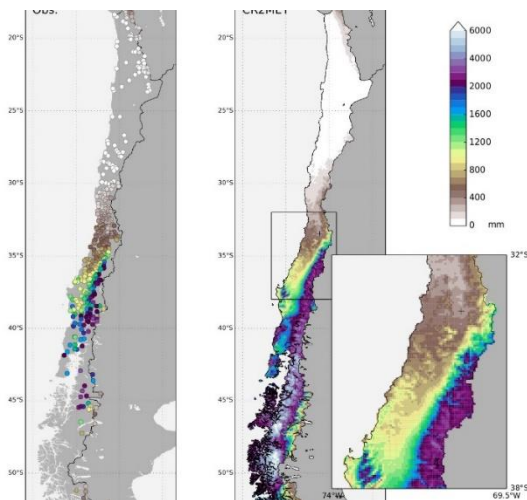
| Sensor | Conversión del índice a la banda correspondiente al sensor |
|-----------------|--|
| Landsat (4 – 7) | $NDWI = \frac{\text{banda 2} - \text{banda 4}}{\text{banda 2} + \text{banda 4}}$ |
| Landsat 8 | $NDWI = \frac{\text{banda 3} - \text{banda 5}}{\text{banda 3} + \text{banda 5}}$ |
| Sentinel 2 | $NDWI = \frac{\text{banda 3} - \text{banda 8}}{\text{banda 3} + \text{banda 8}}$ |

Fuente: (Kshetri, 2018).

4.6.2. Uso de grillas con datos meteorológicos

Para el análisis de resultados es necesario obtener datos climatológicos, para ello se utilizan los datos grillados del conjunto de datos del CR2MET los cuales contienen datos sobre (precipitación, temperaturas medias y extremas) en una grilla rectangular de aproximadamente 5 km y disponibles para periodo entre 1979 y 2019. Este conjunto se construyó mediante en una regionalización estadística de datos del reanálisis atmosférica ERA-Interim (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, s. f.). En esta grilla se obtienen los datos de temperaturas promedio y precipitaciones mensuales en el periodo 1990 y 2022.

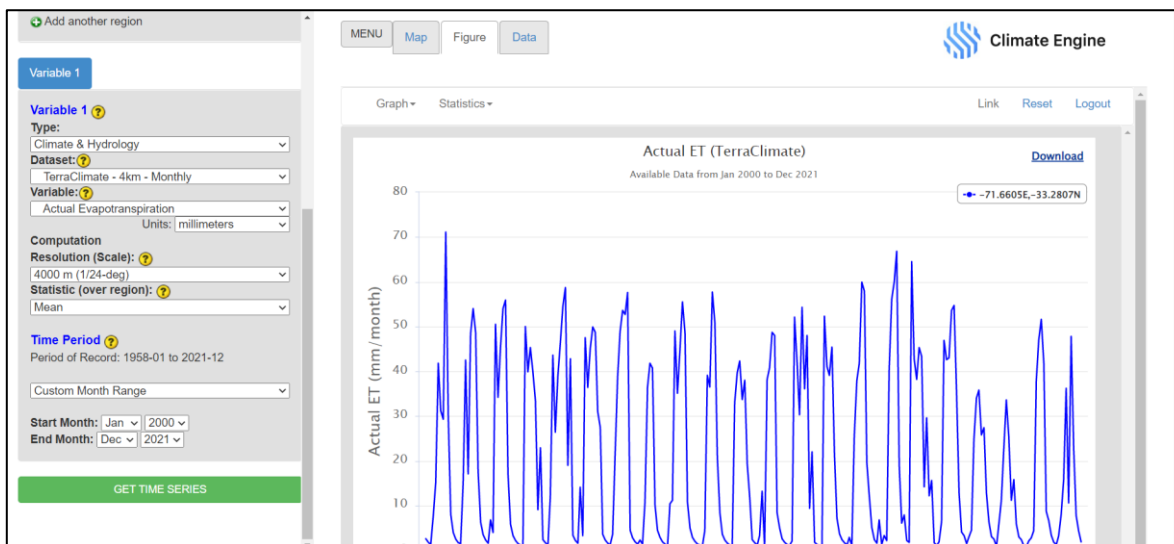
Figura 8: Comparación entre datos observacionales y el producto CR2MET de precipitación acumulada anual promedio entre 1979 y 2016.



Fuente: Productos grillados – Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2.

Además de complementar datos relativos a la Evapotranspiración real del área de estudio mediante el sitio web Climate Engine, una plataforma de datos climáticos que agrupa diversas bases de datos CHIRPS, ERA 5, TerraClimate, entre otros. También posibilita visualizar datos de sensores remotos como Landsat o Sentinel 2. Funciona mediante el sistema de datos grillados por lo que se utilizó para obtener los datos de evapotranspiración real del dataset de TerraClimate (grilla de 4 km) entre los años 1990 y 2022.

Figura 9: Interfaz de la plataforma de datos climáticos Climate Engine



Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Análisis documental

La recolección como el análisis documental en este se refiere a al complejo de operaciones que afectan al contenido y a la forma de los documentos originales, para transformarlos en otros documentos representativos de aquellos, facilitando su identificación precisa (Peña Vera & Pirela Morillo, 2007), lo que no quiere decir en la búsqueda de información. En esta investigación se requiere un análisis a la información emanada en base de datos actualizados de la Dirección General de Aguas con respecto a los derechos de aguas sobre el Estero de Casablanca y los informes hidrológicos más recientes de ese estero. Este análisis servirá de complemento al análisis temporal del humedal.

4.6.4. Análisis de correlación lineal

Una vez completado el procesamiento de las imágenes satelitales es necesario realizar las explicaciones correspondientes mediante contraposición de variables en función de los datos observados principalmente a los datos de NDVI y NDWI, con los datos modelados, ya sean de precipitación, temperatura y evapotranspiración. Para ello se utiliza el coeficiente de determinación, el sirve para comparar la bondad del ajuste de dos modelos que tienen una variable dependiente diferente (Novales, 2010), a grandes rasgos, cuantifica el grado de concentración de la distribución de (X, Y) en torno a las rectas de regresión y muestra la dependencia de variables. Este coeficiente esta denotado por el R^2 , que es una medida adimensional, de fácil cálculo e interpretación, debido a su recorrido acotado entre cero y uno, lo que conduce a una profusa utilización de la misma (Martínez, 2005).

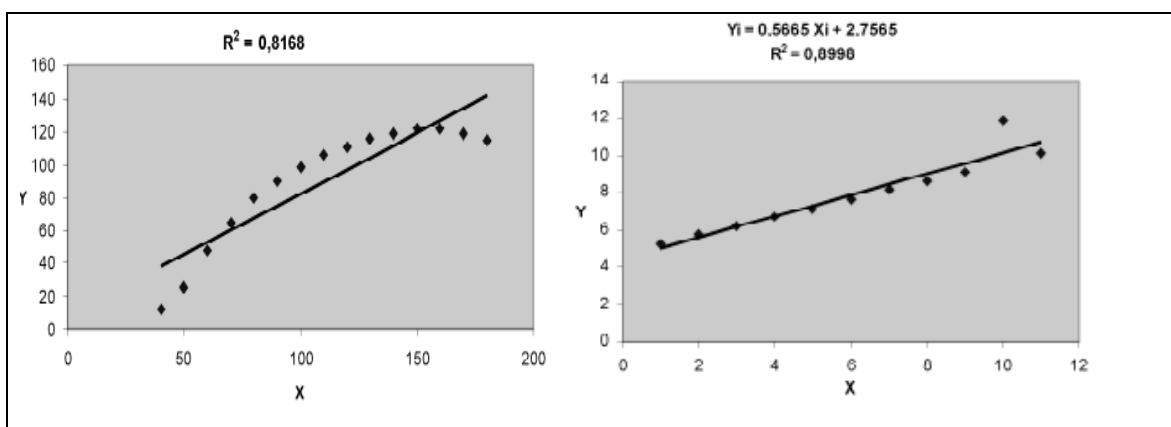
La estructura del coeficiente de determinación requiere la responder la pregunta sobre qué relación hay entre dos variables (X, Y) para ello los datos están agrupados en columnas que por medio del método de los mínimos cuadrados se obtendrá una ecuación y en r^2 como se muestra a continuación:

$$y = 2,5665 + 2,7565x \quad R^2 = 0,8998$$

El resultado anterior, el $R^2=0,8998$ es cercano a 1, por lo que este modelo lineal es adecuado para describir la relación de las variables X, Y, debido a que el R^2 muestra un 89% de bondad de ajuste a este modelo. A pesar de lo anterior, pueden existir errores de interpretación de los

modelos por lo que es necesario saber que en algunas situaciones en donde existan datos anómalos, poca cantidad de datos o utilizar ecuaciones incorrectas como por ejemplo una lineal en vez de una exponencial o logarítmica (véase Figura 10) pueda generar errores de interpretación del R2.

Figura 10: Errores típicos que se cometen al utilizar el coeficiente de determinación



Fuente: Martínez, 2005

4.6.5. Aplicación de recurrencia temporal y Change Detection en ArcGIS Pro

Para visualizar los cambios de los pixeles a lo largo del tiempo, se utiliza el método de recurrencia temporal en ArcGIS Pro, el cual consiste en calcular las estadísticas de cada celda y de todas las imágenes del periodo 1990 y 2021 con una dispersión de datos por desviación estándar, esto mediante la herramienta Cell Statistics.

Figura 11: Operativización de la herramienta Cell Statistics

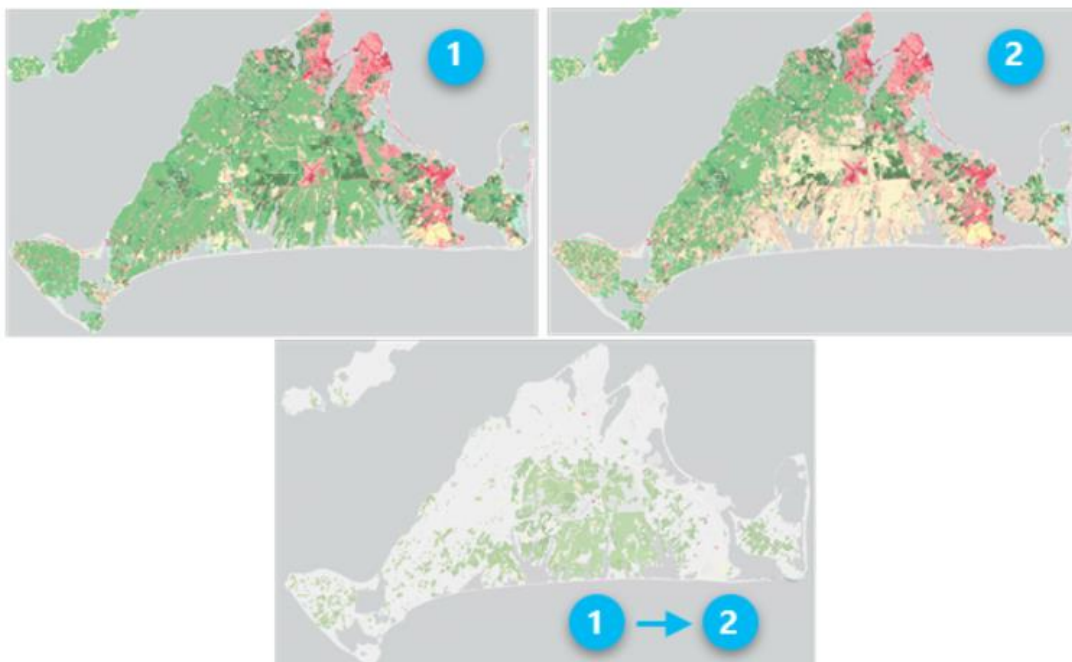


Fuente: Esri-Documentation

Para identificar los cambios de uso de suelo, para efectos de esta investigación se optó por la técnica del Change Detection o detección de cambios de ArcGIS. Este método se identifica

los valores de cada píxel de una banda o índice espectral de una imagen ráster, proporcionando una serie temporal de imágenes en un ráster multidimensional. Este procedimiento es muy práctico para crear de forma automática un mapa de uso del suelo o de cobertura vegetal (como se muestra en la **Figura 12**) que en este caso se optó por utilizar el NDVI como indicador de cambio a lo largo del tiempo en la cuenca del Estero Casablanca. Para esta técnica se usa una imagen satelital por cada 10 años priorizando el sensor con más resolución disponible de la fecha.

Figura 12: Operativización del método Change Detection en ArcGIS Pro



Fuente: Esri-Documentation

5. Resultados

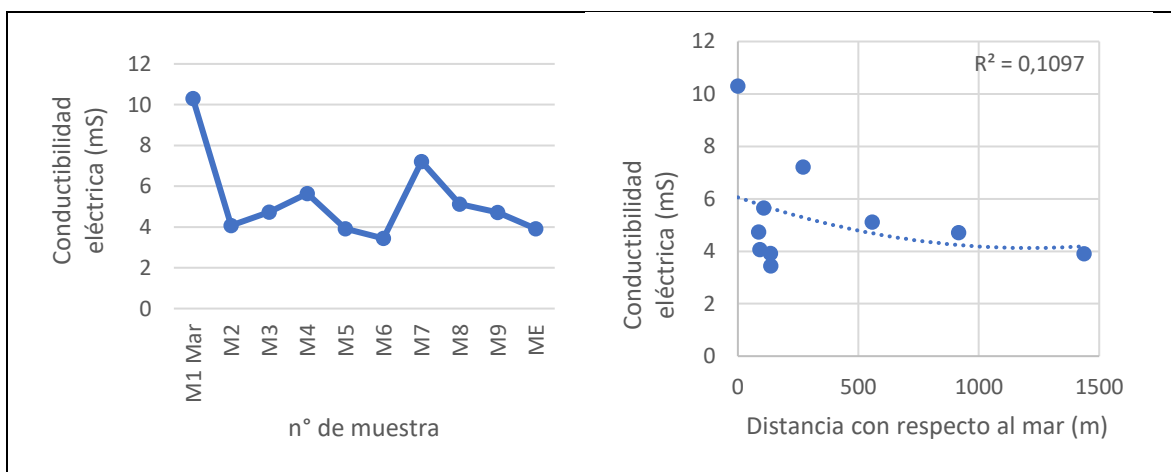
5.1. Caracterización sobre el estado actual estado actual del humedal

Objetivo Especifico correspondiente:

Diagnosticar las condiciones medioambientales que componen la situación actual del Humedal de Tunquén en relación a la vegetación circundante y al cuerpo de agua presente en el área de estudio.

El cuerpo de agua del humedal estudiado posee un área de 11 hectáreas con una dinámica hidrológica costera por lo cual existe una variabilidad en los parámetros fisicoquímicos existentes que dan relación a un cambio entre agua dulce y salada. Esto se puede evidenciar con los valores recolectados en terreno de conductibilidad eléctrica el cual varía de 4.07 mS a 10.47 mS el cual demuestra la distribución dispar de la salinidad en el humedal de Oeste a Este, debido a valores superiores e inferiores de los extremos dentro de algunos tramos y una discreta correlación con la distancia con respecto al mar (véase Figura 13) que se puede explicar por aporte de agua de mar cuando la flecha litoral es erosionada por tormentas. Mientras que el pH se mantuvo en valores de 7 y excepcionalmente 5 en el Estero Casablanca y durante la toma de muestras la temperatura en el cuerpo de agua varió de 18 °C y 24 °C.

Figura 13: Promedio de la conductibilidad eléctrica de las muestras obtenidas en el Humedal (a la izquierda) y la conductibilidad eléctrica en función de la distancia del mar (a la derecha)

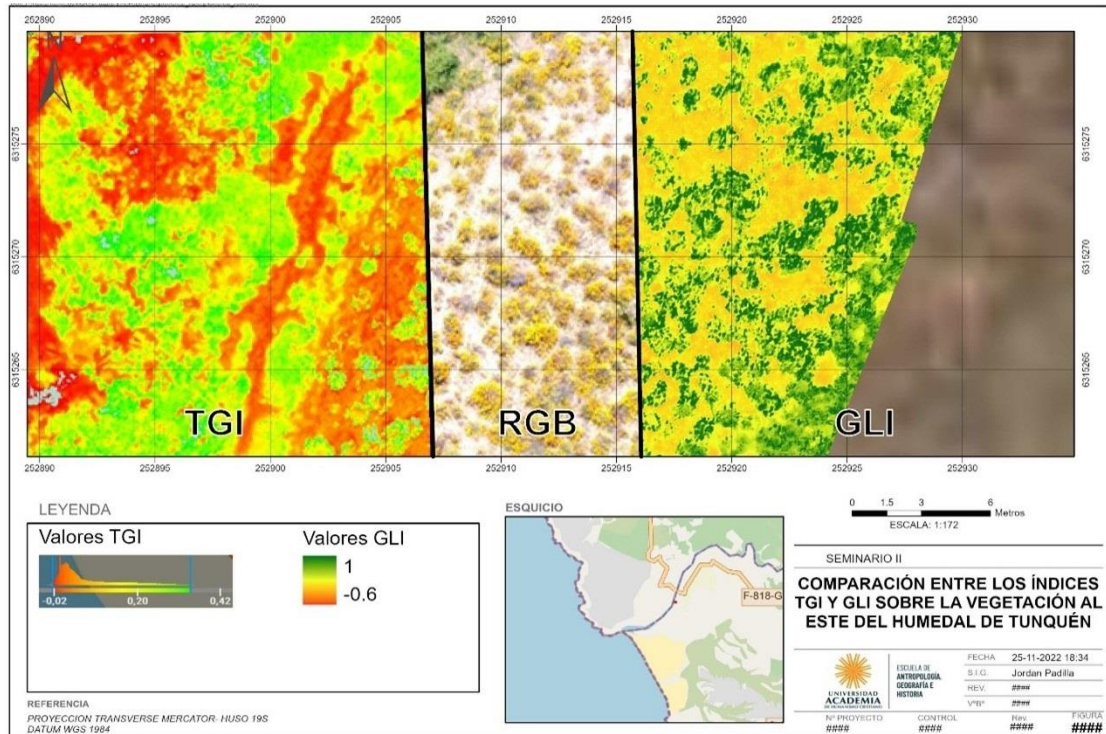


Elaboración propia

Los valores de conductibilidad se encuentran fuera de los valores establecidos por CONAMA (2005), de las cuales las clases 1 y 2 consideradas buenas para la conservación de comunidades acuáticas y la clase 3 apta para ser bebida por animales y riego restringido, mientras que la clase 4, es decir, valores de conductibilidad sobre 2.25 mS, pH >8.5 y TDS >1500 son de mala calidad y no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas. Sin embargo, estos elementos varían caso a caso, debido al tipo de ecosistema acuático, especies, tipo de régimen, composición del agua, entre otros, por lo que debería ser tomado como una guía de referencia. La composición de este humedal presenta rasgos mayoritariamente salinos en función de los valores obtenidos de la conductividad eléctrica y que presentan una distribución con altos índices de salinidad en la zona de la flecha litoral (zona Oeste), luego tornándose difusa en ciertos tramos para alcanzar valores a la baja en la zona este, cercana al área de inundación del Estero Casablanca (zona Este). Si bien la altura de la flecha litoral puede oscilar de 3 a 4 metros en algunos tramos según lo observado en terreno, se puede llegar a cuestionar sobre la estacionalidad del rompimiento de la flecha litoral en los meses de invierno. Pero las imágenes satelitales históricas de la plataforma Google Earth (Maxar y CNES/Airbus) no evidencian tal situación recurrente en los últimos años, a excepción de imágenes captadas en septiembre del 2017, en cual se produce el ingreso de agua marina al humedal y otra en el año 2015 en donde la flecha litoral presenta una erosión significativa a raíz de los efectos del meteotsunami ocurrido el 8 de agosto del 2015. El aporte de salinidad al cuerpo de agua del humedal no solo es por el ingreso de agua marina, sino que también por la evaporación del agua y el transporte eólico de sedimentos, ya que esta zona se caracteriza por los fuertes vientos que aumentan durante el transcurso del día. Otro factor que considerar, aunque la franja litoral y la ruta F-818 impidan que ingrese el agua superficialmente al humedal, estos se conectan subterráneamente mediante escurrimiento subterráneo del agua en el suelo tanto por el lado de la ruta como por de la franja litoral. La ruta F-818 que separa el Estero Casablanca del humedal en los meses de invierno queda anegada por el aumento de aporte del agua debido a las precipitaciones abundantes que puedan ocurrir. Con respecto al estado fenológico de la vegetación presente, se pudo evidenciar mediante la aplicación de índices y las fichas fotográficas que, en el periodo de septiembre y octubre, que el área de estudio presenta una gran cantidad de especies

vegetales fotosintéticamente activas a la banda del verde en las zonas suroeste, sur y sureste del humedal, tal como se visualiza en la figura 14.

Figura 14: Comparación de los índices TGI y GLI en la zona este del humedal de



Elaboración propia

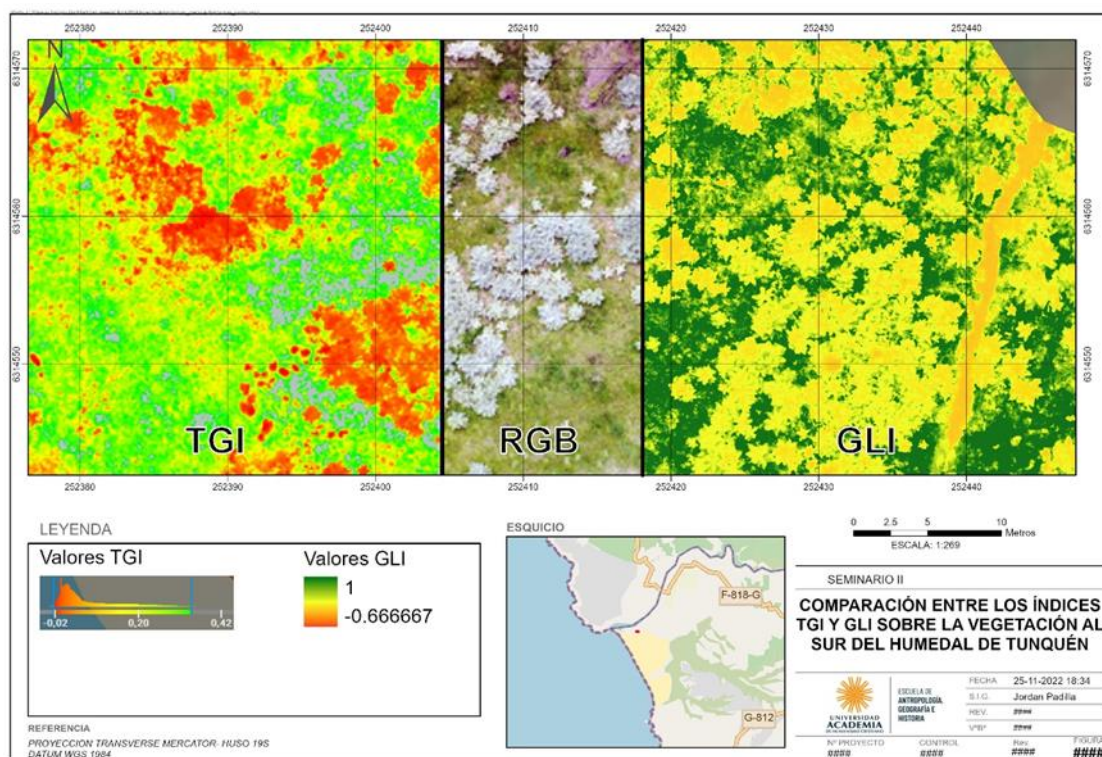
Se constató que la especie con mayor reflectancia positiva (>0.2) a los índices GLI y TGI fue la especie Amapola de California (*Eschscholzia Californica*) (véase Figura 14) catalogada como alóctona o invasora y está presente de manera masiva en la zona sureste y norte del humedal. Una de las características de la especie es que posee una alta adaptabilidad de los suelos y tolera situaciones extremas de humedad y temperatura (Escobedo, 2016). La mejor temperatura de esta planta para crecer es entre 10 - 24 °C. Si hace demasiado calor en el verano donde crece, esta entra en periodo de latencia⁴, el cual se puede prolongar por largo periodos. La apertura de la flor se prolonga por cinco días y durante este tiempo las flores se cierran de noche y en las horas del día en que llueve o el cielo está nublado (Mileva, 2012).

⁴ Es el estado de relativa inactividad metabólica de un organismo o de sus órganos reproductores (Pérez-Fernández & Gómez-Gutiérrez, 2003)

Se desconoce la llegada de esta especie a la zona, pero la forma de propagación es mediante autocoria⁵

Sin embargo, en la zona sur del humedal, existe predominancia de otra especie pero que su reflectancia es negativa a los índices utilizados (TGI= <-0.01, GLI= <0), como se visualiza en la figura 15.

Figura 15: Comparación entre los índices TGI y GLI sobre la vegetación al sur del humedal de Tunquén



Elaboración propia

Esta especie es la *Cynara cardunculus*, un tipo de cardo comestible con hojas espinadas y tallos de hasta de 1m que son ocupadas por personas para preparar una ensalada popular. Esta planta es alóctona y potencialmente dañina debido a que es una maleza agresiva el cual forma densos parches de la especie causando la exclusión de otros tipos de vegetación, como se evidenció en el terreno. Entre sus otros efectos nocivos, se considera un vector de otras

⁵ Mecanismo de dispersión natural de semillas asociadas a plantas madre con dehiscencia explosiva (Noir et al., 2002)

especies invasoras a raíz de que se le asocian plagas cuaternarias⁶; tiene un riesgo de dispersión alto, aunque sus semillas sean pesadas para ser transportadas por aire utilizan otros métodos como animales, vehículos, agua y basura de jardín para llegar lejos; y finalmente no existe suficiente evidencia con respecto a los efectos del medioambiente, pero se sugiere que afecta a las comunidades microbianas del suelo y la retroalimentación de los ciclos de nutrientes y agua, al producir mayores proporciones de biomasa aérea que las plantas nativas (CONABIO, 2015).

Figura 16: Especies alóctonas masivas observadas en el terreno: *Eschscholzia* Califórnica (a la izquierda) y *Cynara cardunculus* (a la derecha)



Fuente: Elaboración propia

La mayor o menor reflectancia de las plantas no solo se explica con niveles de clorofila que detecta el sensor, sino que hay otros factores como el pigmento Betacaroteno, que al igual que la clorofila absorben la energía de la luz para el proceso fotosintético (García, 2011) y el ciclo fenológico en cual se encuentra la vegetación. Para el ciclo fenológico de la *Cynara cardunculus* se necesitan 220 días o acumular 660°C de temperatura para completar la fase de vegetativa y 95 días o 1300°C de temperatura acumulados para llegar a la fase reproductiva (Archontoulis et al., 2010). Se infiere que la reflectancia de esta especie reaccionó de forma negativa producto a que se encuentra tempranamente en la fase

⁶ Son aquellas plagas de importancia económica y/o ambiental que se han introducido recientemente al país o que su distribución en el territorio nacional es limitada y provocan efectos negativos sobre los recursos forestales.

vegetativa, el cual se produce entre los meses de septiembre y abril a diferencia de la *Eschscholzia Californica* el cual se encuentra en etapa de floración.

Con respecto a la biodiversidad existente en el humedal, se identificaron algunas taxas observadas en el trabajo de campo, en las especies vegetales (excluyendo a las especies alóctonas tratadas anteriormente el cardo *Cynara cardunculus* y la *Eschscholzia Californica*) se encuentra la totora (*Scirpus americanus*), la planta de hielo (*Carpobrotus Chilensis*) y la *Euphorbia portulacoides*, estas últimas encontradas en los márgenes del humedal, específicamente sobre el campo dunar. Mientras que las aves observadas, algunas fueron el Pimpollo común (*Rollandia rolland*), Garza Chica (*Egretta thula*), Yeco (*Nannopterum brasilianum*).

En relación al cuerpo de agua del humedal se pudo constatar la presencia de concentraciones espuma de aspecto aceitoso que estaban en zonas en donde el agua no presentaba movimiento, para dilucidar el origen y los efectos de este elemento se requiere un estudio de mayor profundidad ya que varía de ubicación en el humedal. Sin embargo, se puede inferir en la presencia de espuma endógena el cual se asocia a la descomposición de materia orgánica del humedal y que a diferencia de las sustancias polifluoroalquiladas (espuma presente en ambientes naturales asociada a contaminación) estas presentan un color pardo y olor a pescado o a tierra asociado (Schilling & Zessner, 2011).

Figura 17: Espuma endógena en el margen Suroeste (imagen izquierda) y Este (imagen derecha) del humedal



Fuente: Elaboración propia

En función a la presión urbana que hay sobre el humedal, a modo de indicador medioambiental se puede inferir que el humedal no recibe perturbaciones directas por infraestructura cercana o turismo, esto se puede evidenciar por la poca urbanización del sector que comprende el sector ya que la zona posee restricciones al ser Zona de Interés Agropecuario (ZIS) decretado por el Plan Intercomunal de Valparaíso Satélite Borde Costero Sur. El sector recibe pocas perturbaciones debido a lejanía de otros centros urbanos como Algarrobo y Quintay, esto que impide que llegue el turismo masivo de esas zonas; la conectividad, si bien se puede llegar en 30 minutos desde Algarrobo solo es posible en vehículo privado, es limitante incluso por las pendientes muy inclinadas de la ruta F-818; entre otras. Esto no minimiza la ocurrencia de otros problemas, como frecuente presencia de perros en los márgenes del humedal y la basura.

Figura 18: Situaciones observadas en el humedal: Neumático en medio del humedal (imagen izquierda) y perros captados vagando en los alrededores del humedal (imagen derecha).



Fuente: Elaboración propia

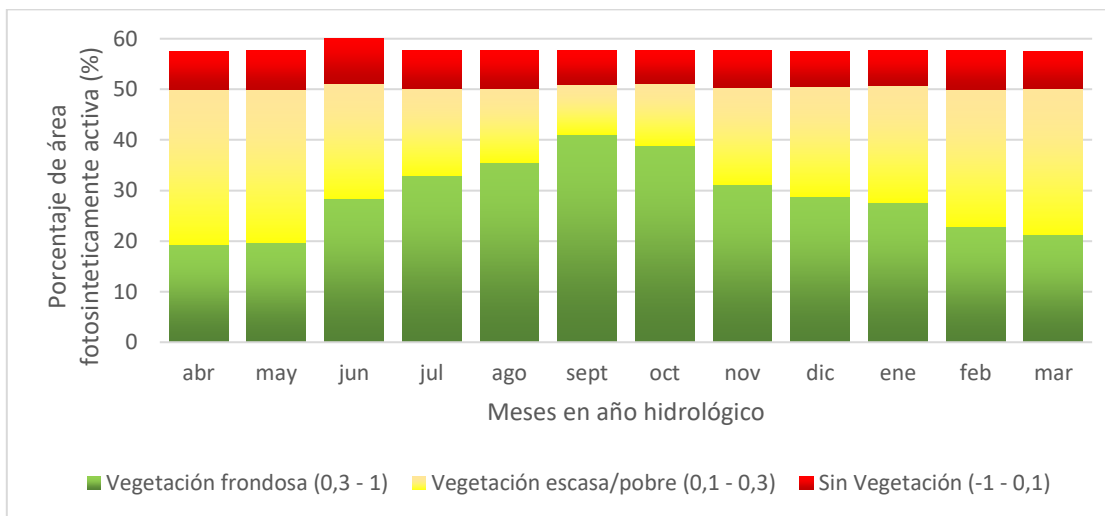
5.2. Evolución a lo largo del tiempo

Objetivo Especifico correspondiente:

Explicar los cambios vegetacionales e hidrológicos del Humedal de Tunquén de las últimas dos décadas en relación a la variabilidad del estado fenológico de la vegetación presente, de la precipitación y de la extracción de agua.

El procesamiento de las imágenes satelitales con respecto al NDVI, arrojó que mensualmente en los años hidrológicos muestran una estacionalidad marcada en la vegetación fotosintéticamente activa que aumenta progresivamente desde el mes de junio hasta alcanzar su peak en el mes de septiembre con una superficie mayor a 40 hectáreas, que luego reduce su intensidad como se evidencia en la **Figura 19**. El aumento hasta el peak coincide con el periodo de floración de la mayoría de las especies que se da principalmente entre los meses de agosto y septiembre.

Figura 19: Distribución fenológica mensual en el humedal de Tunquén

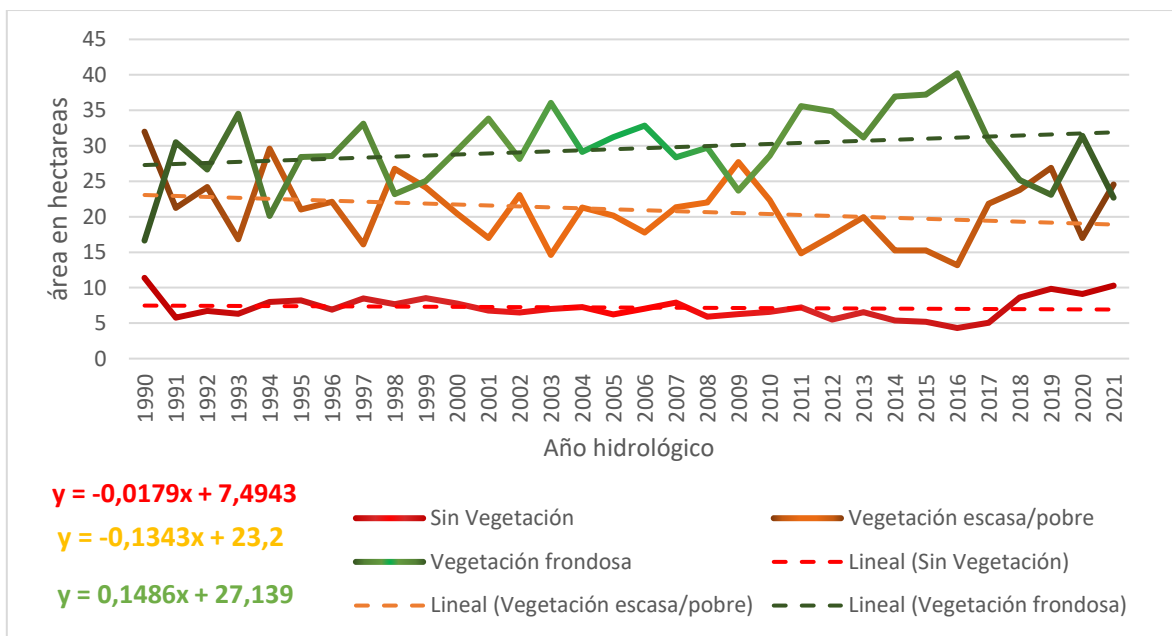


Fuente: Elaboración propia

La tendencia histórica del NDVI evidencia que las zonas sin vegetación como también la catalogada escasa/pobre van a la baja ($y=-0.0179$, $y=-0.1343$ respectivamente) con respecto a la vegetación frondosa, es decir, aquella que obtuvo valores de los pixeles $0.3 > a 1$, arroja una tendencia positiva en los años estudiados ($y=0.1486$) como se muestra en la **Figura 20**. A simple vista se visualiza en la Figura 21 que esta vegetación es dominante en el tiempo y

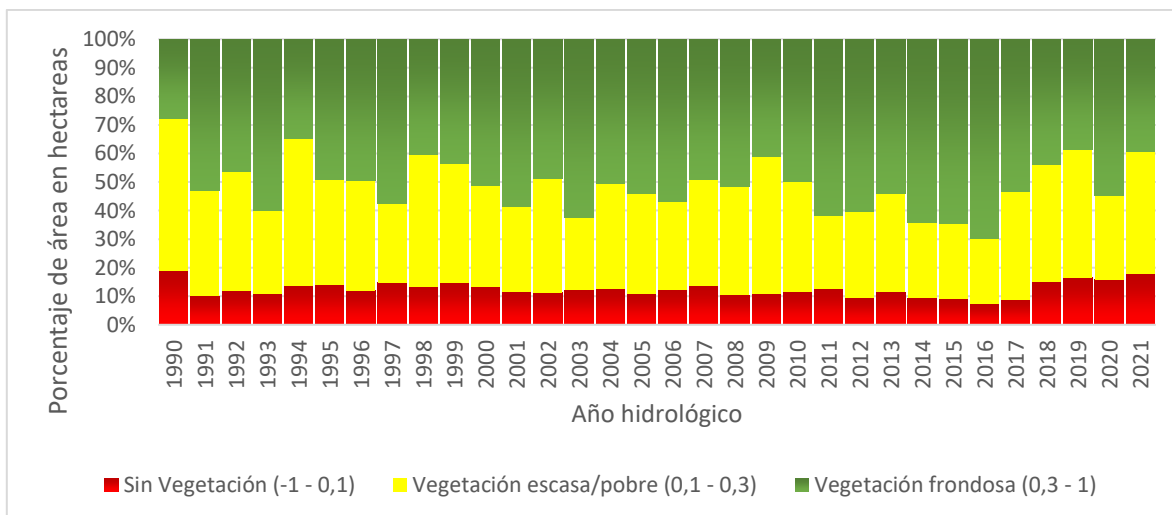
tiene con pocas variaciones, lo que no ocurre con las zonas sin vegetación el cual no superan las 11 hectáreas anuales.

Figura 20: Tendencia histórica del NDVI en el humedal de Tunquén entre los años 1990 y 2021



Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Porcentaje de hectáreas del NDVI en promedio anual en el humedal de Tunquén

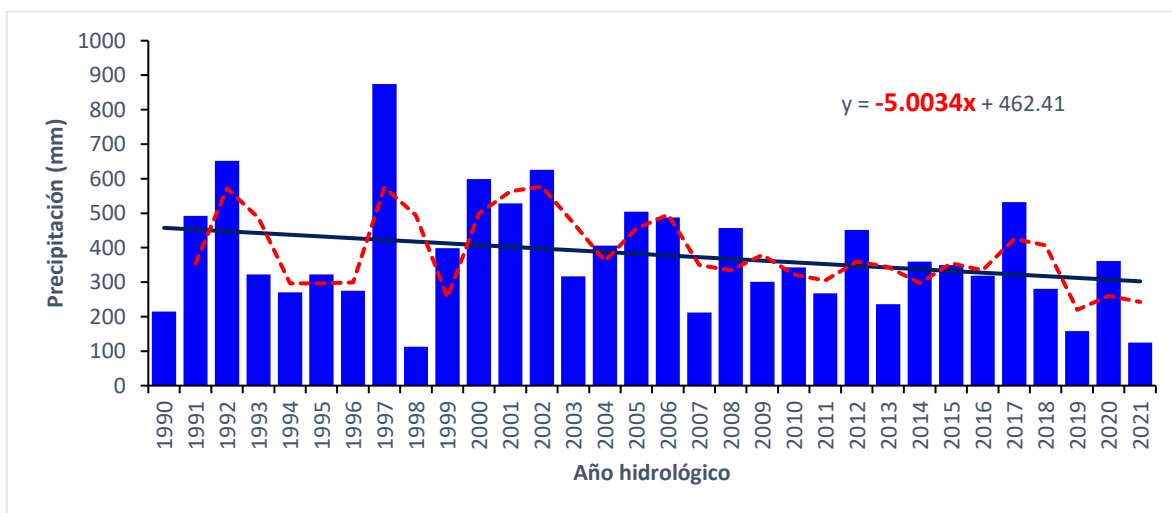


Fuente: Elaboración propia

En relación a la influencia del NDVI en el humedal, los datos utilizados para el coeficiente de determinación entre las variables de temperatura y precipitación, permitió ver que las variables de precipitación presentaron una correlación del 9% ($R^2=0.09$); en la temperatura promedio y las temperaturas máximas se obtuvo un 8% y 0% ($R^2=0.08$ y $R^2=0.004$ respectivamente); y en las temperaturas mínimas obtuvo una correlación del 87% ($R^2=0.87$); finalmente la evapotranspiración presentó una correlación significativa de un 22% ($R^2=0.22$).

Con respecto a la precipitación, se ha evidenciado una baja sostenida en las precipitaciones a lo largo de los años tal como se muestra en la Figura 22, esto podría representar un efecto sobre la cuenca del Estero Casablanca, específicamente en el caudal del mismo, por la menor cantidad de precipitaciones, pero no ha tenido efectos en la vegetación en el humedal.

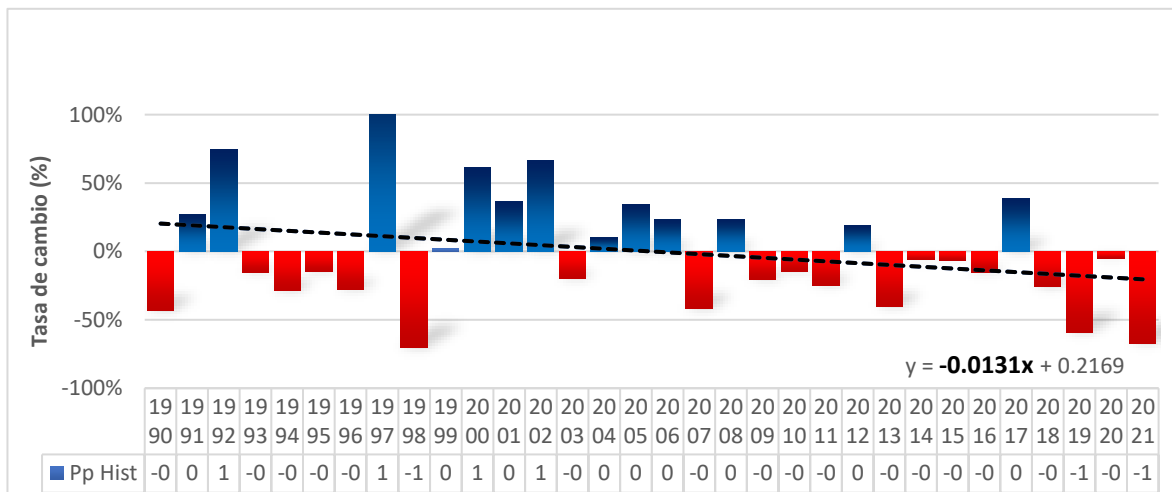
Figura 22: Precipitaciones anuales entre 1990 y 2021 en Tunquén



Fuente: Elaboración propia

A pesar de los resultados obtenidos, se observa que en el año 1997 se produjo la mayor acumulación de agua de toda la serie de tiempo, llegando a acumular 874 mm, en comparación al año siguiente con tan solo 113 mm, la más baja del periodo.

Figura 23: Normalización de los datos de precipitación en función al promedio histórico

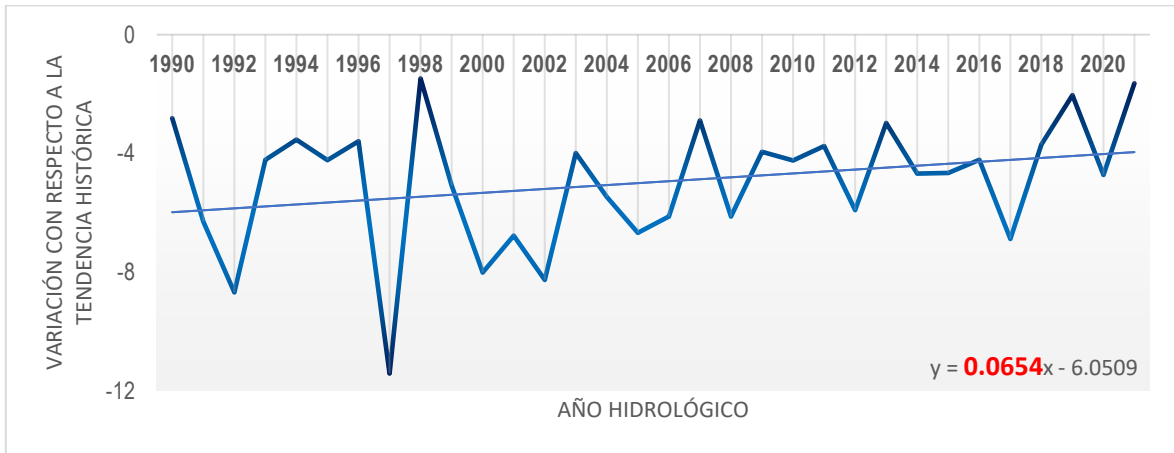


Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, el promedio histórico indica que los últimos años las precipitaciones cada vez más se van alejando de su promedio de forma negativa (véase **Figura 23**) y con respecto a su tendencia histórica muestra una normalización ($y = 0.0654$) hacia el promedio desde el año 2009 a la fecha (véase **Figura 24**). Anualmente se registra una pérdida de 5 mm (véase ecuación **Figura 22**) al año que si ese valor es proyectado a 30 años ($= -5.0034 * 30$) significaría -150 mm de precipitación, lo que puede representar un impacto negativo en el aporte anual en el Estero Casablanca y también directamente en el humedal.

Las alteraciones acontecidas en el periodo estudiado fueron por efecto directo de eventos climáticos del océano pacífico. Entre 1997 y 1998 se desarrolló el fenómeno ENOS, la fase cálida conocida como El Niño, causó estragos en las actividades pesqueras e inundaciones severas en la zona central de Chile (Maturana et al., 2004). Inmediatamente entre 1998 y 1999 se produjo la fase fría, “La Niña” que acrecentó la sequía en el país debido al déficit de precipitación que genera.

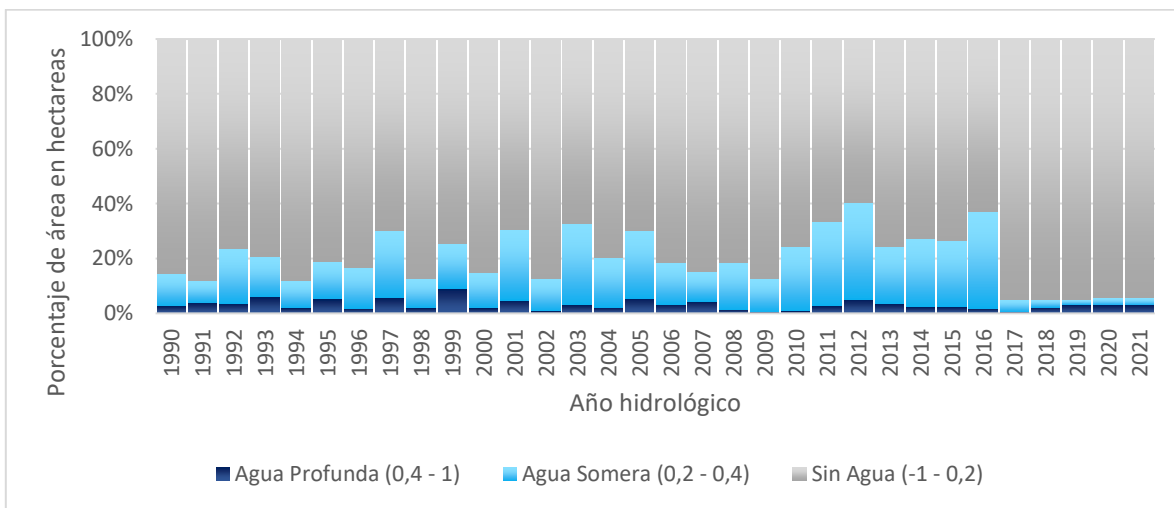
Figura 24: Normalización de los datos de precipitación en función de la tendencia histórica



Fuente: Elaboración propia

Al generar el NDWI, se muestra a simple vista una mayor presencia de aguas de tipo someras (valores $0.2 > y < 0.4$), el cual se destaca el año 2012 y 2016 con la mayor área del cuerpo de agua con un 20% respectivamente.

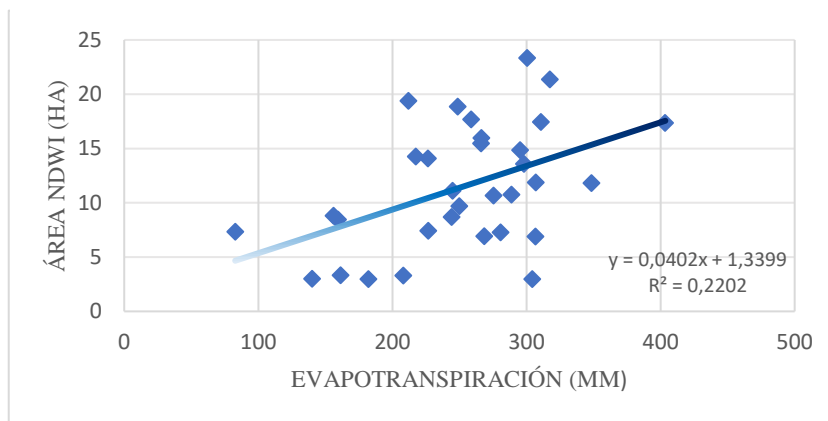
Figura 25: Porcentaje de hectáreas del NDWI en promedio anual en el humedal de Tunquén



Fuente: Elaboración propia

En el caso de NDWI, los datos de correlación de determinación de la variable de precipitación obtuvieron una correlación del 7% ($R^2=0.07$), esto no significa que sea despreciable ya que tiene influencia en especies que estén en proceso de degradación. En cambio, la variable de evapotranspiración tuvo una correlación que se debe tomar en consideración ($R^2=0.22$ [22%]) ya que es una variable que influye de manera directa sobre el cuerpo de agua de estos ecosistemas.

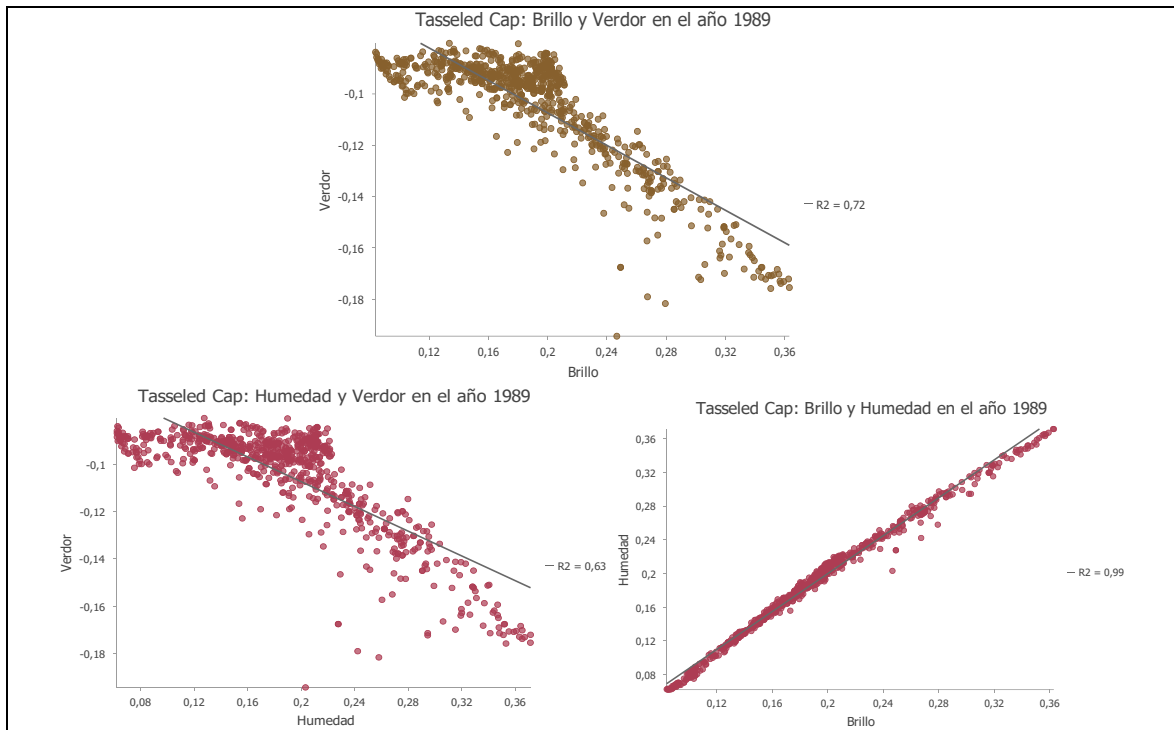
Figura 26: NDWI en función de la evapotranspiración



Fuente: Elaboración propia

Para visualizar de mejor manera estos datos, a las imágenes se les generó las bandas de brillo, verdor y humedad para los años 1989, 1997, 2005, 2013 y 2021 aplicados en gráficos de dispersión o scatter plots tal como se detalla en el marco metodológico. Con respecto a los ejes, se asocia que el factor brillo se debe a la presencia de suelo desnudo y a la zona de “playa” o arena característica del área de estudio, contrario al factor verdor, el cual se le puede relacionar a la cobertura vegetal especialmente de los matorrales presentes y la humedad asociada al cuerpo de agua.

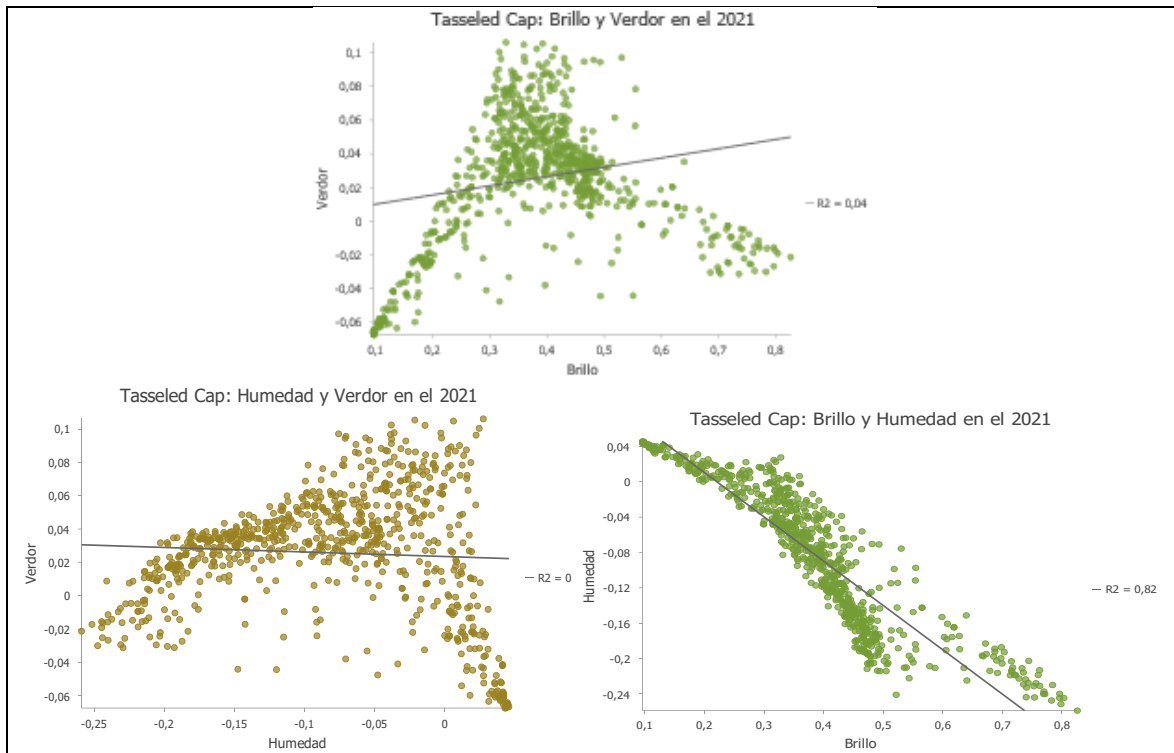
Figura 27: Gráficos de dispersión de Tasseled Cap del humedal en el año 1989



Fuente: Elaboración propia

Una comparación representativa del Tasseled Cap se evidencia en el año 1989 en cual explica que la dinámica del verdor con respecto al brillo es mayor, obteniendo una buena correlación ($R^2= 0.72$ [72%]), es decir, que la presencia de la vegetación es mayor que el suelo descubierto. Casi el mismo resultado arroja el factor verdor con la humedad, con una correlación buena ($R^2= 0.63$ [63%]), el cual explica una mayor dominancia de la vegetación con respecto al cuerpo de agua. Mientras que en los factores de brillo y humedad se presenta una constante de equilibrio entre ambos, logrando una alta correlación ($R^2= 0.99$ [99%]). Este método es útil para identificar las distintas cubiertas que tienen lugar en el área de estudio en el año 1989 por lo que, si se compara con el año 2021, los factores empiezan a modificar sus correlaciones y la información de los pixeles empieza a dispersarse de en los extremos del grafico logrando correlaciones bajas entre el verdor y el brillo ($R^2= 0.72$ [72%]); sin correlación entre verdor y humedad ($R^2= 0.003$ [0%]); buena correlación entre la humedad y el brillo ($R^2= 0.82$ [82%]).

Figura 28: Gráficos de dispersión de Tasseled Cap del humedal en el año 2021



Fuente: Elaboración propia

Lo anterior demuestra un cambio en el comportamiento de la cobertura en el humedal que explica que en el 2021 las variables del suelo descubierto están relacionadas en conjunto con el cuerpo de agua (las cuales tienen más relación) que la vegetación. Durante la recolección de muestras en terreno se pudo observar una zona con signos de eutrofización, principalmente en la zona de inundación del Estero Casablanca (véase **Figura 29**). Lo observado en el terreno y que en referencia del estudio de (Moreta, 2008) pueden ser indicadores de eutrofización en la zona del Estero Casablanca. Lo hallado y medido en el terreno fue color verdoso en el agua que puede deberse a las algas provocan al agua un color verdoso por el contenido de clorofila, un pH de 5 que ya que permite determinar los efectos letales del CO₂ y que el pH alcance valores de 4.5 es indicativo de los efectos letales del CO₂ y finalmente se halló un deterioro del paisaje que reduce el valor del agua como recurso y en donde la vegetación gana territorio.

Figura 29: Signos de eutrofización en el área de inundación del Estero Casablanca

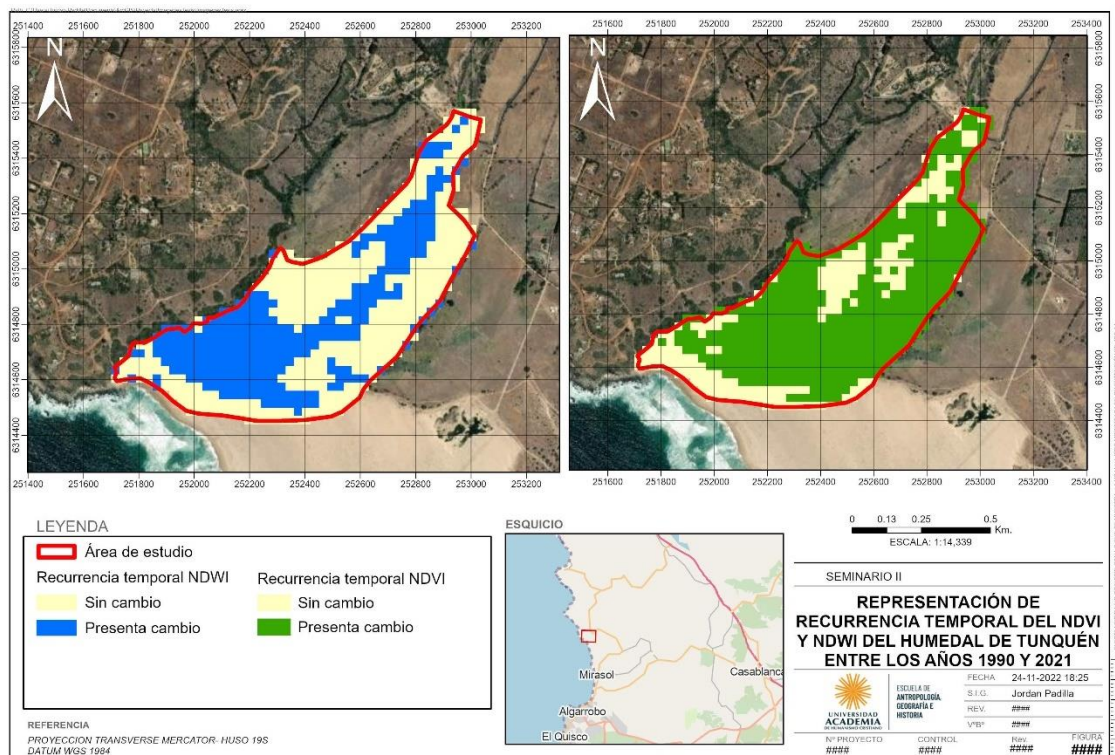


Fuente: Elaboración propia

Complementando al Tasseled Cap, en el análisis de recurrencia se muestran variaciones en gran parte de los píxeles entre 1990 y 2021 (véase **Figura 30**), principalmente se debe a los cambios de vegetación en los márgenes del humedal a excepción de dos grandes parches, uno sin vegetación en la zona intermedia del área de estudio en donde se mantiene el suelo descubierto gran parte de los años. El otro parche de vegetación sin cambios tiene lugar en la zona noreste del humedal por la alta concentración de especies vegetales de alturas con alturas aproximadamente de 2 a 3 metros, y otras en menor medida con alturas mayores a 5 metros que se ubican en el meandro del Estero Casablanca antes de llegar a la desembocadura. El cambio de los píxeles afecta en menor medida al índice NDWI, que muestra variaciones en los márgenes y la aparición de zonas de inundación, esto quiere decir que los cambios en los valores de los píxeles se asocian a las fluctuaciones en la extensión del cuerpo de agua principalmente a periodos de abundantes precipitaciones que propicia la modificación del meandro del humedal en la zona noreste, generando pequeñas zonas de inundación. En caso de la zona noroeste y suroeste del humedal el cambio de los píxeles se asocia a la reducción de la franja litoral durante el invierno debido a los eventos meteorológicos estacionales y en mayor medida a los eventos climáticos extremos que azotan la costa. No solo la erosión explica este cambio, sino que también el aumento de la franja

litoral y que a pesar de que no se dispone información sobre la tasa de recuperación o del aporte de sedimentos en esta zona, se evidencia que la variabilidad en el aumento de la acumulación de sedientos influencia los valores de los pixeles a lo largo de los años.

Figura 30: Recurrencia temporal del NDVI y NDVI del humedal de Tunquén entre 1990 y 2021



Fuente: Elaboración propia

Otras de las variables que influyen en el aporte de agua dulce al sistema y que pueden tener efectos perjudiciales en el sistema, es la afectación del recurso hídrico, si se afecta el ingreso de agua en el ecosistema. En el trabajo en terreno observó la presencia de un sistema de captación de aguas cerca del humedal y otro en la zona del Estero Casablanca. Sobre la cuenca del Estero Casablanca existen 918 derechos de aprovechamiento de agua distribuidos en 446 titulares, de los cuales de 915 son de tipo consuntivo, casi abarcan la totalidad de los derechos en la cuenca en cambio solo 3 corresponden a derechos no consuntivos. De todos los derechos presentes; 678 poseen caudales anuales inferiores a 10 L/s, 201 corresponden a caudales entre 50 y 11 L/s; 39 son entre 150 y 51 L/s. Sin embargo, lo anterior ha sido condicionado debido a los decretos de escasez hídrica que van en aumento en la zona central de Chile (véase **Tabla 19**), decretos que obligan a redistribuir las aguas entre todos los

usuarios de cuenca priorizando el consumo humano y el saneamiento o el uso doméstico de subsistencia (Declara zona de escasez hídrica a las provincias de Valparaíso, San Felipe de Aconcagua, Los Andes, Marga Marga y Quillota, Región de Valparaíso y deroga decreto M.O.P. N°66, de 24 marzo de 2022., 2022). A pesar de los datos mencionados anteriormente, no se esclarecer una relación directa entre los derechos de agua y sus efectos en el humedal de Tunquén, pero se infiere que la tendencia a la reducción de las precipitaciones en la zona influye en la disponibilidad del recurso hídrico, por ende, la necesidad de establecer decretos de escasez hídrica. Si bien en el código de aguas se establece un caudal ecológico o mínimos para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas, los antiguos derechos no tienen esa limitación, los cuales siempre se podrán ejercer por sus titulares, solo basta la existencia de caudales de aguas, por mínimos que estos sean (Peillard, 2016). En caso de alterarse el sistema hidrológico que llega al humedal, este entrará en degradación ya que afectará en la profundidad del cuerpo de agua y aumentará la concentración de nutrientes causados por la reducción del caudal de entrada, limitando el sistema ecológico y causando un estrés a las especies nativas o dependientes del humedal a raíz que también aumentará la salinidad en este ecosistema (Sandoval et al., 2019).

Tabla 19: Historial de decretos de escasez hídrica en la comuna de Casablanca

| Fecha | Caducidad | Aplicación |
|------------|------------|-------------------------|
| 11-10-2013 | 11-04-2014 | Comuna de Casablanca |
| 22-02-2017 | 22-08-2017 | Comuna de Casablanca |
| 20-08-2019 | 20-02-2020 | Provincia de Valparaíso |
| 21-02-2020 | 21-08-2020 | Provincia de Valparaíso |
| 27-08-2020 | 21-02-2021 | Provincia de Valparaíso |
| 28-02-2021 | 28-08-2021 | Provincia de Valparaíso |
| 25-08-2021 | 01-03-2022 | Provincia de Valparaíso |
| 04-03-2022 | 01-09-2022 | Provincia de Valparaíso |

Fuente: DGA, 2022

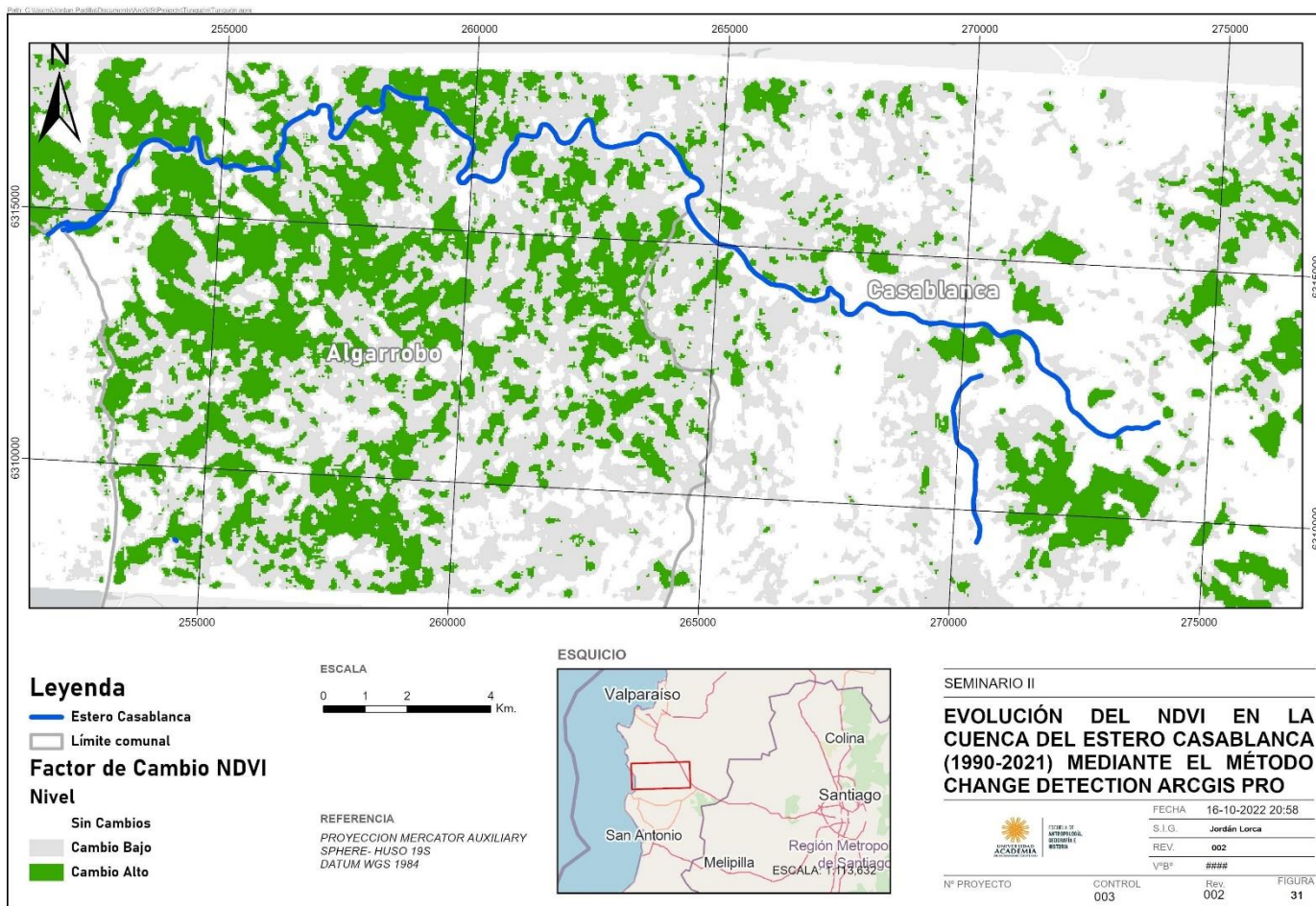
5.3. Uso del suelo a lo largo del tiempo

Objetivo Especifico correspondiente:

Identificar la variación de uso de suelos en las zonas adyacentes al humedal de Tunquén desde 1990 hasta el 2021 en relación al cambio de la cobertura de suelo.

Se ha identificado cambios en el uso de suelo en la cuenca del Estero Casablanca, entre las variaciones detectadas con las técnicas de Change detection (ver Figura 31) se encuentran las zonas con bosque Renoval, plantaciones y zonas de rotación de cultivos el cual también se evidencia mediante el NDBI (véase Anexo 6).

Figura 31: Evolución del NDVI en la cuenca del Estero Casablanca mediante Change Detection ArcGis Pro



Fuente: Elaboración propia

No solo la cubierta ha cambiado a lo largo de los años en la cuenca del Estero Casablanca, los cultivos han sido reemplazados por otros, junto a la expansión de los mismos. Como se muestra en la **Tabla 20**, en la comuna de Casablanca las plantaciones con mayor extensión fueron el Manzano Rojo y el Manzano Verde (*Malus domestica*) los cuales han sido reemplazados por el Nogal (*Juglans regia L.*) que actualmente ocupa 191, 9 hectáreas.

Tabla 20: Especies plantadas en la comuna de Casablanca

| Especie/año | 2002 | 2008 | 2014 | 2017 | 2020 |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Manzano Verde | 92.38 | 70.07 | 41.90 | 47.40 | 26.71 |
| Manzano Rojo | 89.41 | 35.55 | 130.60 | 102.40 | 116.88 |
| Peral | 44.23 | 18.96 | 25.00 | 24.60 | 23.23 |
| Almendro | 28.30 | 42.21 | 44.60 | 39.50 | 22.71 |
| Palto | 25.85 | 17.21 | 5.20 | 5.00 | 1.58 |
| Nogal | 11.11 | 20.82 | 65.40 | 166.80 | 191.91 |
| Limonero | 7.11 | 3.78 | 1.80 | 0.60 | - |
| Membrillo | 5.11 | 2.30 | 7.50 | 20.10 | 17.53 |
| Arándano A. | 4.38 | 32.18 | 22.90 | 27.70 | 39.15 |
| Olivo | - | 61.11 | 74.50 | 82.00 | 83.88 |
| Ciruelo europeo | - | 14.42 | 10.40 | 23.40 | 22.60 |
| Duraznero | - | 1.52 | - | - | - |
| Nectarino | - | 1.17 | - | - | 4.05 |
| Frambuesa y frutilla | 5.24 | 0.80 | - | - | - |
| Mandarino | - | 0.36 | - | 0.20 | - |
| Mora e hidrídos | - | 0.19 | - | - | - |
| Cerezo | - | - | 0.90 | 0.70 | 11.30 |
| Tuna | - | - | - | 0.20 | - |
| Pistacho | - | - | 7.50 | - | - |
| Damasco | 1.29 | - | - | - | - |
| Naranja | 1.68 | - | - | - | - |
| Total | 316.09 | 322.65 | 438.20 | 540.60 | 561.53 |

Fuente: De (CIREN-ODEPA, 2020)

Se estima que estas plantaciones bajo ciertas condiciones climáticas pueden variar el consumo de agua, en el caso del Nogal en general se requieren 10.390 m³/ha/año⁷ que tiene una pequeña diferencia en el consumo con los subtipos de manzanos que necesitan 9.723

⁷ Estimación basada en el estudio de Zúñiga (2013) considerando la evapotranspiración de la comuna de San Bernardo, Región Metropolitana.

m³/ha/año⁸. Mientras que el Olivo (*Olea europaea L.*) requiere un mayor consumo de agua, se estima que varía entre 10.440 y 12.500 m³/ha/año⁹. El cambio de plantaciones no es un fenómeno exclusivo de esta comuna, sino que es una tendencia que está dando en otras regiones principalmente por motivos económicos debido a los altos subsidios estatales sobre todo en el rubro forestal incentivando que los terrenos agrícolas se transformen para el uso forestal. Como ocurre en otras regiones como en la provincia de Arauco las plantaciones principalmente las forestales hacen uso mayoritariamente de áreas desprovistas de vegetación y terrenos agrícolas (Díaz et al., 2018), pero en la comuna de Casablanca no se cumple debido a las pocas zonas desprovistas de vegetación en el año 2001 (véase anexo 5) y que contrasta con el año 2016 (véase anexo 6), que además presentó una mayor extensión de los terrenos agrícolas de tipo de rotación de cultivos. Las implicancias que genera el cambio de uso de suelo descontrolado en la cuenca del Estero Casablanca sobre el humedal radican principalmente sobre el aporte de caudal del estero ya que algunos estudios de (Paruelo & Guerschman, 2005), (Lopez et al., 2021) y (Smith Guerra & Romero Aravena, 2009) sugieren que la afectación principal es el aporte de nutrientes producto de la actividad agricultora aguas arriba en donde el uso de productos agroquímicos ayuda a la proliferación de algas y que junto al crecimiento urbano (o periurbano) causa una mayor demanda de agua causando una presión sobre el estero. Y que a escala local genera impactos en el humedal producto de la densificación urbana provocará una impermeabilización del suelo a lo largo del tiempo.

Se detectó un crecimiento urbano (o periurbano) en 14 años en la localidad de Tunquén ligada principalmente al sector La Boca, ubicada al norte del humedal que presentaba pequeñas parcelaciones desde mediados de los 2000 y que ha crecido exponencialmente al igual que sector Condominio Campo Mar al sur del campo dunar, cuya extensión ha significado la destrucción de matorrales y concentraciones de bosque esclerófilo. En tanto el sector conocido como Bosque Mar de Tunquén ubicada Este del campo dunar y al costado de la ruta F-818 es relativamente nueva y conlleva a la destrucción de bosque esclerófilo y pequeños matorrales. Sin duda, la localidad se está transformado en un atractivo para la

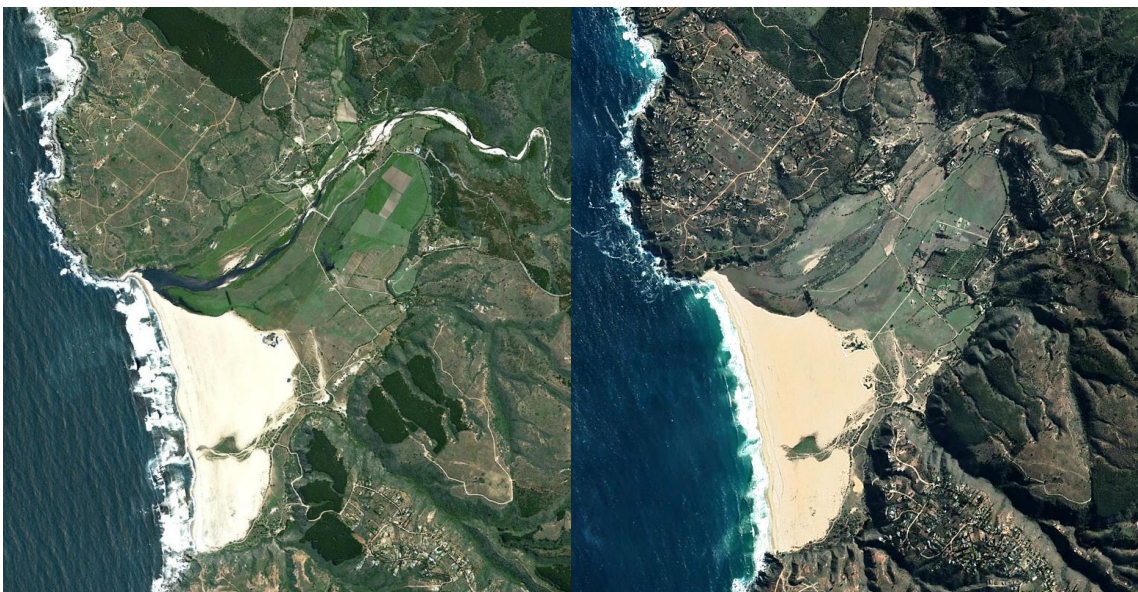
⁸ Obtenida de Zúñiga (2013), considera la Evapotranspiración de la comuna de Til Til, Región Metropolitana.

⁹ Información basada en Antúnez et al. (2014) con datos de evapotranspiración de la localidad de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

inversión inmobiliaria en búsqueda de entornos naturales como lo es Tunkuén, muestra de esto son las parcelaciones que se están llevando a cabo al sur del campo dunar, sector caracterizado por ser un área de nidificación que también se ubican dos humedales estacionales Quebrada Seca y Laguna Seca los cuales se inundan por las lluvias y el ingreso de marejadas en invierno.

Actualmente existe una denuncia de los residentes cual se acusa que la inmobiliaria Santa Augusta de Quintay, ubicada a unos 10 kilómetros aproximadamente de Tunkuén, de extraer agua “de forma excesiva” del Estero Casablanca y ser responsable del episodio de mortandad de peces en el humedal en el 2020, hasta la fecha no se ha encontrado registro de denuncias de este tipo solo una infracción por extracción ilegal de aguas y en el área de estudio por parte de otras entidades existen 3 denuncias resueltas de obras sin autorización y 1 por extracción ilegal de aguas (DGA, 2022).

Figura 32: Comparación de la localidad de Tunkuén en 2009 (a la izquierda) y 2022 (a la derecha).



Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones y discusiones

Los datos presentados en esta investigación plantean un acercamiento sobre la situación actual del humedal, considerando las variables tratadas acá, a pesar de ello puede que no sean suficientes para explicar en profundidad el estado actual del humedal debido a la naturaleza transversal de esta investigación. Sin embargo, esto ayuda a comprender sobre qué variables ya sea medioambientales o antrópicos pueden estar influyendo en el ecosistema, aportando en el desarrollo investigativo del humedal de Tunquén.

Pese a lo anterior, se destacan algunos de los hallazgos más relevantes del objetivo específico I, fue la distribución de salinidad en el humedal el cual muestra una ligera tendencia al disminuir los valores al acercarse a la zona de inundación del Estero Casablanca y con respecto al valor de pH en el sector del Estero Casablanca que puede ser un indicador de degradación del humedal. Lo recolectado en el terreno mediante levantamiento fotográfico revela una propensión de la dirección del viento en la zona oeste del humedal que genera el movimientos de las aguas en ciertas direcciones uniformes que responde a los modelos computaciones de distribución salina de (Acary-Robert et al., 2016). Sin embargo, es necesario llevar un análisis más exhaustivo incorporando otras variables medidas por periodos para obtener una base de datos que permita llevar un seguimiento de las propiedades fisicoquímicas del humedal para evidenciar las variabilidades a lo largo del tiempo.

En materia de vegetación, se debe tomar atención en las especies alóctonas tratadas acá, debido los potenciales efectos negativos en el entorno para ello es necesario establecer medidas de control de este tipo de especies y tener un especial cuidado en la expansión de la misma más allá de los límites del humedal y evitar que afecten las zonas de cultivo. Acá también surgen posibilidades de investigación con algunas de las especies mencionadas y sus efectos, no solo se debe considerar a la flora y fauna, sino que, también a los microorganismos que están presentes en el humedal como el caso del *Pandoravirus Salinus* descubierto en el 2013, que se aloja en los sedimentos al interior del humedal de Tunquén y que los escasos estudios plantean que estos tipos de virus gigantes tienen la capacidad de controlar las floraciones de algas causantes de la eutroficación (Echeverría et al., 2020).

En el objetivo específico II, las imágenes satelitales revelaron ciertas tendencias en la vegetación las cuales muestran una predominancia de la vegetación sana o frondosa a lo largo

del tiempo cuyo análisis estableció variables que se relacionan con los índices NDVI e NDWI, como lo fue la evapotranspiración, la cual se correlaciona de mejor manera con ambos índices, sin duda, esta variable queda abierta a ser investigada en futuras investigaciones.

Los hallazgos del objetivo III demostraron que las modificaciones en la cobertura vegetal y del suelo en la cuenca del Estero Casablanca, principalmente concentrado en las afueras del centro urbano de Casablanca y adyacentes al estero hasta la desembocadura del mismo, cabe mencionar que estos cambios modifican la estructura del suelo como también las necesidades de agua dependiendo la plantación. Se identificaron distintos tipos de cultivos con consumos de aguas diferentes, en algunos casos se reemplazaron plantaciones por otras que requerían un menor consumo pero que a su vez aumentó su extensión. A nivel local cada vez más se está poblando la zona por lo que los conflictos ambientales se acrecentarán en la zona con la llegada de inversiones inmobiliarias en la zona, como actualmente sucede con las parcelaciones en el campo dunar sur impactando en las áreas de nidificación de las aves migratorias.

Se destaca en esta investigación el uso de drones y de las imágenes satelitales, que en el caso del primero representan un gran aporte en la identificación de la vegetación y comprensión en la extensión de ciertas especies vegetales. Estas aeronaves pueden ser aprovechados en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica como lo demostrado en esta investigación, logrando excelentes resultados a bajo coste y en condiciones óptimas de operabilidad. Mientras que el uso de imágenes satelitales con los respectivos índices representa una gran utilidad para el análisis hidrológico y de vegetación a lo largo del tiempo que los convierten una herramienta activa para estudiar ecosistemas acuáticos y comprender sus dinámicas.

Finalmente, el objetivo de esta investigación fue esclarecer la evolución medioambiental del humedal y demostrar posibles degradaciones a este ecosistema, sin embargo, considerando las variables analizadas a lo largo de este estudio, no se pudo demostrar una causa antrópica directa a pesar del masivo cambio de uso del suelo que experimenta la cuenca que lo alimenta ni la expansión urbana en la localidad; no obstante, existe evidencia de eutrofización y tal como se mencionó anteriormente, el análisis de NDVI arrojó una estabilidad que puede ser

asociada a la evapotranspiración del humedal. En ese sentido, los resultados de esta investigación no son concluyentes y se hace necesario abordar otras variables para comprender el fenómeno a plenitud.

En conclusión, con los hallazgos presentados, el humedal está teniendo dinámicas que influyen en la migración de un sistema acuático a uno terrestre, es decir, que en ciertas zonas del área de estudio presentan procesos eutróficos que van en aumento y que insta de medidas urgentes para poder remediarlo para evitar perder uno de los principales humedales que es parte de la red ecosistemas acuáticos del litoral central. Sin embargo, el alcance de las otras ciencias es vital para un correcto diagnóstico y proyección a futuro de estos ecosistemas por lo que se hace menester aumentar el conocimiento en estas áreas y concientizar a la población de la fragilidad de estos sistemas que albergan una gran biodiversidad. La educación con respecto a estas áreas de importancia biológica es necesaria para evitar los distintos casos de agresión que ha tenido el humedal en los últimos años, que gracias a las denuncias impuestas fundaciones ambientales de la zona y los residentes sirven para visibilizar las demandas locales en torno a los ecosistemas del litoral central.

7. Referencias

- Abarca, F. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros sistemas acuáticos. *Instituto Nacional de Ecología*, 113-144.
- Acary-Robert, C., Dagnas, L., & Rousseau, A. (2016). *Modelling and simulation of coastal lagoons Application to the Tunquen lagoon, Chilean pacific coast* [Report, USMB ; INRIA Sophia-Antipolis]. <https://hal.univ-smb.fr/hal-01921054>
- Alegría, C., & Lillo, C. (2000). *Protección legal de los humedales altoandinos (Vegas y Bofedales) en Chile*. 8.
- Andrade, R., Hott, M., Junior, W., Doliveira, P., & Oliveira, J. (2019). Monitoring of Corn Growth Stages by UAV Platform Sensors. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6, 54-58. <https://doi.org/10.22161/ijaers.69.5>
- Antúnez, A., Cajías, E., Felipe, L., & González, M. (2014). *Riego y producción de olivos en el Valle de Azapa* (INIA Ururi, Vol. 292). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7743/NR39750.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Archontoulis, S. V., Struik, P., Vos, J., & Danalatos, N. (2010). Phenological growth stages of *Cynara cardunculus*: Codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 156 (2010) 2, 156. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00384.x>
- Proyecto de ley, iniciado en mensaje de S.E. la presidenta de la República, que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas., S.E, 9.404-12 67 (2014).
- Baessler, C., & Klotz, S. (2006). Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1), 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.007>

- Bödinger, C. (2019). *Remote Sensing of Vegetation. Along a Latitudinal Gradient in Chile* (1st Edition). Springer Spektrum.
- Cantillan, R., & Herrera, J. (2020). Centralidad de actores y bloques en las redes organizativas de movilización en el conflicto por el Plan Regulador Comunal de Peñalolén 2011. *EURE (Santiago)*, 46, 25-46.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (s. f.). *Productos grillados del Cr2* [Meteorológico]. <https://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>
- Centro de Ecología Aplicada. (2006). *Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales* (p. 81) [Informe Técnico]. Servicio Agrícola y Ganadero. <https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/GUIAV67JUNIO2007.pdf>
- Cetina, N. (2017). *Generación de curvas espectrales de vegetación, suelo y agua, a partir del análisis de imágenes multiespectrales como herramienta indirecta de evaluación del estado del humedal «El Ocho» y paramo de letras* [Tesis de grado, Universidad Católica de Manizales]. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2009/1/Nicol%20Andrea%20Cetina.pdf>
- CIREN-ODEPA. (2020). *Principales Resultados Catastro Frutícola. Región de Valparaíso* (Catastro N.º 5; p. 50). MINAGRI.
- CONABIO. (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/221005/Cynara_cardunculus.pdf
- CONAF & Universidad de Chile. (2016). *Manual para el establecimiento de programas de monitoreo en humedales. Insertos en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado de Chile* (C. Zamorano, M. de la Maza, & M. López, Eds.; Primera edición).
- Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas, Pub. L. No. 17.288, Título VII 31 (1970).
- Contreras Silva, A. (2014). *Análisis de cambios en los humedales del sistema Lagunar Catanzajá, mediante imágenes satelitales: Hacia el monitoreo de humedales de la región Usumacinta, México* (Investigación N.º 01; p. 30). Centro Público de Investigación CONACYT.

- Corporación Nacional Forestal. (2011). *Informe sobre la Conmemoración del Día Mundial de los Humedales realizada por la Corporación Nacional Forestal, año 2011* (p. 47). Conaf.
- Correa, A. (2016). Gobernanza de las áreas protegidas y su necesaria incorporación en la Ley que crea el Servicio de Biodiversidad. *Revista de Derecho Ambiental*, 6, 224-239.
- Cossio, H. (2021, abril 20). La agonía seca de Quintay: Inmobiliaria Santa Augusta concentra el 99 % de los derechos de agua mientras habitantes no tienen para beber. *elmostrador*, versión web.
- Dattwyler, R., Santana, D., & Arenas, F. (2016). ¿Utópolis o distópolis? Producción inmobiliaria y metropolización en el litoral central de Chile (1992-2012). *EURE. Revista latinoamericana de estudios urbano regionales*, 42, 27-54. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612016000200002>
- de Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., & Davidson, N. (2007). *Valoración de humedales. Lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales* (Informe Técnico Ramsar N.º 3; CDB, p. 58). Ramsar.
- De Ocampo, A. L., Bandala, A., & Dadios, E. (2019). *Estimation of Triangular Greenness Index for Unknown PeakWavelength Sensitivity of CMOS-acquired Crop Images* (p. 5). <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9072796>
- Desplanque, S. (2016). *Los humedales y su protección jurídica en Chile* [Memoria de grado]. Universidad de Chile.
- Diario Oficial de la República de Chile. (2015, enero 22). 13.
- Diario Oficial de la República de Chile. (2022, abril 21). *Declara Santuario de la Naturaleza Playa de Tunquén—Quebrada Seca*. 1-3.
- Díaz, G. V., Vázquez, V. S., & Machuca, M. Á. H. (2018). Análisis del cambio temporal y espacial del uso del suelo en la región centro-sur de Chile. *Ciência Florestal*, 28(4), Art. 4. <https://doi.org/10.5902/1980509835342>

Dirección General de Aguas. (1981, octubre 29). Fija texto del Código de Aguas. *Diario Oficial de Chile*, 65.

Identifica y delimita las zonas que corresponden a acuíferos que alimentan áreas de vegas y de los llamados bofedales en las regiones de Tarapacá y de Antofagasta, n.º Resolución 909 (1996).
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=60677>

DGA. (2022). Fiscalizaciones DGA 2018 - 2022 [mapa].
<https://sitministerial.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=0d55135a4ac445fb82f0359362d06371>

Dirección General de Aguas. (2007). *Manual de normas y procedimientos del departamento de conservación y protección de recursos hídricos* (Informe metodológico N.º 132; p. 182).
Dirección General de Aguas.

Declara zona de escasez hídrica a las provincias de Valparaíso, San Felipe de Aconcagua, Los Andes, Marga Marga y Quillota, Región de Valparaíso y deroga decreto M.O.P. N.º 66, de 24 marzo de 2022., 149 18 (2022).
https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Documents/DTR_149_2022.pdf

Echeverría, S., Ramírez, T., Melida, R., & Humberto, M. (2020). Virus gigantes y su impacto a nivel ambiental. *Biociencias - Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca*, 1, 31.

Edáfica. (2020). *Inventario de humedales urbanos y actualización del catastro nacional* (Informe Técnico REV-B; p. 207). https://gefhumedales.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/07/Inventario-de-humedales-urbanos-y-actualizacion-catastro-nacional-humedales_Edafica.pdf

Eng, L., Ismail, R., Hashim, W., & Baharum, A. (2019). The Use of VARI, GLI, and VGreen Formulas in Detecting Vegetation In aerial Images. *International Journal of Technology*, 10, 1385. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i7.3275>

- Escobedo, V. (2016). *Eschscholzia californica* (pp. 64-65).
- Esri. (s. f.). *Función Tasseled Cap* [Sitio de ayuda]. Funciones de análisis de Arcgis Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.8/help/analysis/raster-functions/tasseled-cap-function.htm>
- Faccio, C. (2010). *Evaluación de la variación espacio temporal de la producción de biomasa en humedales mediante el uso de sensores remotos: Santa Teresa—Rocha, Uruguay* [Tesis de grado, Universidad de la República]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1623/1/uy24-14571.pdf>
- Fundación Terram. (2005). Áreas Protegidas Privadas en Chile. *Terram*, 28.
- García, I. (2011). *La Fotosíntesis en las Plantas Acuáticas: Generalidades y Adaptaciones*. <https://aguascanarias.wordpress.com/2011/08/20/la-fotosinesis-en-la-plantas-acuaticas-generalidades-y-adaptaciones/>
- González, R., & Rojas, A. (2014). La relevancia evolutiva de los ecotipos. *Elementos*, 95, 49-54.
- Hernández, R., Fernández, C., & Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A.
- Instituto Libertad. (2018). *La protección de las Humedades en Chile y en la legislación internacional*.
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., Bozelli, R. L., Esteves, F. de A., Nunes da Cunha, C., & Maltchik, L. (2014). Brazilian wetlands: Their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: marine and freshwater ecosystems*, 24(1), 5-22.
- Kshetri, T. (2018, septiembre 30). NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8 [LinkedIn]. *Artículo publicado en LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri/>
- Kulawardhana, R., Thenkabail, P., Vithanage, J., Biradar, C., Islam, A., M., Gunasinghe, S., & Alankara, R. (2007). Evaluation of the Wetland Mapping Methods using Landsat ETM+ and SRTM Data. *Journal of Spatial Hydrology*, 7.

- Lefebvre, H. (1969). *El derecho a la ciudad*. Península.
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th edition). Wiley.
- Lopez, Z. M. S., Millones, L., & Ordoñez, J. (2021). Evaluación del cambio de uso de suelo en un humedal relicto de la costa peruana. *South Sustainability*, 2(1), Art. 1. <https://doi.org/10.21142/SS-0201-2021-e027>
- Lucero, C. (2022, marzo 31). *Ecosistema de Tunquén en la lucha contra las inmobiliarias*. (P. Salinas) [Fundación Tunquén Sustentable]. Página de inicio de la fundación al 16-04-22. <https://www.fundaciontunquensustentable.cl/>
- Luna, Á., & Morales, H. (2018). *Especificaciones Técnicas de la Transformación Tasseled Cap*. IDECOR. <https://www.idecor.gob.ar/wp-content/uploads/2018/09/Tasseled-Cap.pdf>
- Lv, J., Jiang, W., Wang, W., Wu, Z., Liu, Y., Wang, X., & Li, Z. (2019). Wetland loss Identification and Evaluation Based on Landscape and Remote Sensing Indices in Xiongan New Area. *Remote Sensing*, 11(23), 21. <https://doi.org/10.3390/rs11232834>
- Martínez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, XXXVIII, 16.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). *Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur* (p. 15). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. http://www.cona.cl/pub/libro_elnino/1maturana.pdf
- Ministerio de Agricultura & Corporación Nacional Forestal. (2010). *Ley sobre recuperación de bosque nativo y fomento forestal* (LEY NÚM. 20.283, p. 92) [Reglamento]. MINAGRI. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368741650LibroLey_Bosque_NativoReglamentos.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente. (2016). *Humedales Región de Valparaíso* (Inventario de los humedales presentes en la región de Valparaíso, p. 121). Seremi Medio Ambiente, Valparaíso.

<https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=OFICIOFISCALIZACIONRESPUESTA&prmID=83908&prmNUMERO=617&prmRTE=0>

Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos, Pub. L. No. 21.202 (2020). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1141461>

Ministerio de Medio Ambiente & Centro de Ecología Aplicada. (2011). *Diseño del inventario nacional de humedales y el seguimiento ambiental* (p. 164). MMA. <https://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/198/1/MMA.%20Dise%c3%b1o%20del%20Inventario%20Nacional%20de%20Humedales.pdf>

Convención para la Protección de la Flora, Fauna y las Bellezas Escénicas Naturales de América, firmado en Washington el 12 de Octubre de 1940, 531 Decreto 5 (1967). https://www.conaf.cl/cms/editorweb/transparencia/potestades/Dto-531_bellezas-nat.pdf

Promulga Convención relativas a las Zonas Húmedas de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de las Aves Acuáticas, suscrita en Ramsar, Irán el 2 de Febrero de 1971, Pub. L. No. 771, 4 (1981). <http://www.leychile.cl/N?i=15511&f=1981-11-11&p=>

Aprueba ley sobre bases generales de medio ambiente, Pub. L. No. 19.300, Artículo 35 (1994). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667&idParte=9705635&idVersion=2021-08-13>

Crea el ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente, Pub. L. No. 20.417 (2010). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1010459&idParte=8848125&idVersion=2010-01-26>

Mitsch, W., & Gosselink, J. (2007). *Wetlands* (Fourth Edition). Wiley.

Mitsch, W., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands* (Fifth edition). Wiley.

Moreta, J. (2008). *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Universidad Técnica del Norte.

- Noir, A., Bravo, S., & Abdala, R. (2002). Mecanismos de dispersión de algunas especies de leñosas nativas del Chaco Occidental y Serrano. *Quebracho - Revista de Ciencias Forestales*, 140-150.
- Novales, A. (2010). *Análisis de Regresión* (Departamento de Economía Cuantitativa Universidad Complutense). <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- Oltremari, J., & Martínez, Y. (2000). Caracterización de algunas variables asociadas a las áreas protegidas privadas en Chile. *Cien. Investig. Agr.*, 27(2), 67-80.
- Ormeño, S. (2006). *Teledetección fundamental* (Tercera edición). Universidad Politécnica. <http://pdi.topografia.upm.es/santi/descarga/FunTeled.PDF>
- Paruelo, J. M. (2008). La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos: *Ecosistemas*, 17(3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/83>
- Paruelo, J. M., & Guerschman, J. P. (2005). Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy*, 15(87), 10.
- Peillard, P. M. (2016). *Concepto, normativa asociada y críticas al establecimiento del Caudal Ecológico en Chile* (p. 14) [Asesoría Técnica]. Biblioteca del Congreso Nacional. <https://reformacodigodeaguas.carey.cl/wp-content/uploads/2016/06/informe-sobre-caudal-ecologico-de-la-biblioteca-del-congreso-nacional.pdf>
- Peña Vera, T., & Pirela Morillo, J. (2007). La complejidad del análisis documental. *Información, cultura y sociedad*, 16, 55-81. <https://doi.org/10.34096/ics.i16.869>
- Peña-Cortés, F., Gutiérrez, P., Rebolledo, G., Escalona, M., Hauenstein, E., Bertrán, C., Schlatter, R., & Tapia, J. (2006). Determinación del nivel de antropización de humedales como criterio para la planificación ecológica de la cuenca del lago Budi, IX Región de La Araucanía, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 75-91.

- Pérez-Fernández, M., & Gómez-Gutiérrez, J. M. (2003). *Importancia e interpretación de la latencia y germinación de semillas en ambientes naturales*. (pp. 87-112).
- Ramsar. (1971). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. *Normas Internacionales*, 7. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf
- Reina, L. F. (2018). *Firmas Espectrales*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23337.52326>
- Rizzo Associates Chile S.A. (2015). *Actualización de la modelación hidrogeológica e integrada de los acuíferos de la cuenca del Estero Casablanca* (Técnico Informe final; División de estudios y planificación, p. 285). Dirección General de Aguas. https://web.archive.org/web/20191220092922/http://documentos.dga.cl/SUB5548_Informe_Final_v1.pdf
- Rojas, K. (2018). *Metropolización sobre zonas costeras: Criterios de ordenamiento para la conservación de los sistemas ambientales* [Tesis de magister]. Universidad de Chile.
- Sabatini, F. (1997). Conflictos ambientales y desarrollo sustentable de las regiones urbanas. *Congreso Iberoamericano de Urbanismo*, 91.
- Sandoval, S., Garza, L., & Leal, O. (2019). *Estimación de Caudales Ecológicos para la Cuenca del Río Bravo* (p. 21) [Reporte]. UC Davis Water Management Lab - Pro Natura Noreste.
- Saravia, J. (2018). *Dinámica de cambios superficiales en humedales cordillera La Viuda—Perú, mediante índices espectrales y modelo digital de elevación, periodo 1985-2016* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63266/572978-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schilling, K., & Zessner, M. (2011). Foam in the aquatic environment. *Water Research*, 45(15), 4355-4366. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.004>

- Solicitud de autorización para la detención de funcionamiento de la faena extractiva de áridos de la empresa Sociedad de Transportes y Áridos Tulio Enrique Gutiérrez Strange E.I.R.L., Rol S-67-2019 689 (Segundo Tribunal Ambiental 2019).
- Sentencia segundo tribunal Ambiental de la República de Chile, 84-2015 238 (Segundo Tribunal Ambiental 2016). <https://www.tribunalambiental.cl/wp-content/uploads/2014/07/R-83-2015-30-03-2016-Sentencia.pdf>
- Shaw, S., & Fredline, G. (1956). *Wetlands of the United States* (N.º 39; p. 72). US Fish and Wildlife Service. <https://www.fws.gov/wetlands/documents/Wetlands-of-the-United-States-Their-Extent-and-Their-Value-to-Waterfowl-and-Other-Wildlife.pdf>
- Smith Guerra, P., & Romero Aravena, H. (2009). Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lenga. *Revista de geografía Norte Grande*, 43. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000200005>
- Tilly, C., Pedro, I., & Tarrow, S. (2005). *Dinámica de la contienda política*. Península.
- Tiner, R. (2017). *Wetland Indicators: A guide to Wetland formation, identification, delineation, classification, and mapping* (Second Edition, Vol. 2). CRC Press.
- Tiner, R., Lang, M., & Klemas, V. (2015). *Remote Sensing of Wetlands: Applications and Advances*. CRC Press.
- UICN. (2014). *Gobernanza de Áreas Protegidas: De la comprensión a la acción*. Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/pag-020-es.pdf>
- Vepraskas, M., & Craft, C. (2016). *Wetland Soils: Genesis, hidrology, landscapes and classification* (Second Edition). CRC Press.
- Walter, M. (2009). *Conflictos ambientales, socioambientales, ecológico distributivos, de contenido ambiental. Reflexionando sobre enfoques y definiciones* (Boletín n°6; p. 9). CIP-Ecosocial.

Wildlife Conservation Society Chile. (2019). *Humedales de Chile, 40 mil reservas de vida* (500.^a ed.).

Dibam.

Zunino, S., Aliaga, C., & Da Venezia, P. (2009). Comunidades de peces en desembocaduras de ríos y esteros de la Región de Valparaíso, Chile central. *Revista de biología marina y oceanografía*, 44, 123-130.

Zúñiga, M. (2013). *Consumo de agua por la planta de siete especies frutales producidas en Chile*

[Memoria de Título, Universidad de Chile].

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148777/Z%c3%ba%c3%bliga-%20Consumo%20de%20agua%20%282013%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. Anexos

Anexo 1: Sistema Ramsar para la clasificación de humedales

| Clase | Código | Humedal |
|------------------------------------|--------|---|
| Humedales Marinos y Costeros | A | Aguas marinas someras permanentes, en la mayoría de los casos de menos de seis metros de profundidad en marea baja; se incluyen bahías y estrechos. |
| | B | Lechos marinos submareales; se incluyen praderas de algas, praderas de pastos marinos, praderas marinas mixtas tropicales. |
| | C | Arrecifes de coral. |
| | D | Costas marinas rocosas; incluye islotes rocosos y acantilados |
| | E | Playas de arena o de guijarros; incluye barreras, bancos, cordones, puntas e islotes de arena; incluye sistemas y hondonales de dunas |
| | F | Estuarios; aguas permanentes de estuarios y sistemas estuarinos de deltas. |
| | G | Bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos (“saladillos”). |
| | H | Pantanos y esteros (zonas inundadas) intermareales; incluye marismas y zonas inundadas con agua salada, praderas halófilas, salitrales, zonas elevadas inundadas con agua salada, zonas de agua dulce y salobre inundadas por la marea. |
| | I | Humedales intermareales arbolados; incluye manglares, pantanos de “nipa”, bosques inundados o inundables mareales de agua dulce. |
| | J | Lagunas costeras salobres/saladas; lagunas de agua entre salobre y salada con por lo menos una relativamente angosta conexión al mar. |
| Humedales Continetales | K | Lagunas costeras de agua dulce; incluye lagunas deltaicas de agua dulce. |
| | Zk(a) | Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, marinos y costeros. |
| | L | Deltas interiores (permanentes) |
| | M | Ríos/arroyos permanentes; incluye cascadas y cataratas |

| | |
|----|---|
| N | Ríos/arroyos estacionales/intermitentes/irregulares. |
| O | Lagos permanentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye grandes madres viejas (meandros o brazos muertos de río). |
| P | Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye lagos en llanuras de inundación |
| Q | Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos |
| R | Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos. |
| Sp | Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos. |
| Ss | Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos. |
| Tp | Pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce; charcas (de menos de 8 ha), pantanos y esteros sobre suelos inorgánicos, con vegetación emergente en agua por lo menos durante la mayor parte del período de crecimiento. |
| Ts | Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos; incluye depresiones inundadas (lagunas de carga y recarga), “potholes”, praderas inundadas estacionalmente, pantanos de ciperáceas. |
| U | Turberas no arboladas; incluye turberas arbustivas o abiertas (“bog”), turberas de gramíneas o carrizo (“fen”), bofedales, turberas bajas. |
| Va | Humedales alpinos/de montaña; incluye praderas alpinas y de montaña, aguas estacionales originadas por el deshielo. |
| Vt | Humedales de la tundra; incluye charcas y aguas estacionales originadas por el deshielo. |
| W | Pantanos con vegetación arbustiva; incluye pantanos y esteros de agua dulce dominados por vegetación arbustiva, turberas arbustivas (“carr”), arbustales de <i>Alnus</i> sp; sobre suelos inorgánicos |
| Xf | Humedales boscosos de agua dulce; incluye bosques pantanosos de agua dulce, bosques inundados estacionalmente, pantanos arbolados; sobre suelos inorgánicos. |
| Xp | Turberas arboladas; bosques inundados turbosos. |

| | | |
|---------------------------|-------|---|
| | Y | Manantiales de agua dulce, oasis. |
| | Zg | Humedales geotérmicos. |
| | Zk(b) | Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos, continentales. |
| Humedales Artificiales | 1 | Estanques de acuicultura (por ej. estanques de peces y camaróneras). |
| | 2 | Estanques artificiales; incluye estanques de granjas, estanques pequeños (generalmente de menos de 8 ha). |
| | 3 | Tierras de regadío; incluye canales de regadío y arrozales. |
| | 4 | Tierras agrícolas inundadas estacionalmente; incluye praderas y pasturas inundadas utilizadas de manera intensiva. |
| | 5 | Zonas de explotación de sal; salinas artificiales, salineras, etc. |
| | 6 | Áreas de almacenamiento de agua; reservorios, diques, represas hidroeléctricas, estanques artificiales (generalmente de más de 8 ha). |
| | 7 | Excavaciones; canteras de arena y grava, piletas de residuos mineros |
| | 8 | Áreas de tratamiento de aguas servidas; “sewage farms”, piletas de sedimentación, piletas de oxidación. |
| | 9 | Canales de transportación y de drenaje, zanjas. |

Fuente: Ramsar, 1971

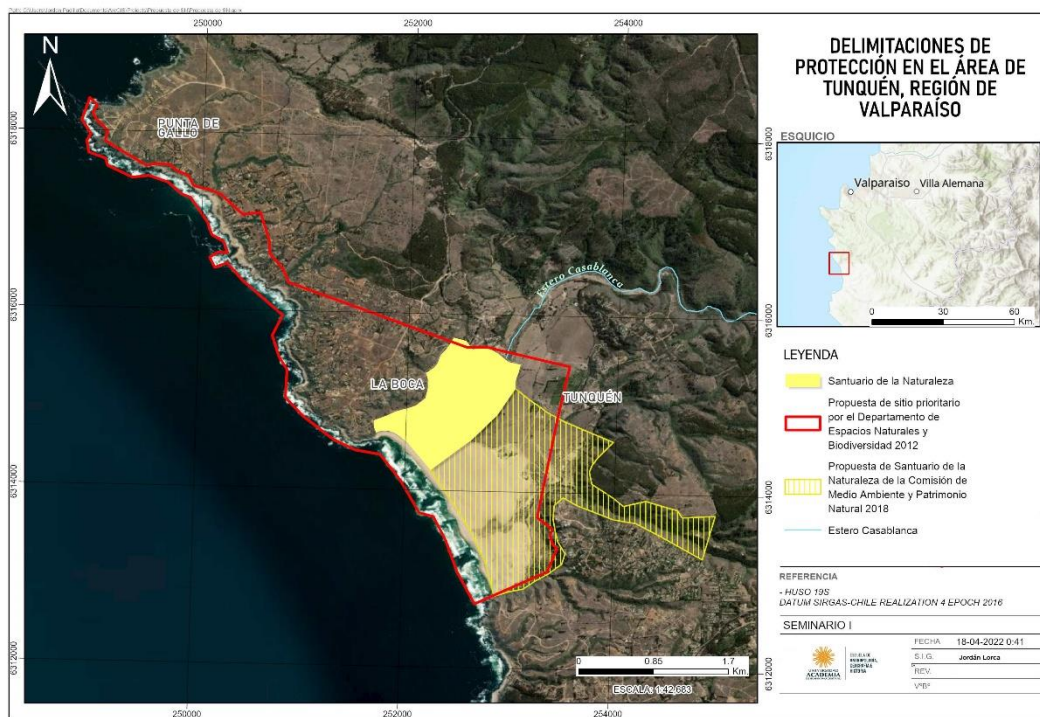
Anexo 2: Script en lenguaje javascript para la obtención de imágenes satelitales en la plataforma Google Earth Engine

```
var batch = require('users/fitoprincipe/geetools:batch');
var LS5= ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA')
.filterDate('1995-01-01','1995-12-30')
///.filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAJE', 'less_than', 0.2)
.filterBounds(geometry)
print('LS5', LS5)

// 5 export a GD
var clipImageCollection = function(ic, geom){
  return ic.map(function(image){return ee.Image(image).clip(geom)})
}
var clipmosaic = clipImageCollection(LS5, geometry);
print('clipmosaic', clipmosaic)
var options= {scale: 30,
name: '{system_date}',
}
batch.Download.ImageCollection.toDrive(clipmosaic,'Crudeimg', options)
```

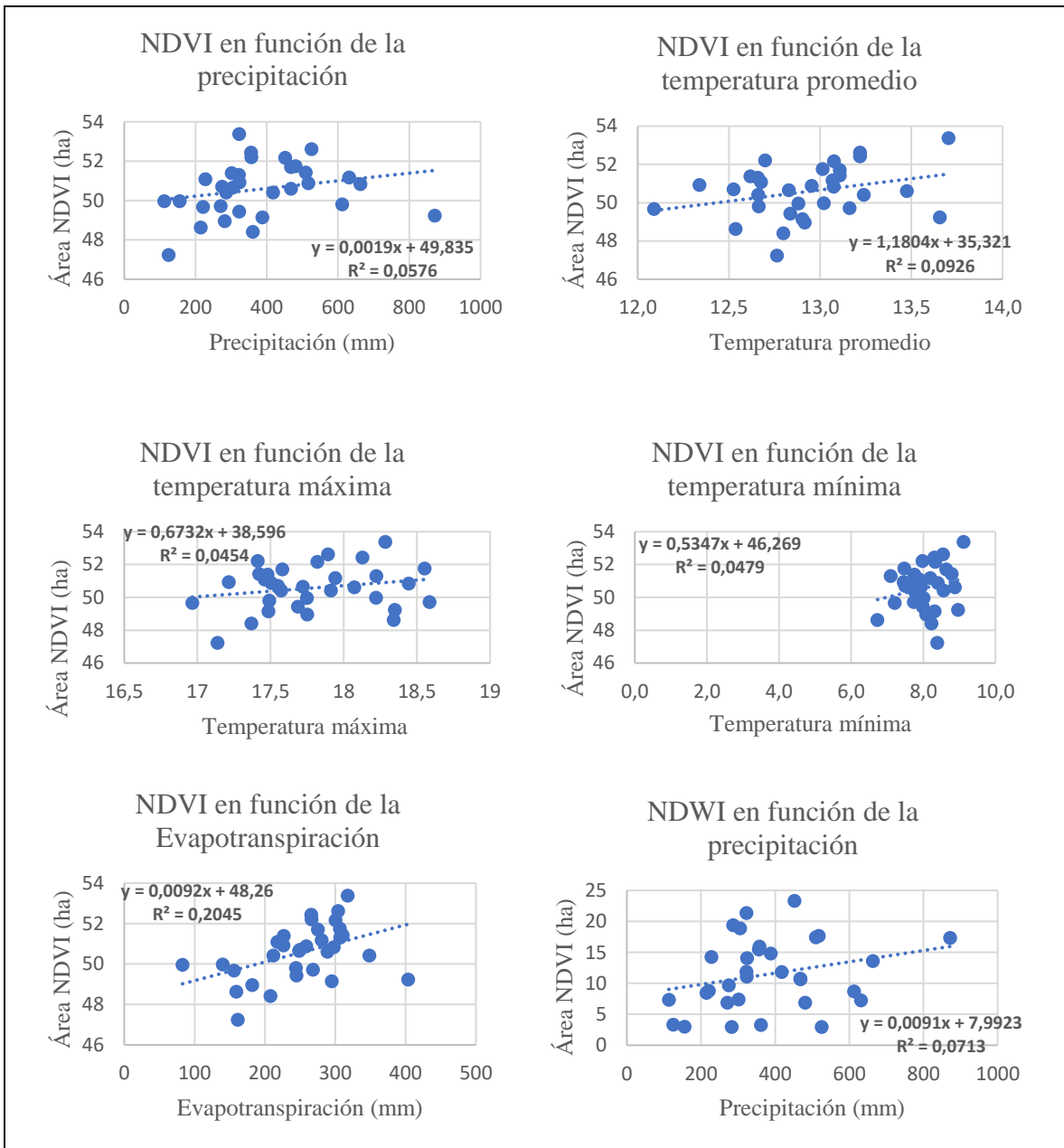
Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Delimitaciones de protección propuestas para el área de Túnguén de los años 2012 y 2018



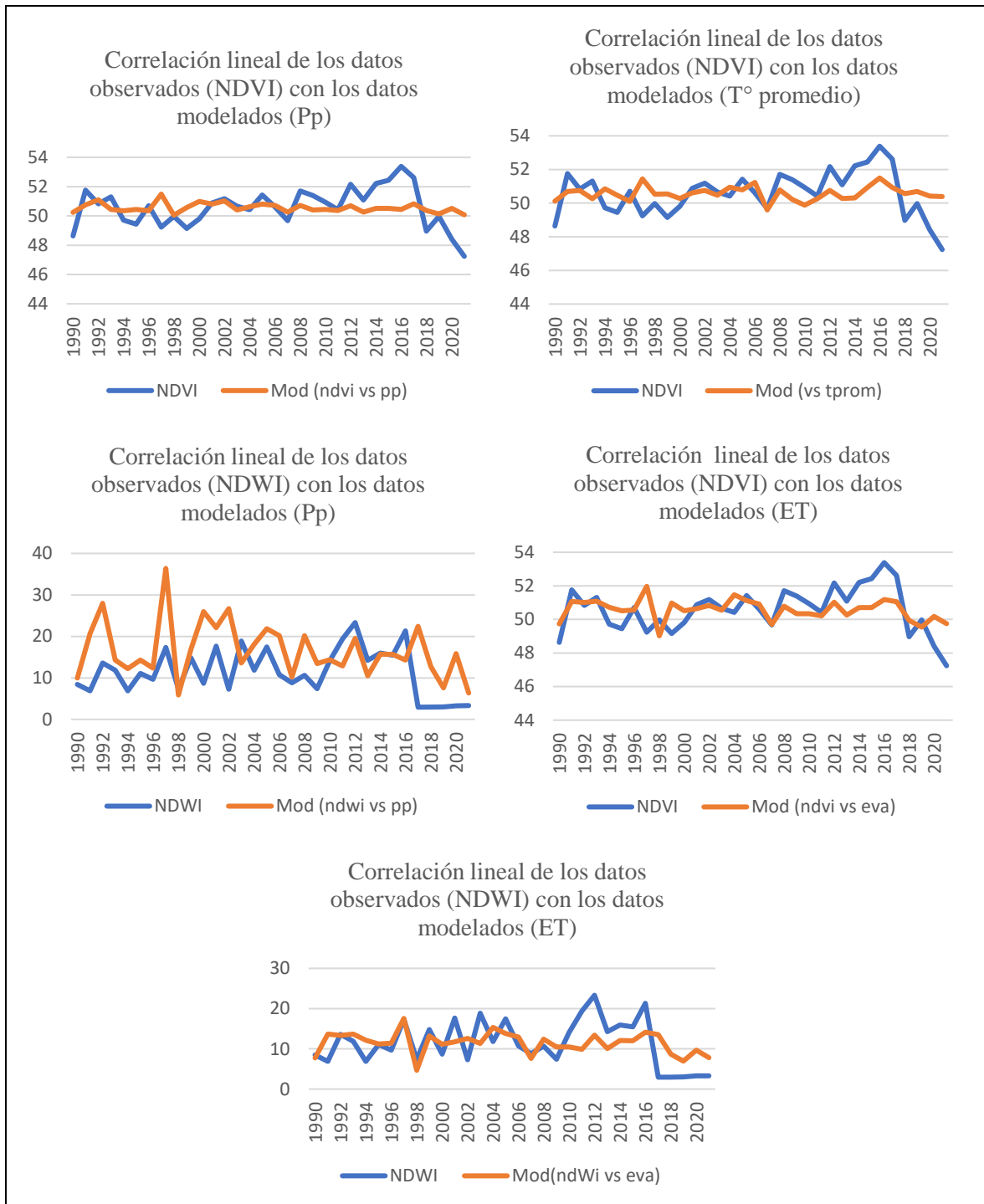
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Compilación de gráficos utilizados en la correlación de determinación



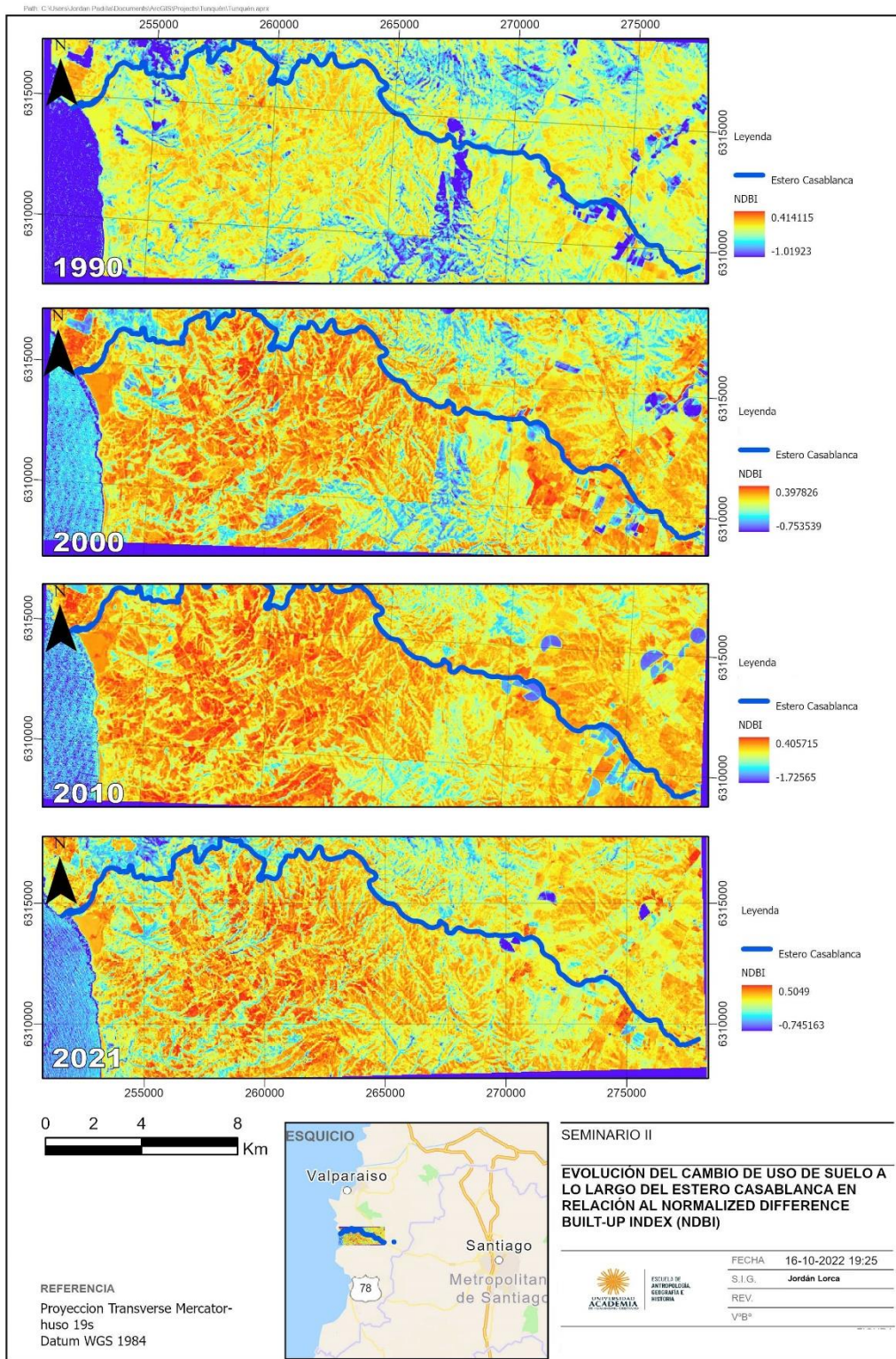
Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Correlaciones de los datos observados y las variables modeladas



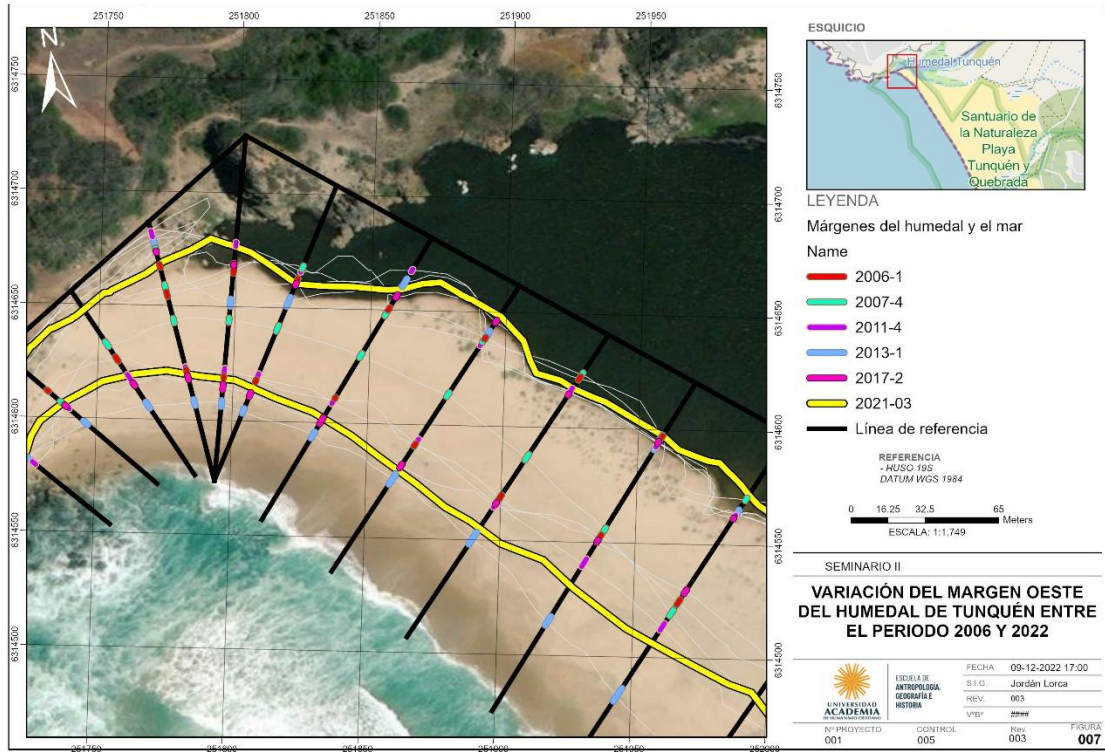
Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Evolución de la cuenca del Estero Casablanca basado en el NDBI

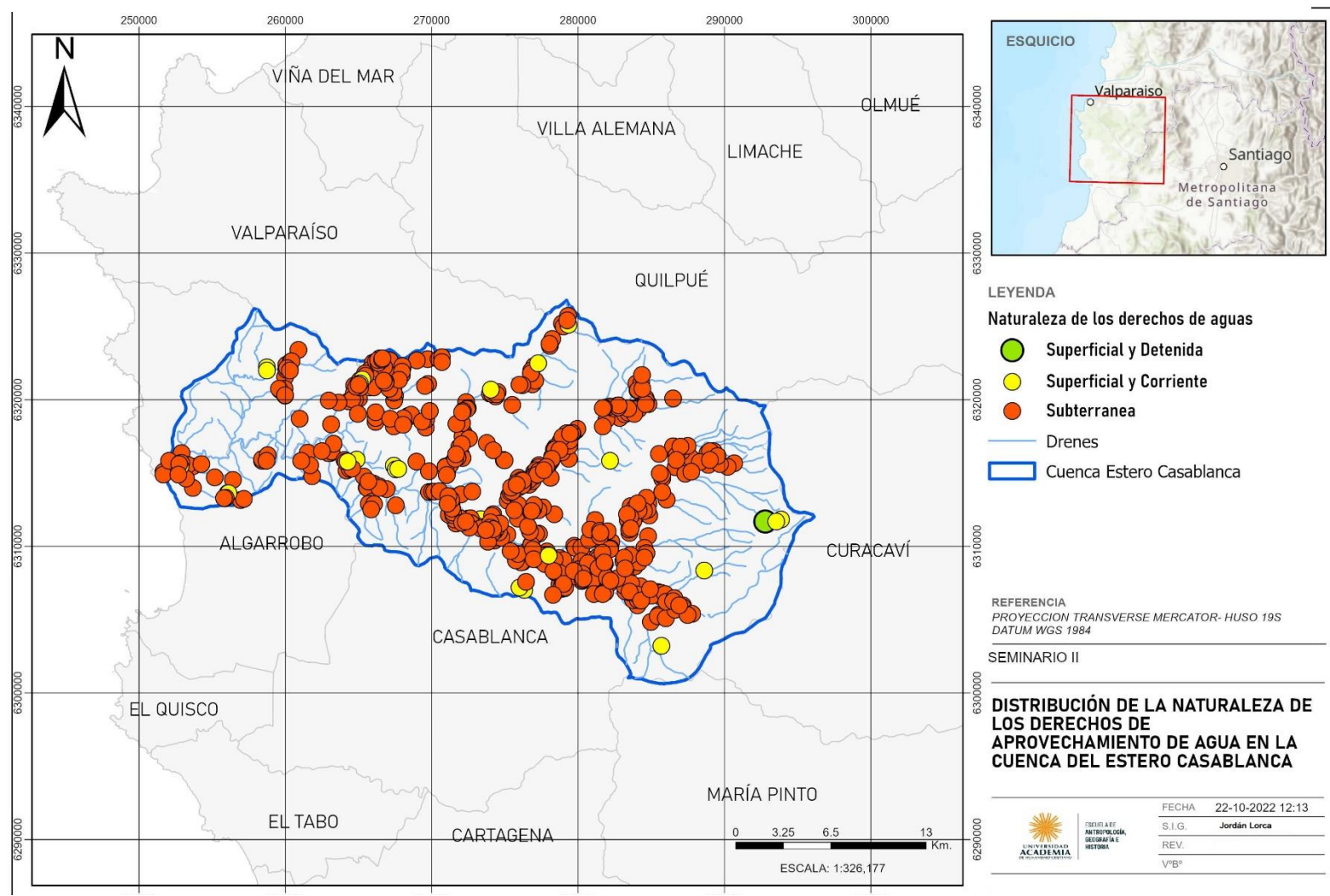


Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: Variación del margen Oeste del humedal de Tunquén entre los periodos 2006 y 2022

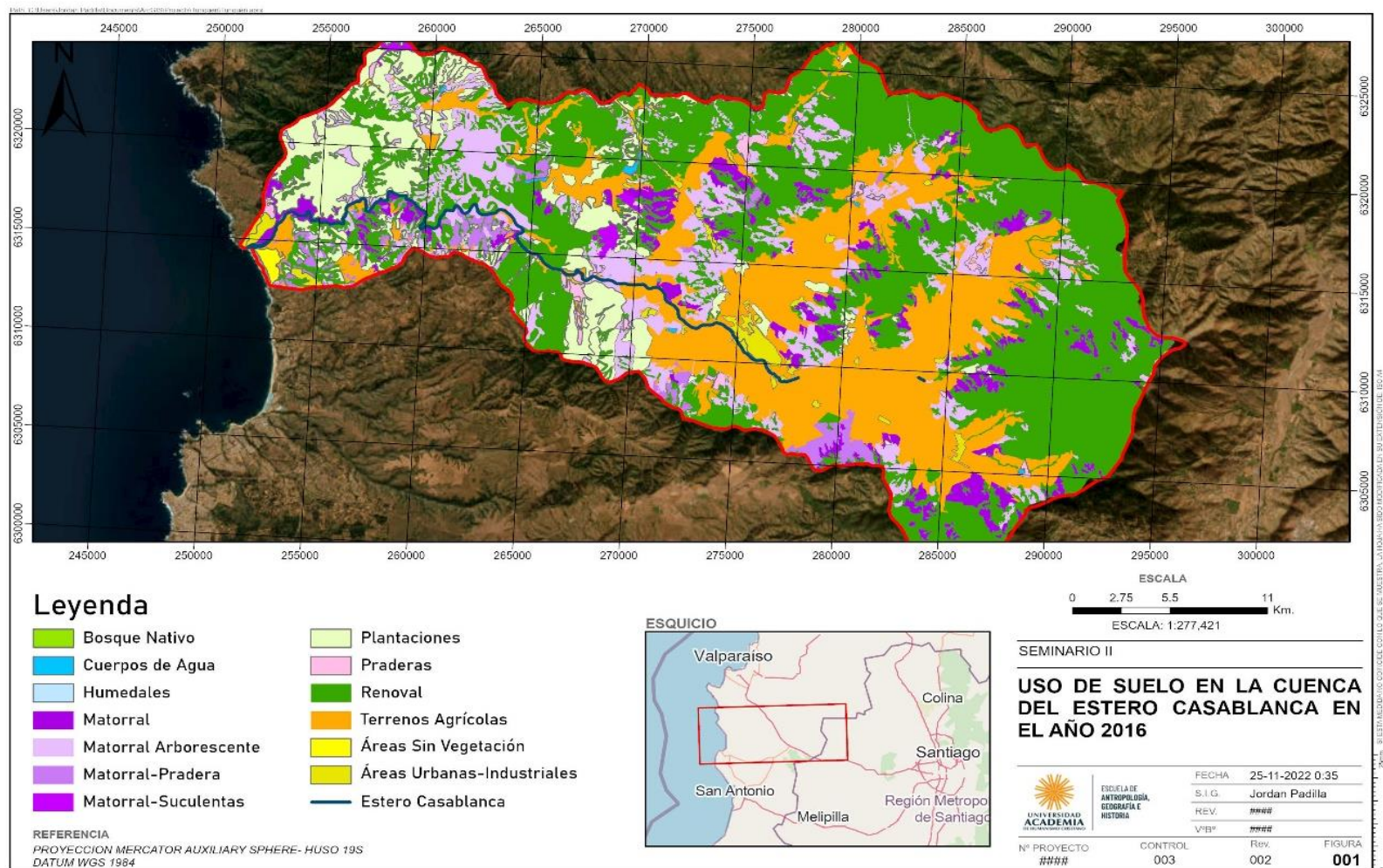


Anexo 8: Distribución de la naturaleza de los derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca del Estero Casablanca



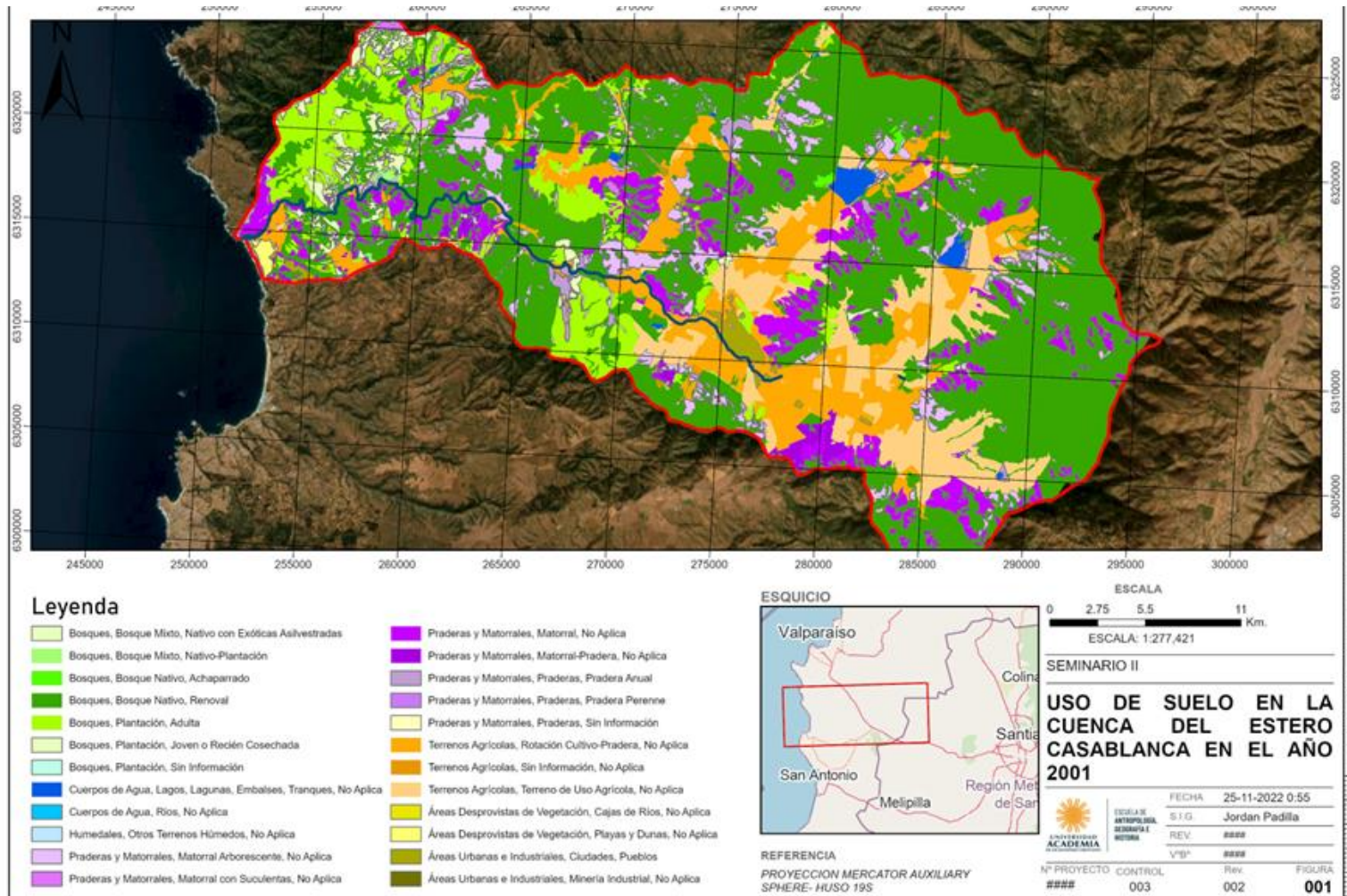
Fuente: Adaptado de DGA (2022)

Anexo 9: Cartografía del uso del suelo en la cuenca del Estero Casablanca en el año 2016



Fuente: Adaptado de IDE-MINAGRI (2022)

Anexo 10: Cartografía del uso del suelo en la cuenca del Estero Casablanca en el año 2001



Fuente: Adaptado de IDE-MINAGRI (2022)