



CARRERA DE
GEOGRAFÍA
ESCUELA DE
ANTROPOLOGÍA,
GEOGRAFÍA E HISTORIA

UNIVERSIDAD ACADEMIA HUMANISMO CRISTIANO.
ESCUELA DE ANTROPOLOGÍA, GEOGRAFÍA E HISTORIA.

VARIACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL FRENTE A PROCESOS URBANOS Y
DE CONTAMINACIÓN ENTRE LOS AÑOS 1991-2021 EN EL SANTUARIO DE LA
NATURALEZA LAGUNA EL PERAL.

Estudiante: Román Cabrera, Oscar
Profesores guías: Dra. González Quiroz, Pilar
Dr. Videla Giering, Yohann

Seminario de Grado II para optar al grado de Licenciado en Geografía

Santiago, 2022

Agradecimientos

Quisiera iniciar este breve relato explicando que me motivó a realizar esta investigación, si bien mi avance curricular universitario me lo exigía la temática y obra de este proceso distan de cualquier obligación, si no que recaen en un gusto y deseo adquirido desde niño. De niño siempre me preguntaba el origen de las cosas y los procesos que estas tienen, no comprenderlos me generaba una frustración considerable pero no la suficiente para investigarla sin las herramientas. Hoy con las herramientas necesarias levanto esta investigación no solo como un avance profesionalizante si no como un desafío a mis capacidades y visión del futuro.

Agradezco de manera honesta y sincera a mis docentes guías, la Doctora Pilar Gonzáles Quiroz y al Doctor Yohann Videla Giering. Sus enfoques, apoyo y dinamismo de enseñanza no solo permitieron el avance de esta investigación si no un crecimiento autónomo en mi persona.

Agradezco a mi familia, a mi padre Hugo, a mi madre María Luisa y mi hermana Pía que a pesar de todo siempre han estado a mi lado apoyándome -tanto con pequeños y grandes gestos-, permitiéndome crecer como persona crítica y consciente de la vida.

Agradezco a mis amistades que con cada sutil y sentida palabra empujaban poco a poco este proceso. Recalco fehacientemente el apoyo de mi master, el portador de la frase “dormí pero no descance”, mi mejor amigo Jordán el cual siempre estuvo dispuesto a ayudar cuando el espíritu investigativo y humano flanqueaba, a él todo mi agradecimiento y mi cariño no solo por su actuar en este proceso si no por ser un gran amigo y persona.

Finalmente esta tesis está dedicada a mis abuelos Ana, Isabel, Hugo y Ademhar a los cuales admiro y siempre serán mi modelo de guía a seguir, ya que con sus enseñanzas, mimos y su recuerdo soy la persona que quiero y de la cual me siento orgulloso.

“Per Aspera Ad Astra”/ “A través de las adversidades a las estrellas”

Índice de Contenidos

AGRADECIMIENTOS	2
INTRODUCCIÓN	8
1. CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	8
1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.4. OBJETIVOS.....	10
1.4.1. Objetivo general.	10
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
1.5. HIPÓTESIS.....	10
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	11
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. <u>EL HUMEDAL Y SU SINGULARIDAD</u>	12
2.1.1. Aproximaciones teóricas de un humedal.....	12
2.1.2. Perspectivas internacionales y nacionales asociadas a los humedales.	13
2.1.3. Tipos de humedales.	16
2.1.4. La importancia medioambiental de los humedales.....	18
2.1.5. La importancia social de los humedales.	21
2.2. <u>SITUACIÓN DE LOS HUMEDALES EN CHILE</u>	24
2.2.1. Rol de los procesos y variables climatológicas actuales que inciden en los humedales a diversa escala.....	24
2.2.2. Rol normativo institucional del Estado Chileno en relación a los humedales	26
2.2.3. Rol del sector privado y ONG en relación a los humedales.....	29
2.2.4. Rol de la sociedad y las comunidades en relación a los humedales	31
2.2.5. Problemáticas y amenazas en relación a los humedales.....	32
2.3. ESTADO DE LOS HUMEDALES EN LA ACTUALIDAD.....	34
2.3.1. Factores y procesos causales	34
2.3.2. Una urbanización asincrónica con los humedales.	35
2.3.3. Conservación de la vegetación del humedal.....	37
3. CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	40
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	40
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	42
3.3. DISEÑO METODOLÓGICO	43
3.3.1. Tipo de muestra o muestreo requerido	43
3.3.2. Unidad de análisis.....	44
3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección	46
3.3.3.1. Técnicas de documentación bibliográfica	46
3.3.3.2. Extracción de imágenes satelitales rango 1991 – 2021	46

3.3.3.3.	Tabla de operalización de técnicas.	51
3.3.4.	Técnicas de procesamiento	52
3.3.4.1.	Aplicación de los SIG asociada a la cobertura vegetal y sus alcances.	52
3.3.4.2.	Sensores remotos aplicables a indicadores a la clorofila.....	53
3.3.4.3.	Índices espectrales.....	54
3.3.4.4.	Delimitación del humedal.....	55
3.3.4.5.	Procesamiento de imágenes satelitales.....	56
3.3.4.6.	Cálculo y categorización del NDVI.....	58
3.3.4.7.	Cálculo y categorización del NDWI.....	59
3.3.4.8.	Cálculo y categorización del NDBI.....	60
3.3.4.9.	Gráfico de recurrencia histórica.	61
3.3.4.10.	Validación estadística de los valores.	62
4.	CAPÍTULO IV. EXPOSICIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
4.1.	OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1.	64
4.1.1.	Análisis de basal de datos superficiales.....	64
4.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2.	69
4.2.1.	Análisis temporal de la matriz de índices NDVI.....	69
4.2.2.	Análisis temporal de la matriz de índice NDWI.....	72
4.2.3.	Presentación y análisis de datos de temperatura (máxima, media y mínima) acumulación de precipitación (mm) y evapotranspiración actual (mm).	75
4.3.	OBJETIVO ESPECÍFICO N° 3.	82
4.3.1.	Análisis temporal grafico de variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración con índice NDVI.....	82
4.3.2.	Análisis temporal grafico de variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración con índice NDWI.....	86
4.3.3.	Análisis del modelado estadístico temporal de las variables por clasificación agrupada.	88
4.3.4.	Análisis de recurrencia bajo los índices NDVI y NDWI.....	94
4.3.5.	Análisis relacional del índice NDBI.....	98
5.	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y DISCUSIONES.....	103
6.	REFERENCIAS.....	105
7.	ANEXOS.....	113

Índice de Tablas

Tabla 1.	Tratados, convenciones y acuerdos.....	15
Tabla 2.	Distribución espacial de la vegetación.....	17
Tabla 3.	Categorización de ambientes de los humedales.....	17
Tabla 4.	Servicios ecosistémicos y sus dimensiones.....	19
Tabla 5.	Roles y leyes.....	26
Tabla 6.	Artículo 30 de la ley n° 17.288 de 1970.....	28
Tabla 7.	Amenazas hacia los humedales.....	33
Tabla 8.	Trabajos de carácter científico modular en relación a los humedales.....	41
Tabla 9.	Unidades de análisis por objetivos específicos.....	44
Tabla 10.	Códigos script por satélite.....	48
Tabla 11.	Código de descarga masiva de imágenes satelitales.....	50
Tabla 12.	Técnicas e instrumentos por objetivos específicos.....	51
Tabla 13.	Calculo, características y representación del índice ndvi.....	58
Tabla 14.	Calculo, características y representación del índice ndwi.....	59
Tabla 15.	Ndvi agrupado pre testeo estadístico-mensual.....	88
Tabla 16.	Valor índice ndvi agrupado post testeo estadístico-escala mensual.....	89
Tabla 17.	Valor índice ndvi agrupado pre testeo estadístico-anual.....	89
Tabla 18.	Valor índice ndvi agrupado post testeo estadístico-anual.....	90
Tabla 19.	Valor índice ndwi agrupado pre testeo estadístico-mensual.....	90
Tabla 20.	Valor índice ndwi agrupado post testeo estadístico-mensual.....	91
Tabla 21.	Valor índice ndwi agrupado pre testeo estadístico-anual.....	91
Tabla 22.	Valor índice ndwi agrupado post testeo estadístico-anual.....	92
Tabla 23.	Relaciones de r ² validación a escala mensual.....	92
Tabla 24.	Relaciones de r ² validación escala anual.....	93

Índice de Figuras

Figura 1.	Cuenca hidrográfica que alimenta a La Laguna El Peral	2
Figura 2.	Delimitación S-O de la faja de 100 metros del humedal.....	3
Figura 3.	Vacío de información entre 2020 y 2021 y su reconstrucción.....	4
Figura 4.	Plan regulador comunal de el tabo, sector de la laguna el peral	6
Figura 5.	Mapa n° 1 ubicación del área de estudio.....	7
Figura 6.	Evolución temporal de la localidad de Playas Blancas	36
Figura 7.	Patrones espaciales de la vegetación	38
Figura 8.	Esquicio Laguna El Peral	43
Figura 9.	Model Builder de iteración de procesos imágenes satelitales ndvi-ndwi.....	56
Figura 10.	Diagrama procedimental alterno de extracción de imágenes satelitales ndbi	57
Figura 11.	Evolución de valores (píxeles) en el tiempo.	61
Figura 12.	Diagrama de atributos significativos de distintas delimitaciones del humedal..	64
Figura 13.	Recopilación fotográfica de levantamiento en terreno.....	66
Figura 14.	Progresión temporal del humedal “Laguna El Peral” 1955-2022.....	67
Figura 15.	Cartografía nueva delimitación del área de estudio.	68
Figura 16.	Gráfico de variación de la cobertura vegetal (mensual) bajo índice ndvi.....	69
Figura 17.	Gráfico de variación de la cobertura vegetal (anual) bajo índice ndvi.....	70
Figura 18.	Gráfico de variación de presencia de agua (mensual) bajo índice ndwi.....	72
Figura 19.	Gráfico de variación de presencia de agua (anual) bajo índice ndwi.....	73
Figura 20.	Gráfico de temperaturas mínimas, medias y máximas (1991 a 2021).	75
Figura 21.	Gráfico de precipitaciones acumuladas durante el periodo de 1991 a 2021.....	77
Figura 22.	Gráfico de evapotranspiración real (ETR) durante el periodo de 1991 a 2021..	79
Figura 23.	Gráfico de evapotranspiración real (ETR) durante el periodo de 1991 a 2021..	80
Figura 24.	Gariación índice ndvi (agrupado) asociado a variables climáticas.	82
Figura 25.	Gráfico relacional entre la variación de temperaturas y la etr.....	84
Figura 26.	Gráfico relacional entre los valores de precipitación y la evapotranspiración..	84
Figura 27.	Variación índice ndwi (agrupado) asociados a variables climáticas.....	86
Figura 28.	Cartografía de recurrencia ndvi y ndwi, temporalidad 1991-2021.	95
Figura 29.	Distribución de las formaciones vegetales, Laguna El Peral.	96
Figura 30.	Cartografía índice ndbi asociado a zonas cercanas de la Laguna El Peral.....	99

Figura 31. distribución de valores ndbi 1991-1999	100
Figura 32. distribución de valores ndbi 1999-2007	100
Figura 33. distribución de valores ndbi 2007-2015	101
Figura 34. matriz de procesos y variables clasificadas según temporalidad.	102

Introducción

La presente investigación es realizada dentro del curso de Seminario de Grado (I y II) para optar al grado de Licenciado en Geografía por parte de la institución educativa la Universidad Academia de Humanismo Cristiano. El principal objetivo de esta investigación radica en analizar la cobertura vegetal durante los años de 1991 a 2022 en el humedal Laguna El Peral esto con la finalidad de categorizar la variabilidad y distribución de esta en relación a índices espectrales y sucesos de influencia antrópica y climática .

En relación a esto, se desea mostrar un recorrido histórico de los principales preceptos, conocimientos, epistemologías y tópicos que insuman al entendimiento, protección y estado de los humedales a diversas escalas y cómo a través del dinamismo de diversas variables climáticas y antrópicas estos ecosistemas han presentado sus variaciones y dinanismos. Todos estos análisis y relaciones son realizados bajo una visión investigativa de carácter geográfica-cuantitativa.

Esta investigación busca ser un insumo técnico geográfico para los levantamientos previos de información realizados en el humedal, también busca ser un aporte y motivación -en relación a sus conclusiones- a la realización de más estudios en la zona ya que este humedal no se encuentra desconectado de la gran red de humedales que componen el gran corredor ecológico del Chile central por ende es esencial su estudio desde técnicas de gabinete esto para dar el primer paso con respecto a la investigación de estos ecosistemas profundamente afectados por el cambio climático y el desarrollo antrópico .

1. Capítulo I. Marco Introductorio

1.1. Antecedentes generales

Cuando se referencian ecosistemas bajo amenaza se pueden encontrar salares, bofedales, glaciares y humedales (este último tema estructurante de la investigación). El conocimiento de estos ecosistemas -desde la década de los 2000- ha aumentado, sin embargo se debe poder comprender cómo estos ecosistemas evolucionan y varían frente a una de las amenazas más importantes hacia el medio ambiente, los seres humanos. Es así que centrándose en este tópico de investigación, se podrá evidenciar -a través del desarrollo de esta investigación- cómo una de las unidades menor reconocidas de un humedal, como lo es la vegetación evoluciona frente a cambios antrópicos que pueda tener el medio en el cual está inserta.

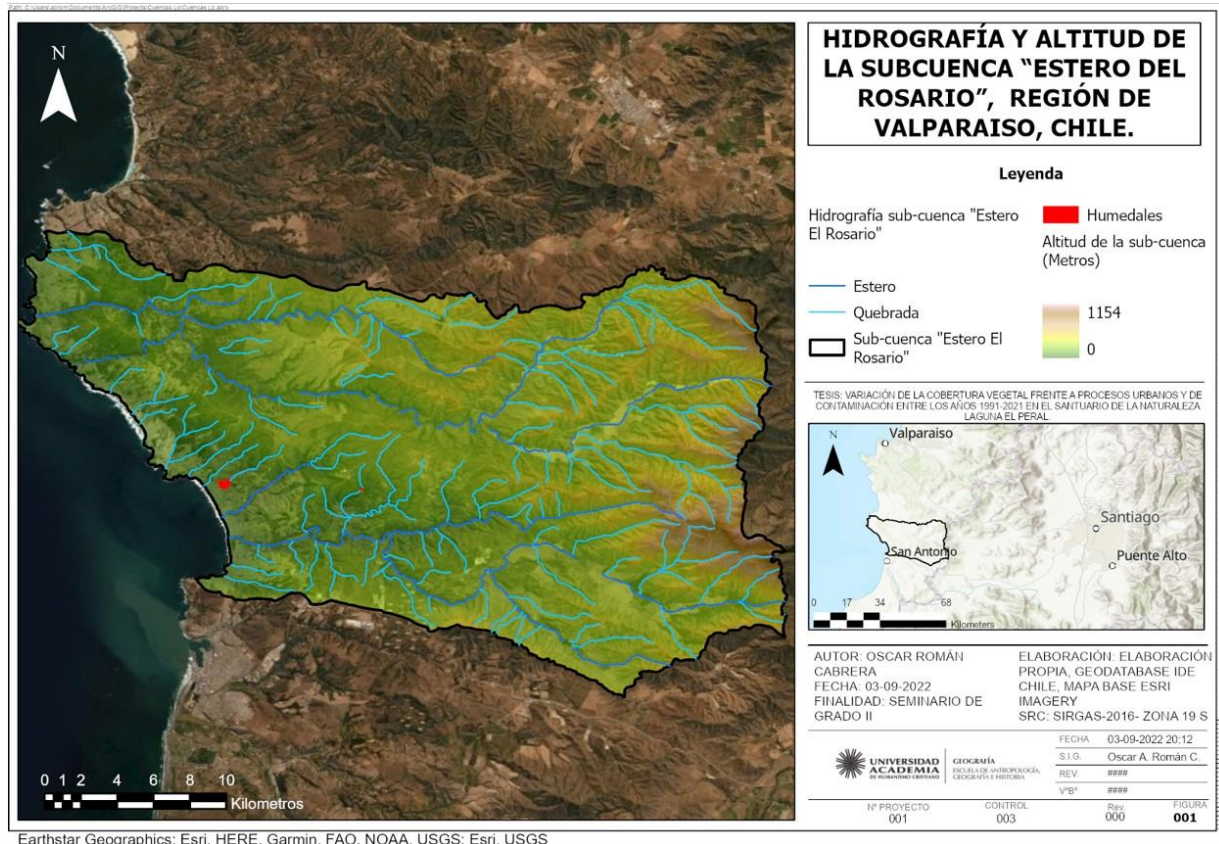
Los humedales están distribuidos en gran parte del territorio nacional y existen de diversos tipos, categorías y fines, como por ejemplo los humedales construidos (Swarnakar et al., 2022), sin embargo, en la zona central de Chile existe un escenario que se debe observar con detención, ya que específicamente en la Región de Valparaíso se está dando una situación crítica asociada a la escasez hídrica (Muñoz et al., 2020), conflicto que como bien se sabe es tanto climático como de carácter institucional asociado a términos como por ejemplo oferta y demanda (Zambrano-Bigiarini, 2019) entre otros.

La región de Valparaíso está ubicada entre la latitud 32° y 34°S y las longitudes 70° y 72°W, posee un área de 16.396,10 Km² y se encuentra dividida en 7 provincias y en 38 comunas. Cuenta con un relieve caracterizado por la presencia por la cordillera de los Andes, la cordillera de la Costa, planicies litorales, extensos valles, considerables cuencas hidrográficas (Cuenca del Maipo) y cuencas intermedias -según clasificación- que están distribuidas, tanto al norte como al sur del eje del valle del Aconcagua (Santander, 2003).

En la zona sur de la región de Valparaíso en las coordenadas 33°30'13''S y 71°36'15''O se encuentra el humedal Laguna El Peral, este es una laguna de agua dulce de características de origen albufero y de caudal variable estacionalmente. Posee un área variable de un máximo de 25 hectáreas y se encuentra bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) desde el año 1983. La laguna posee un caudal de baja turbidez y posee una

alimentación caracterizada por la acción fluvial estacional del estero “Quebrada de los Helechos”, dicho estero está conectado al sistema de la sub cuenca “Estero el Rosario” (Figura 1) además de ser influenciado por las napas freáticas de la cuenca colectora emplazada al nororiente de la laguna (Martija, 2016).

Figura 1. Cuenca hidrográfica que alimenta a la Laguna El Peral



Existen vestigios arqueológicos precolombinos de la cultura Bato en las zonas circundantes a la laguna (Falabella et al., 2007). En el año 1975 esta laguna se categorizó como Santuario de la Naturaleza a través del decreto N° 631 emanado por el Ministerio de Educación. Dicha gestión se implementó debido al interés académico del Museo de Historia Natural, especialmente del Jefe del Departamento de Ornitología, el cual presentó la solicitud debido a la importancia ecosistémica de esta zona. Cabe destacar que esta laguna es uno de los santuarios más antiguos en poseer esta categoría en la región de Valparaíso y es uno de los únicos en incluir una faja costera de 100 metros a la redonda del cuerpo de agua (Figura 2).

Sin embargo, en ningún documento se presenta un plano georreferenciado que delimite la faja litoral de 100 metros, situación que históricamente ha dificultado y complejizado los esfuerzos de conservación al no existir claridad de estos límites.

Figura 2. Delimitación SO de la faja de 100 metros del humedal en la cual hay viviendas.



Fuente: Fundación Kennedy, 2015.

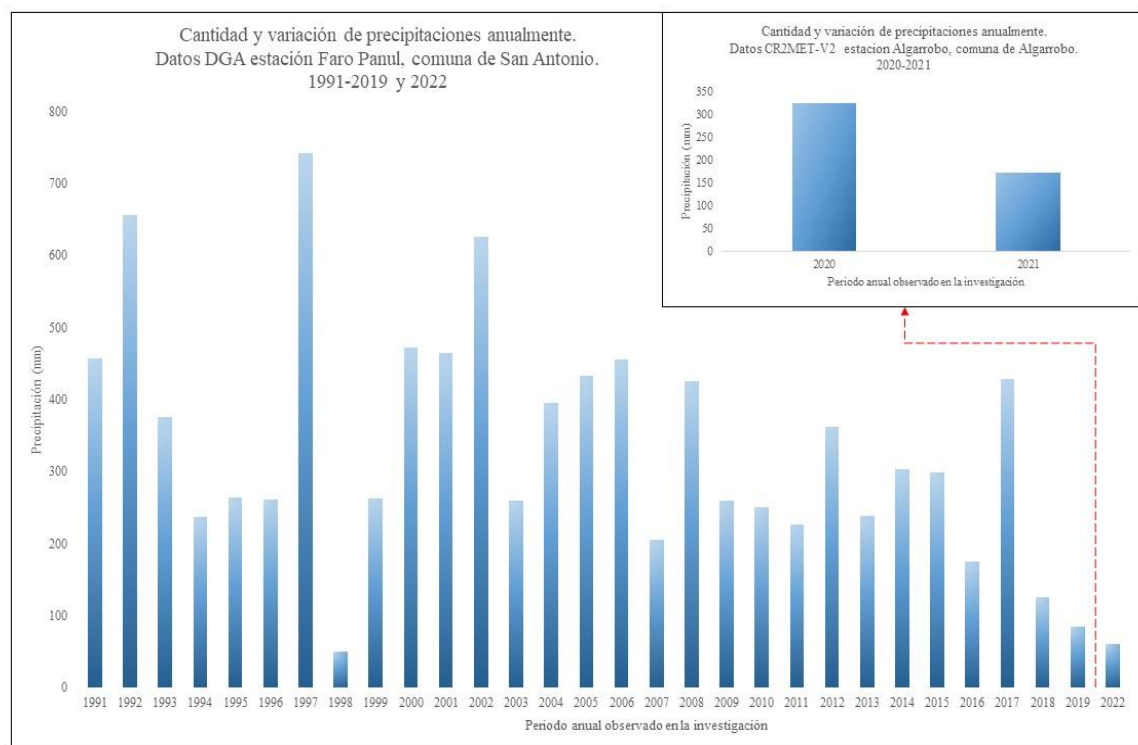
Desde el punto de vista físico-climático se presenta un clima con tendencia mediterránea de lluvia invernal, caracterizada por una importante influencia marina (Leiva, 1985). Las precipitaciones, durante gran parte de la década de 1980 y el año 2010, fueron el principal “alimentador” de la laguna (incluyendo *peaks* del 2004 y 2007), no obstante, siempre ha existido una constante variación en el periodo y cantidad de las lluvias (variación interanual), generándose una dinámica de ciclos secos y ciclos húmedos de 3 años cada uno el cual, según CONAF podría extenderse a siete debido a la crisis hídrica que se estaba dando en el país (24 horas. 2016).

En la actualidad, según datos obtenidos de la estación de monitoreo ubicada en el faro Panul¹, en la comuna de San Antonio -aproximadamente a 7 kilómetros de la laguna- indican que el *peak* más alto de lluvias se dio el 13 de mayo del 2013 con 85.1 milímetros precipitados. De allí en adelante se da una variabilidad estacional hasta el año 2016, en el cual las

¹ Datos obtenidos de la plataforma de la universidad de Chile, explorador climático Cr2 2022.

precipitaciones comenzarían a disminuir hasta alcanzar un máximo de 29 mm el día 28 de junio del año 2019 (Explorador climático, S. F.). Actualmente, según este mismo observador climático, se puede evidenciar un vacío de información (Figura 3) que cubre gran parte del año 2020 y 2021, la toma de datos comienza nuevamente en el año 2022, específicamente el 2 de Mayo. Sin embargo a través de los valores de la estación climatológica ubicada en la comuna de Algarrobo permite evidenciar los datos faltantes datos que evidencian un descenso progresivo en las precipitaciones.

Figura 3. Vacío de Información entre 2020 y 2021 y su reconstrucción.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

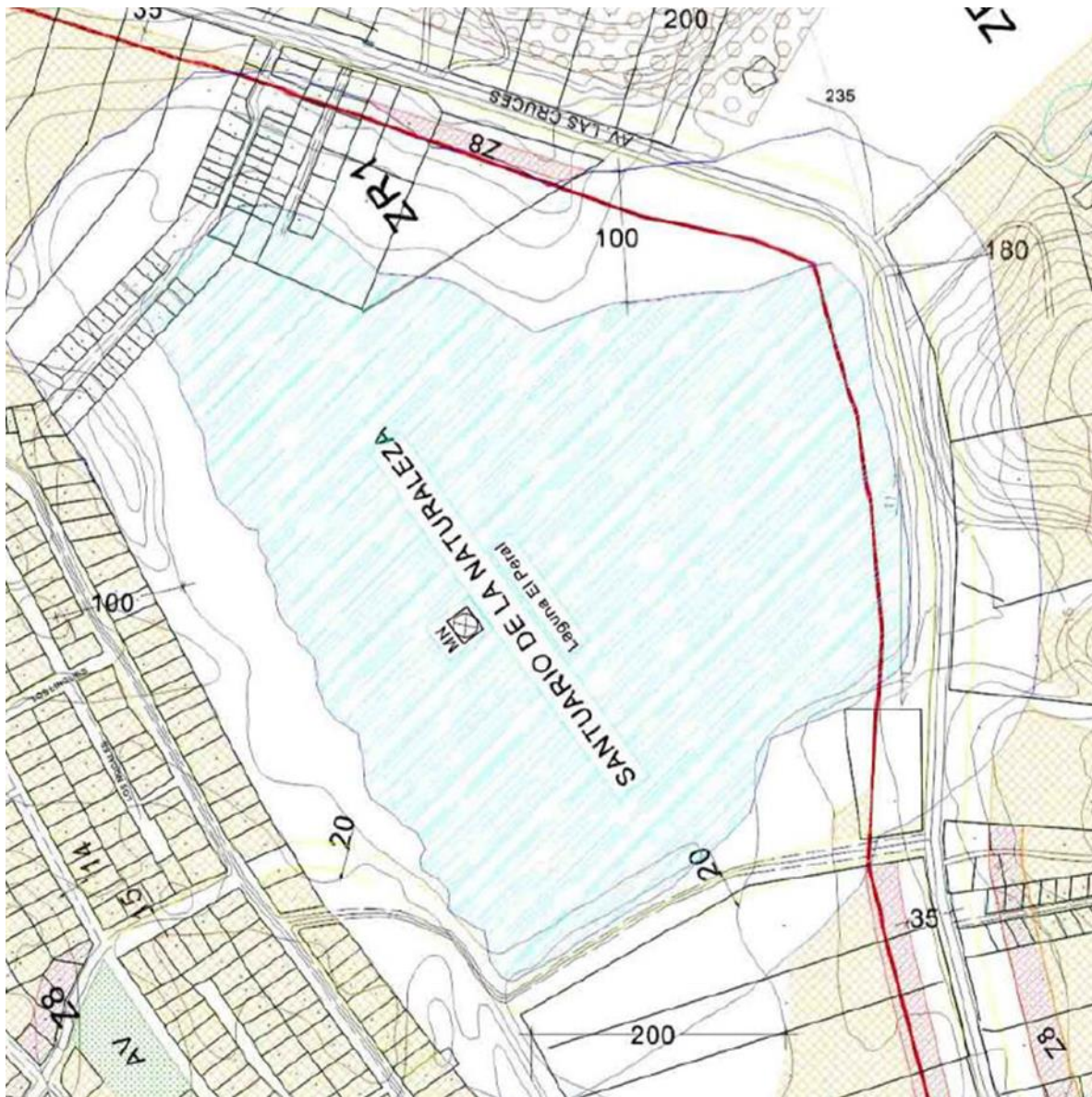
La densidad poblacional de la zona que rodea a La Laguna El Peral se ha caracterizado por tener un gran cambio en relación a la funcionalidad y rol del territorio, es decir, entre 1975-1990 la dinámica de poblamiento en esta zona era identificado por la primacía de las segundas viviendas (Oyarce et al., 2019-a). Este proceso se debió, principalmente, a los asentamientos irregulares de terreno que se dieron de manera progresiva y que al día de hoy comprende parte población de la comunidad de Playas Blancas. Según (Oyarce et al., 2019-b) la población de esta zona es catalogada como “densidad baja”, no obstante, en verano esta

puede llegar a triplicarse debido al turismo estacional. Además el poblamiento de las zonas altas de la Quebrada de los Helechos y circundantes están caracterizadas por su bajo nivel de acceso al alcantarillado y a un progresivo aumento de la población (Escenarios Hídricos 2030, 2021-a).

Según el Taller Integrado de Planificación en el Litoral Central realizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, en el año 2019 indica que este lugar está comprendido como área de protección privada en relación a que el emplazamiento del humedal se encuentra en las terrenos que pertenecen a la familia Subercaseaux, específicamente a la sucesión formada por los hermanos Mercedes Isabel, María Irene, María Eugenia, María del Rosario y Fernando Miguel Calvo Subercaseaux. Propiedad inscrita en el Registro de Propiedad del Conservador de Bienes Raíces de San Antonio a fojas 628 vuelta, número 341 (Anfossi, 1985).

El Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral está contemplado dentro del catastro nacional de humedales del año 2020, pero no está considerado dentro del catálogo de humedales urbanos (hasta la última actualización con fecha del 07-02-2022). Además cabe mencionar que existen situaciones limítrofes sin ajustar ni solucionar, esto debido a que en su reconocimiento como santuario y, por sobre todo, al no elaborar georreferenciadamente un boceto de la faja costera conllevó a la existencia de conflictos, políticas y reinterpretaciones que se dieron desde 1985 hasta la actualidad. Esto se evidencia en el plan regulador del año 2004 en el cual se determinó una zona de restricción (Zona ZR1) de 100 metros de ancho en torno a la laguna, impidiendo realizar construcciones que no sean autorizadas y transgredan lo dispuesto en el Artículo 31 de la Ley N° 17.288 de 1970 y su modificación introducida por la Ley N° 20.417 de 2010, esto con la finalidad para preservar la biodiversidad del humedal. No obstante, esta se superpone con los límites de las propiedades de privados en la zona que corresponden a loteos en norma reconocidos por la zonificación de los Planes Reguladores Comunales (PRC) (Figura 4) y evidenciables en el visor del Servicio de Impuestos Internos (SII). Esta superposición de situaciones conllevó que en las posteriores actualizaciones de los PRC (2010-2016 y 2021-2024) no tuviera una solución clara.

Figura 4. Plan Regulador Comunal de El Tabo, sector de la Laguna El Peral

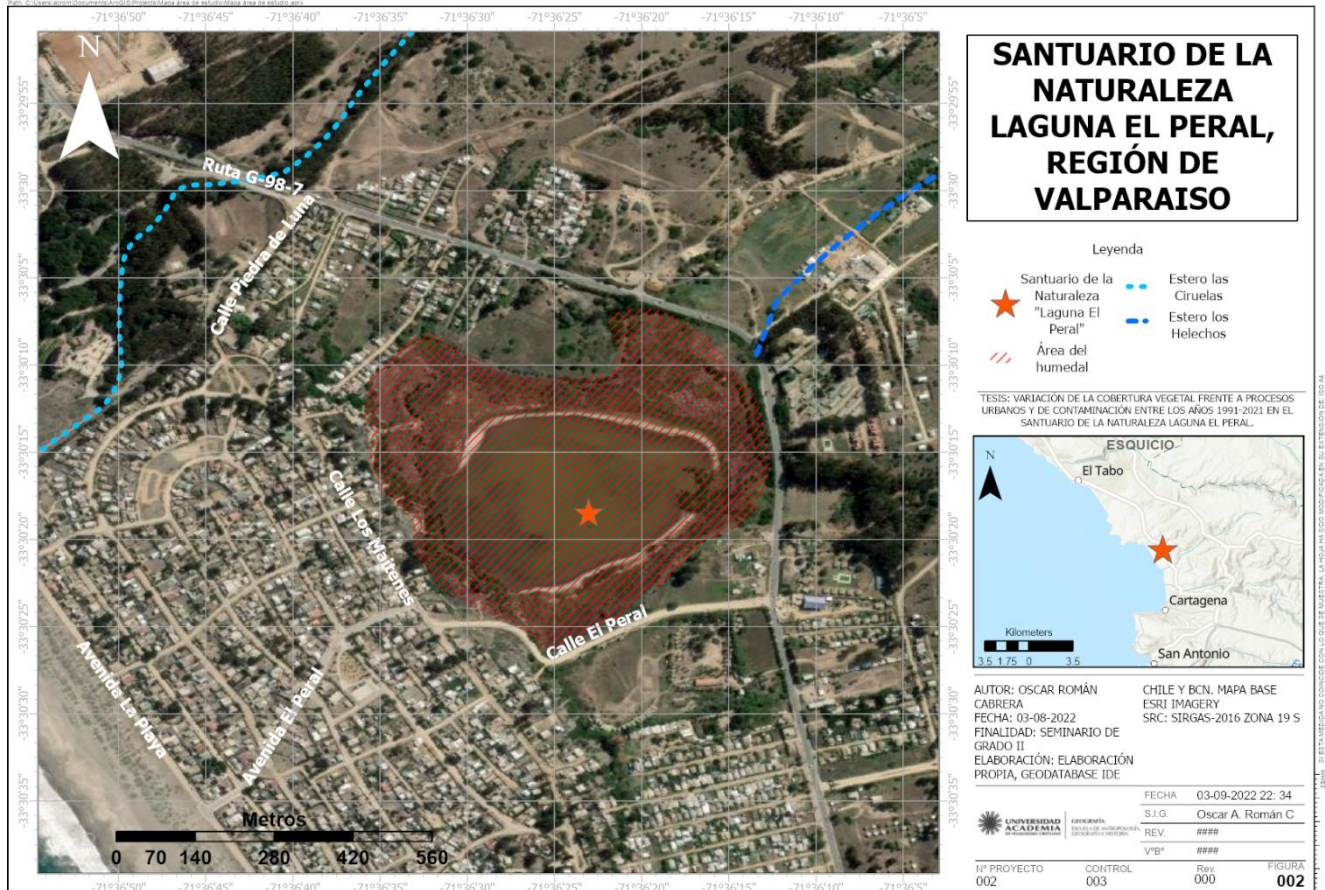


Fuente: Fundación Kennedy, 2015.

A nivel comunal el Tabo posee el 3% de los humedales en la región de Valparaíso. Siendo el área de estudio el humedal Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral (Figura 5) el más grande de los 6 humedales que posee esta comuna (Venti, 2016). Además este posee características y amenazas propias de un humedal urbano inmerso en un contexto de urbanización y con más necesidad de recursos que afectan a su subsistencia o características

propias, tales como las fajas y limitaciones superpuestas que generan conflicto entre sus marcos de aplicación y dificultan su subsistencia en el contexto actual.

Figura 5. Mapa N° 1 Ubicación del Área de Estudio



Esri, HERE, Garmin, Foursquare, FAO, MET/NASA, USGS; Esri, CGIAR; Esri, USGS; Esri, Garmin, FAO, NOAA, USGS; Maxar
Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Bajo este entorno en el cual se encuentra inmerso el humedal en el mes de marzo del año 2012, a través de diversas denuncias de vecinos por emanaciones de fuertes olores de la laguna, la Municipalidad de El Tabo encargó un pre-informe que buscó aclarar la situación que acontecía en la laguna. Este pre-informe indicó que en los días previos a los primeros reportes de mal olor existió un vertimiento de aguas servidas al humedal, en específico aguas negras descompuestas y productoras de ácido sulfhídrico, con un volumen aproximado de 80 a 100 metros cúbicos (Bardi et al., 2015-a). Esta contaminación se dio por el complejo de las “Cabañas El Peral” a través del vaciamiento de los pozos realizado por una empresa contratista de la Empresa Sanitaria de Valparaíso, Aconcagua y Litoral (ESVAL) provocando

un desastre ecológico, el cual, según el perito en fauna silvestre del Museo de Historia Natural e Histórico de San Antonio (MUSA) José Luis Brito², indicó que este fenómeno de aguas rojas les quitó la vida a 50 especies de animales de distinto orden. Además debido al proceso de eutrofización propio de la acidificación del cuerpo de agua y sumado a la baja cantidad de lluvias en ese año significó que se formaran fangos que hicieron desaparecer gran parte de la vegetación del humedal.

En febrero del año 2015 sucedió un nuevo proceso de anaerobiosis ligado al característico color rojizo de las aguas de La Laguna El Peral. En este proceso no se advirtió vertimiento de aguas servidas a la laguna. Según el estudio realizado por la fundación Kennedy, este suceso se dio por la falta de lluvias y el poco movimiento del fluido en el humedal, situación que acrecentó el proceso de descomposición anaeróbica generando así lodos negros de mal olor. Estos dos procesos de contaminación conllevaron a que el espejo de agua de la laguna presentara un color verdoso y sin transparencia, ricas en microalgas, sin plantas subacuáticas, con un número considerable de especies vegetales en mal estado de salud (fitosanitario) y sin cisnes de cuello negro (Bardi et al., 2015-b).

1.2. Planteamiento del problema.

Desde 1960 a 2001 el humedal “Laguna El Peral” fue afectado por un aumento sostenido de la población permanente, lo que significó que sus aguas fueran mal ocupadas en diversidad de usos y fines a lo largo de la década. A su vez esta “ola” de poblamiento -caracterizada por una inmigración al litoral en búsqueda de un establecimiento fijo- se instaló en gran parte del sector dunario adyacente a la laguna (por el oeste perpendicular a la laguna) cortando la escaza comunicación de la laguna con la franja litoral costera. La existencia de constante inestabilidad en el proceso de alimentación hidrológica del humedal sumado a los constantes procesos de contaminación de sus aguas por procesos de eutrofización de los años 2012-2015 han afectado significativamente la variación cobertura vegetal de este ecosistema, tanto la vegetación de zonas saturadas, zonas de transición y zonas de exterior (incluyendo

¹ Director y conservador del museo de historia natural e histórico de San Antonio, ubicado en Calle Alcalde Dr. Olegario Henríquez Escalante N° 1453 Cerro Cristo del Maipo, Llolelo.

formaciones vegetacionales). Este conjunto de hechos generó que en el año 2015 la municipalidad de El Tabo generara diversos planes de acción social e institucional con el fin de encontrar las causas y consecuencias de estos procesos. A pesar de que estas iniciativas tuvieron resultados, el estado del humedal en relación a la cobertura vegetal pudo haber quedado reducida por la intervención antrópica de los asentamientos urbanos en primera instancia y posteriormente, por ambos procesos de contaminación, implicando esto una susceptibilidad de amenazas y externalidades negativas como lo acontecido en los años 2012 y 2015 descritos en los antecedentes generales.

El riesgo de un posible nuevo suceso de contaminación sumado a las condiciones hídricas actuales del humedal hace necesario poder comprender la variación de la cobertura vegetal y su manejo como consecuencia de los procesos que han afectado su estructura, para así poder tener evidencia del comportamiento de la vegetación que permitirá generar posibles zonas de riesgo en relación a futuros procesos de contaminación descritos en estudios previos como el de Santander (2003) y Cavieres (2014). Esta problemática ha motivado que la investigación en el Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral sea a través de un estudio comparativo temporal, cuya finalidad es observar la distribución de la vegetación entre los años 1991 y 2021 para evidenciar de qué manera la vegetación respondió frente a procesos de asentamientos urbanos y procesos de contaminación.

1.3. Pregunta de investigación.

¿De qué manera la cobertura vegetal resultó afectada por los procesos de emplazamiento de asentamientos urbanos y procesos de contaminación que afectaron a La Laguna El Peral entre los años 1991 y 2021?

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Analizar la cobertura vegetal durante los años de 1991 a 2021 para categorizar la variabilidad y distribución de esta en relación a índices espectrales (NDVI, NDWI y NDBI) conforme a los sucesos de influencia antrópica y climática en La Laguna El Peral.

1.4.2. Objetivos específicos.

- A. Delimitar un área de cobertura y límites superficiales del Humedal Laguna El Peral.
- B. Categorizar coberturas superficiales asociadas a la vegetación y presencia de agua en relación al cálculo de índices espectrales tales como el NDVI y NDWI sumado a identificaciones temporales de variables climáticas (temperaturas, precipitaciones y evapotranspiración).
- C. Identificar los cambios y distribución de la vegetación en relación a la evolución histórica de La Laguna El Peral asociada a sucesos de influencia antrópica y climática.

1.5. Hipótesis.

Entre 1991 y 2021 se dieron tres grandes procesos que afectaron negativamente a la estructura y equilibrio homeostático del humedal en cuestión. Estos procesos afectaron de manera negativa a la vegetación en relación a su estado fitosanitario y el vigor de estas, siendo la zona saturada y la zona de transición -de sitio dos- las más afectadas por estos procesos. Posterior a estos procesos de impactos negativos y procesos de recuperación tanto natural como por acción institucional privada y pública existiría evidencia de que la vegetación resurge en determinadas zonas de este ecosistema, con determinada presencia en el humedal.

1.6. Justificación de la investigación.

La presente investigación busca ser un aporte al conocimiento de los procesos que afectan de manera sustancial a la variación de cobertura vegetal, esto asociado a las técnicas de teledetección. Como es planteado en esta investigación, la dependencia correlacionada entre levantamiento, interpretación y validación de datos re-escalados a los SIG son fundamentales para esta investigación, y cómo estas mismas pueden relacionarse simbióticamente con metodologías de levantamiento, ya sea en terreno o trabajo de gabinete.

Resulta imperativo poder comprender el desarrollo y evolución de los humedales, no solamente de una perspectiva secuencial de valores sino una reinterpretación de datos que pueda tener un alcance a una nueva escala del levantamiento, interpretación y masificación de la información, ya que el conocimiento de los humedales está ligado a las personas, comunidades científicas y comunidades locales de manera horizontal y que buscan proteger y preservar estos ecosistemas, tanto desde perspectivas como servicios ecosistémicos, servicios silenciosos y geo patrimonios. Sin embargo, sin un constante estudio actualizado de las nuevas dinámicas que afectan a los humedales a base de nuevas interpolaciones y validaciones estos ecosistemas corren riesgo de desaparecer sin causa o efecto que podamos asociar y correlacionar correctamente.

El poder re-escalar la información no solo facilita el trabajo a nuevos investigadores en nuevas áreas si no que permite que la información a través de nuevas representaciones pueda llegar a más dimensiones y que aquello sea un aporte para evitar nuevamente procesos como los vistos en La Laguna El Peral .

2. Capítulo II. Marco Teórico

2.1. El humedal y su singularidad

2.1.1. Aproximaciones teóricas de un humedal.

Para efecto de esta investigación la definición y conceptualización de un humedal se entenderá asociado a lo expuesto en el Plan Nacional de Protección de Humedales (2018-2022), el cual menciona que:

“Son ecosistemas acuáticos que sostienen una rica biodiversidad y proveen importantes elementos para la vida. Pese a ello, son ecosistemas altamente vulnerables, en particular frente a amenazas como las prácticas no sustentables y el cambio climático” (Plan Nacional de Protección de Humedales, 2018, p. 26).

El humedal como unidad estructural ecosistémica pertenece a un medioambiente y según lo menciona autores como William Mitsch y James Gosselink (2015) está dotado de un carácter polisémico y polivalente asociado tanto a las corrientes del conocimiento que lo estudian y lo definen. Por ejemplo, desde la Ecología se define un humedal como un ecosistema acuático, su comunidad biológica está compuesta por especies acuáticas y terrestres, que tiene circulación de material activo, flujo de energía y especies migración y evolución, y tiene una alta diversidad ecológica, diversidad de especies y productividad (Paracuellos et al., 2007). Desde otro punto de vista en relación a la alimentación de un humedal y tomando de referencia a (Benítez et al., 2020) la definición de humedal desde un punto de vista Hidrológico el humedal se define como un ecosistema con alta capacidad de erosión y caudal hídrico variable en forma, distribución y dispersión.

Dentro del contexto academicista y normativo de las conceptualizaciones de los humedales es necesario mencionar la existencia de diversidad de definiciones que permiten evidenciar que el conocimiento de los humedales se expande en gran cantidad de ramas de las ciencias, logrando grandes avances en relación a acuerdos, tratados, manuales, convenciones y sus adaptaciones (Ramsar 1971, 2007, 2010, 2014, 2015, 2016 y en menor grado Escazú 2022 por mencionar algunos). Sin embargo, es esta misma diversidad la cual dificulta llegar a aplicaciones prácticas en relación a la conservación, categorización y protección de estos ecosistemas, esto ligado a su conceptualización según enfoques epistemológicos y técnicos

que distan de sus pares y generan las “interpretaciones” que en la actualidad mantiene una presión administrativa-aplicativa constante en estos frágiles ecosistemas.

2.1.2. Perspectivas internacionales y nacionales asociadas a los humedales.

La ciencia telmatológica o como algunos autores intentaron denominar a la ciencia o estudio de los humedales en el pasado (Mitsch & Gosselink, 2015-a) se caracteriza por dos variables históricas. Una es la preservación, reconocimiento y coexistencia de los seres humanos con los humedales y la otra variable es su consumo en beneficio del desarrollo del ser humano. Durante gran parte de la historia humana ha existido este paradigma concerniente a estos ecosistemas. No obstante desde 1940 una serie de acciones políticas y legislativas permitieron evidenciar un cambio de paradigma con respecto a parte de la concepción y entendimiento de estos ecosistemas que repercuten tanto en una escena global como en una escala nacional.

Internacionalmente se generaron convenciones y acuerdos por la protección de la biodiversidad de determinados ecosistemas y medidas de control en relación a la trata de sus especies, esto aproximadamente desde 1940, las cuales se enfocan en materia de protección de humedales y que además tenían incidencia en políticas normativas nacionales.

- Convención de Washington

El 12 de octubre de 1940 se llevó a cabo una de las primeras convenciones internacionales asociadas al continente americano, en específico asociada a la Organización de Estados Americanos (OEA). El nombre de esta convención se denominó como "Convención para La Protección de La Flora, La Fauna y Las Bellezas Escénicas Naturales de América" cuyo objetivo según el artículo 531 del año 1967 (año en el cual Chile se adhirió como gobierno contratante) era proteger y conservar en su medioambiente natural ejemplares de toda especie y géneros de tanto flora y fauna. A su vez se asocia a los paisajes y bellezas escénicas de los países (Convención para la protección de la flora, la fauna y las bellezas escénicas naturales de América, 1967).

Las implicancias que esta tiene en bajo la legislación Chilena se asocia a las categorías de protección y conservación tales como parques nacionales, reservas nacionales y reservas de

regiones vírgenes. Estas categorías están contenidas en la ley N° 18.362 del Ministerio de Agricultura que posteriormente crearía el sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)(Acuña et al., 2015).

- Convención RAMSAR

El año 1971 se conformó la Convención intergubernamental relativa a los humedales, especialmente asociadas a los hábitats de aves acuáticas, esta se realizó en la ciudad de Ramsar. El Manual de la Convención de Ramsar del año 2013 explica que el objetivo principal de la convención es mantener las características ecológicas y promover el uso racional de los humedales en un contexto del desarrollo sostenible. Gracias a este objetivo la convención a lo largo de su historia y aplicabilidad internacional ha reconocido un total de 2.060 humedales con una superficie de 197 millones de hectáreas (1,97 millones de kilómetros cuadrados), equivalentes a una superficie superior a la de Alemania, Francia, España, Italia y Suiza. Estos lugares se catalogan como “Sitios Ramsar” y componen la lista de humedales de importancia internacional barajada por la convención.

La convención posee diversidad de herramientas de seguimiento de las gestiones que realiza lo cual la dota de una estructura técnica considerable (Vázquez, 2020). No obstante, con el paso del tiempo y la cantidad de contenido que se genera en relación a estos ecosistemas surgen cuestionamientos a las metodologías y técnicas que la convención tiene en relación a sus objetivos y misión central. La misma convención en su sexta edición del Manual de la Convención Ramsar reconoce el carácter sencillo y general que posee y a pesar de hoy parecer limitado en la época de la conformación de la convención fue un esfuerzo pionero en relación a la búsqueda de protección y reconocimiento de los humedales a nivel institucional-global. Algunos autores como Pearce y Turner (1995) coinciden en señalar que existe un desaprovechamiento del potencial técnico de la identificación de los humedales, esto debido a que no se están realizando las gestiones en relación al manejo y reconocimiento de los humedales de un modo óptimo en relación al hecho de no tener en cuenta todo el valor que poseen estos ecosistemas, lo cual puede ser evidenciado en relación a un contraste y comparación entre la cantidad de humedales existentes según catastros nacionales y los que Ramsar reconoce.

A nivel nacional

La Convención Ramsar reconoce 19 “Sitios Ramsar” los cuales se distribuyen dentro de la extensión del territorio nacional. En contraposición Chile bajo la ley SNASPE catastra una cantidad de 1.956 humedales a lo largo del territorio nacional, los cuales están contenidos en el Manual para la Planificación del Manejo de Áreas Protegidas del año 2017.

Se puede señalar que existe un vínculo común entre las dos convenciones antes mencionadas, ya que a pesar de no ser las únicas a las cuales Chile está adscrito (Tabla 1) estas poseen una mayor implicancia en las definiciones y entendimientos de las partes que componen un humedal. En relación a esto existen diversas instituciones que se constituyeron para hacer cumplir estos acuerdos y compromisos.

Tabla 1. Tratados, Convenciones y Acuerdos.

ALGUNOS TRATADOS, CONVENCIONES Y ACUERDOS QUE CHILE HA ADSCRITO EN RELACIÓN A MATERIAS MEDIOAMBIENTALES	
Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora (CITES) 1973	Tratado Chile-Argentina sobre el Medio Ambiente 1992.
Convenio de Bonn sobre la Conservación de Especies Migratorias de la Fauna Silvestre 1979.	Convenio sobre Diversidad Biológica 1992.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Chile al ser un país de naturaleza extractivista, está caracterizado por la relación de la palabra naturaleza junto al término bienes, y como estos “bienes” se entienden como propiedad y pueden ser trabajados según sea el término del propietario. Los humedales se ubican en este plano y las consecuencias de actividades características del medio construido, como el desarrollo de los asentamientos y actividades del ser humano traen consecuencias de diverso espectro (sonoras, químicas, biológicas etc.). Motivado por esto y la gran cantidad de acuerdos a nivel nacional, se han impulsado una diversidad de actualizaciones a las leyes que sirven a un fin de protección, categorización y fiscalización de estos ecosistemas.

De estos procesos normativos se desprende la actualización más reciente de la definición normativa estatal de un humedal la cual es [“Toda extensión de marismas, pantanos, o bosques pantanosos, turberas o superficies cubiertas de aguas en régimen natural, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, planicies mareales o praderas salinas”]. Esta definición se asocia

al marco del proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP). Este es uno de los proyectos fomentados, tanto por acción social como estatal asociado a los ministerios, ya que desde el año 2005 existe una tendencia a fortalecer la institucionalidad ambiental en relación a las evaluaciones de desempeño ambiental internacionales, esto para estar a niveles y estándares como los expuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

2.1.3. Tipos de humedales.

Existe una diversidad de humedales a nivel global, independiente de las clasificaciones estos poseen características únicas y similares lo que permite agruparlos bajo determinados ambientes, formas y también por la vegetación que contienen (Tabla 2). Sin embargo existe una falta de consenso general con respecto a estos mismos límites o caracterizaciones categorizadas de los tipos de humedales. Esto en relación a la diversidad de definiciones y enfoques que abordan esta temática, las cuales al no ser generales en su mayoría (si no que son para áreas de estudio en específico) complejizan su aplicación y homologación a otros ecosistemas similares (Mitsch & Gosselink, 2015-b).

Para esta investigación se recopiló gran parte de las categorizaciones generales de los humedales, principalmente lo expuesto por autores como César Roble, Arturo Ruiz y Guadalupe de la Lanza Espino (2008) en relación a una categorización general de los humedales de México basado en el análisis comparativo de los principales sistemas de clasificación actualmente en uso, además de clasificaciones expuestas por los manuales Ramsar (2013-2015-2017) y de autores que abordan esta temática desde una aproximación geomorfológica asociado al trabajo de Semeniuk en el año 1995, los cuales categorizaron los humedales en relación a su forma, tamaño y distribución espacial de la vegetación (Semeniuk & Semeniuk, 1995).

Tabla 2. Distribución espacial de la vegetación

VEGETACIÓN:		DISTRIBUCIÓN ESPACIAL		
		Periférica	Mosaico	Completa
Organización interna de la vegetación	Homogénea	Periforme	Paniforme	Latiforme
	Zonificada	Zoniforme	Gradiforme	Concentriforme
	Heterogénea	Bacataforme	Heteroforme	Maculiforme

Fuente: Adaptado de Semeniuk & Semeniuk, 1995.

Sin embargo, para comprender las categorizaciones de tipos de humedales se deben reconocer los aportes de Cowardin et al (1992) en relación a la clasificación jerárquica progresiva desde sistemas y subsistemas, como máximo niveles generales, a clases, subclases y dominancia. Asimismo esta clasificación permite enumerar las clases y subclases para cada sistema y subsistema. La Tabla 3 presenta una categorización jerarquizada de los humedales en relación a ambientes costeros, continentales y artificiales, además de estar ligados a sistemas y subsistemas claves en su ubicación, alimentación y dinámica. En base a esto Berlanga et al., (2008) los clasifica en un total de 26 clases.

Tabla 3. Categorización de ambientes de los humedales

AMBIENTE	SISTEMA	SUBSISTEMA	CLASE
Marino Costero	Sistema Marino	Subsistema	Franja acuática costera
		Submareal	Litoral
	Sistema Estuarino	Subsistema	Estero, laguna costera
		Intermareal	Marismas

Continental	Sistema Fluvial Sistema Lacustre Sistema Palustre	Subsistema Permanente Subsistema Estacional	Río, caverna Arroyo, riachuelo Canal Lago, ciénega, cenote Charca Cubeta inundada Zanja Depresión húmeda Pantano, turbera, popal Llanura inundada Llanura húmeda Pendiente húmeda Montaña húmeda
Artificial			Estanques de acuicultura Estanques artificiales Tierras de regadío Tierras agrícolas Zonas de explotación de sal Áreas de almacenamiento de aguas Excavaciones, canteras, piletas Áreas de tratamiento de agua Canales de transportación y de drenaje

Fuente: Recuperado de Berlanga et al., 2008.

2.1.4. La importancia medioambiental de los humedales.

Los humedales son ecosistemas, diversos y frágiles que componen un medioambiente en constante interacción con el medio construido. Pero la relación de causalidad e impacto que tienen los humedales en el medioambiente y en el desarrollo del ser humano es significativa, a pesar de no ser compatible en gran parte de las actividades económicas de desarrollo en sociedad. Sin embargo, es esencial evidenciar la relación de los “servicios ecosistémicos” que presentan estos ecosistemas (humedales) y los impactos al medioambiente del mal uso de estos “servicios” (Tabla 4) (Avendaño et al., 2019-a).

Tabla 4. Servicios ecosistémicos y sus dimensiones

<i>Sección</i>	<i>Division</i>	<i>Group</i>
<i>Provisioning</i>	<i>Nutrition Materials Energy</i>	<i>Biomass Water Biomass, Fibre Water Biomass-based energy sources Mechanical energy</i>
<i>Regulation & Maintenance</i>	<i>Mediation of waste, toxics and other nuisances Mediation of flows Maintenance of physical, chemical, biological conditions</i>	<i>Mediation by biota Mediation by ecosystems Mass Flows Liquid flows Gaseous / air flows Lifecycle maintenance, hábitat and gene pool protection Pest and disease control Soil formation and composition Water conditions Atmospheric composition and climate regulation</i>
<i>Cultural</i>	<i>Physical and intelectual interactions with ecosystems and land-/seascaapes [Environmental settings] Spiritual, symbolic and other interactions with ecosystems and land-/seascapes [Environmental settings]</i>	<i>Physical and esperimental interactions Intellectual and representational interactions Spiritual and/or emblematic Other cultural output</i>

Fuente: Adaptado de CICES, 2012.

Dentro de estos “Servicios Ecosistémicos” evidenciados en la Tabla 4 se pueden encontrar diversos tipos, desde repositorios de agua dulce en los ambientes continentales, de alimentos y de materiales de construcción, también ser soporte de la biodiversidad de especies presente en la zona, además de controlar las crecidas de los ríos y recargarse de aguas subterráneas, dependiendo de su alimentación y características específicas (Haines-Young & Potschin, 2013).

No reconocer las importancias ecosistémicas y medio ambientales de un humedal sobrelleva de manera directa a relacionarse con parte de las externalidades que un uso desmedido de estos servicios conlleva, puesto que a pesar de existir casos de que estos procesos no son una generalidad sí se evidencia una tendencia en relación a este escenario basado en las condiciones climáticas actuales en Chile. Específicamente asociadas a un escenario de sequía, un contexto de sobre explotación agrícola ligado al recurso y su propiedad y los

impactos a los acuíferos naturales y quebradas que almacenan el recurso del agua y del cual dependen diversidad de ecosistemas, especies y comunidades (Miranda, 2018).

El contexto de cambio climático que se vive en el planeta a una escala global ressignifica gran parte de la importancia medioambiental de los ecosistemas, ya que de ella depende un conjunto de organismos y poblaciones que cumplen diversidad de roles y funciones, esto se asocia directamente con la importancia de estos sitios por su nivel de biodiversidad. Sin embargo esta visión de “Servicios Ecosistémicos” ejerce en ellos una gran influencia, una presión desmedida en relación las políticas locales, la expansión urbana y los procesos que esta dinámica conlleva. Los cambios del uso del suelo y las actividades en las cercanías de estos ecosistemas han generado cambios en los humedales, tanto en su capacidad de alimentación como drenaje, propiciando la deforestación y diversos procesos de contaminación. Parte de estos procesos son aprovechados por el desarrollo antrópico en relación a usos materiales, terreno y recurso hídrico pero esto solo acrecienta la posibilidad de que exista una situación de pérdida masiva de funciones, servicios ecológicos y pérdida de biodiversidad, cantidad y diversidad de especies y sus ambientes que a largo o corto plazo perjudicaran al espacio construido habitado por el ser humano.

En específico La Laguna El peral se caracteriza por sufrir parte de estas problemáticas relacionadas a cuando no se toma en cuenta la importancia y valor medioambiental de un humedal, esto caracterizado por una de las causales de la disminución del volumen del cuerpo de agua asociado a la existencia de una serie de pozos ilegales que se instalaron cerca del Humedal y las actualizaciones en las redes de alcantarillado y agua potable (Bardi et al., 2015). Además de procesos de contaminación gestados por falta de educación, conciencia social y por la anormalidad del ciclo hidrológico del humedal, afectando esto a la calidad de vida y desarrollo de la comunidad de Playas Blancas (comunidad cercana al humedal).

2.1.5. La importancia social de los humedales.

La historia de los humedales puede observarse desde una diversidad de aspectos. No obstante, a pesar de que los humedales en su mayoría son diferentes según zona, contexto etc., podemos encontrar nexos comunes en su entendimiento que repercuten e influyen en su importancia social. Las primeras concepciones paisajísticas de un humedal están directamente ligadas a un concepto coloquial, el cual es “el pantano”. Dante Alighieri en su libro “La Divina Comedia” hacía las primeras referencias a este término en el año 1304.

“Así seguimos nuestro camino alrededor de un amplio arco de ese estanque fantasmal, entre el pantano empapado y la costa árida, todavía mirando a los que tragan el pantano [pantano] asqueroso” (Mitsch, Gosselink, 2015, p. 7).

Tal como este relato se dotaba de un carácter lúgubre asociado a estos espacios, Mitsch, Gosselink (2015) relata que existió una dinámica caricaturesca de caracterización oscura y pantanosa de estos espacios, la cual fue retomada por diversos autores en relatos que van desde el año 1739 hasta 1960 (cartas de exploradores, relatos de aventuras, fotografías y pinturas), lo cual significó que existiera una disonancia desde el valor ecosistémico expuesto en la literatura científica y el valor social en relación a los medios de información (cine, novelas y revistas). Además cabe mencionar que la literatura científica de humedales después de 1970 comenzó a ser ligeramente más masiva en perspectiva a lo que antes se permitía y discutía entre grupos selectos con interés en estos lugares (Molfino & González, 2012).

El impacto asociado a la calidad escénica construida -en relación a los humedales- afectó de manera profunda a gran parte de los procesos que se dan previos a 1970, esto en relación a que la preconcepción histórica, fílmica y paradigmática de que estos ecosistemas no eran bellos y más aun no eran acordes a un desarrollo social bajo ninguna circunstancia. Sin embargo, según lo señalado por Mitsch, Gosselink, a pesar de que esta realidad construida hacia estos ecosistemas se diera constantemente también -a la par- existió un cambio de paradigmas que significó un nuevo entendimiento de los humedales desde 1970 en adelante. Como ya fue visto previamente, de esto se gestaron las primeras convenciones modernas internacionales en relación a los humedales *“Aunque muchas culturas han vivido e incluso dependido de humedales durante siglos, la historia moderna de los humedales hasta la*

década de 1970 es plagado de incomprensión y miedo, como se describe en gran parte de nuestra literatura occidental” (Mitsch, Gosselink, 2015, p. 9).

La importancia de los humedales desde 1970 en adelante generó un cambio asociado a cómo los humedales repercuten e impactan la calidad de vida de los seres humanos. Esta premisa contiene gran cantidad de certezas como contradicciones, ya que el humedal como unidad estructural del medioambiente depende de la definición, enfoque y estudio desde el cual se observe, por ende la importancia de los humedales se puede definir en tres grandes nexos estructurantes los cuales se asocian directamente a los “Servicios Ecosistémicos” presentados previamente.

- Importancia asociada al desarrollo y asentamientos urbanos
- Importancia asociada a la cultura y esparcimiento
- Importancia asociada a la preservación y uso

Cada uno de estos componentes basados en la teoría de C. Agraz & Verdugo (2005) toma un rol activo si se sigue desarrollando la línea de tiempo de los humedales de manera general. Desde 1970 a 1999 Chile adscribió y/o participó en diversos tratados y acuerdos que a pesar de no mencionar directamente a los humedales, se señalaban los nodos o estructuras esenciales en relación a la preservación de diversas especies, trata de estas mismas, dinámicas de migración y cuidado del medioambiente.

Desde el año 2005 en adelante la institucionalidad ambiental fue reforzada y estandarizada a niveles internacionales que fueron norma y guía característica de la dinámica de Estado y gobernanza entre los años 1994-2006. Desde aquel periodo hasta la actualidad la importancia social de estos ecosistemas ha presentado avances considerables en relación al siglo pasado. No obstante, según Henríquez et al (2019) la sociedad mantiene una actitud dual en relación a la concepción y entendimiento de la preservación-conservación, su constante uso y consumo según sea el fin determinante. Sin embargo, esta convivencia de dinámicas genera que los humedales tengan una amplia diversidad de usos para la sociedad, esto desde un punto de vista asociado al valor paisajístico que marca una diferencia con lo lúgubre y pantanoso evidenciado antes de la década de 1970, y que hoy debido a su nueva concepción de calidad paisajística y potencial ecosistémico son nodos activos en el desarrollo de las

comunidades cercanas a estos ecosistemas desde un punto turístico, paisajístico, educacional y cultural (Phakathi, 2010).

Esta importancia social de los humedales depende de factores externos e internos y suelen estar caracterizados por una escala de información e importancia proporcional y dinámica en la actualidad, es decir, las situaciones y hechos que afectan los humedales según la escala del impacto pueden tener una masividad e importancia social considerable. Algunos ejemplos de lo expuesto previamente son los movimientos y políticas de conservación y protección del humedal del Membrillo en la comuna de Algarrobo (Región de Valparaíso) en relación al impacto de un proyecto inmobiliario sobre el humedal, o el humedal Río Maipo ligado a la desembocadura del río del mismo nombre, el cual está amenazado por el actual desarrollo del puerto de San Antonio y su futura ampliación (Fundación Terram, 2020) y finalmente el humedal Laguna El Peral el cual debe gran parte de su masificación a la acción e importancia que se le dio por parte de las comunidades frente a los procesos de contaminación del año 2012 y 2015.

Actualmente los humedales se dotan de un contenido de doble filo asociado al rol de la sociedad y comunidades, desde un punto de vista son un aporte esencial para su supervivencia y desarrollo, por otro lado se causan daños irreparables por la acción antrópica. La incógnita del rol de la sociedad en estos ecosistemas aún no posee respuesta, sin embargo, el rol que juega para bien o para mal es determinante en los escenarios que actualmente se están dando.

2.2. Situación de los humedales en Chile

2.2.1. Rol de los procesos y variables climatológicas actuales que inciden en los humedales a diversa escala

La geografía de Chile está caracterizada por su extensión longitudinal por sobre latitudinal, esta distribución implica que los procesos climáticos a diversa escala afectan al territorio nacional de maneras diversas y con diferentes fenómenos y magnitudes siendo los más preponderantes para la zona de La Laguna El Peral las precipitaciones en relación a su fuente de alimentación a través del acuífero y las temperaturas debido al tipo de humedal. (Rivera & Riveros, 2017-a). Al observar esta distribución longitudinal bajo la clasificación climática de Köppen nos entrega algunos patrones y consideraciones climáticas asociados a una zonalidad y como algunas variables como precipitación y temperatura presentan diversos valores según categorización zonificada nos encontremos. Sin embargo, esta clasificación no contempla los procesos de cambios climáticos antropogénicos de las últimas décadas y el impacto que ha tenido en diversas escalas en relación a los territorios, afectando desde unidades regionales-territoriales hasta ecosistemas vulnerables como los humedales. Dicho cambio climático de carácter contemporáneo ha reducido significativamente la cantidad y distribución de los humedales en todo el mundo, así como la estacionalidad del agua que fluye hacia los humedales (Pica et al., 2019). El cambio climático antropogénico aumenta los riesgos de desajustes entre la fenología de las especies y las condiciones ambientales, lo que resulta en el deterioro de las principales rutas migratorias dentro de los corredores ecológicos tal como el corredor ecológico de Chile central, que se compone por cientos de cuerpos de agua someros interconectados y regidos por procesos y dinámicas climáticas (Marquet et al., 2012).

Los humedales son ambientes extremadamente dinámicos y frágiles, cuya existencia se encuentra condicionada por una gran variedad de factores naturales y antrópicos, entre los que se cuentan la variabilidad hidrológica, el alto contenido energético del sector litoral, la variabilidad en la disposición de sedimentos y los procesos tectónicos que generan cambios morfológicos mayores en los sectores costeros. Comprender el impacto del cambio climático en los humedales conlleva a observar variaciones que abarcan desde el aumento del nivel medio del mar -humedales con conexión al mar-, variación en las temperaturas, salinidad,

humedad, periodos de sequía, etc. Para el caso de esta investigación y basado en la descripción del libro “El valor de Conservar la Biodiversidad del Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral” las variables más relevantes a considerar para una laguna de carácter albufero con caudal estacional son las temperaturas (mínima, media y máxima) las precipitaciones totales acumuladas -siendo el principal factor de alimentación de la laguna según Bardi et al (2015)- y la evapotranspiración de la zona adyacente al humedal y del mismo humedal. Cabe mencionar que la evapotranspiración es un indicador que posee una data según escala y zonalidad se dese observar, es decir, la evapotranspiración al ser un proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor) es dependiente de diversidad de valores como estructura del suelo, humedad, cuerpo de agua, vegetación mojada, viento, radiación presión atmosférica etc. (Allen et al., 2006) La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. Dentro de la diversidad variables incidentes de la evapotranspiración existen diversas marcas de medición algunas de estas contemplando determinado análisis del conjunto de sus variables tales como:

- **Evapotranspiración Potencial (ETP)** asociada a la pérdida del agua que acontece si no existiera deficiencia de agua en el suelo para el uso de vegetación.
- **Evapotranspiración real (ETR)** asociada la cantidad de agua que realmente se pierde considerando valores y procesos de vegetación y suelo, por ende se cumple una relación a que la evapotranspiración real debe y es menor a los valores de la evapotranspiración potencial.

2.2.2. Rol normativo institucional del Estado Chileno en relación a los humedales

Chile desde 1967 comenzó de manera activa a generar acuerdos y categorizaciones con el fin de catastrar sectores con determinadas atributos y áreas para reconocerlos bajo categorías de protección. Estas categorías permitirían la conformación de un sistema nacional de áreas protegidas, dicho tratado -a través del Decreto Supremo N° 531 del Ministerio de Relaciones Exteriores- no logró ser aplicado en aquel entonces, sin embargo, en la actualidad es base de las categorizaciones de protección a nivel nacional con más de dieciocho millones de hectáreas protegidas a nivel nacional (CONAF, 2020). Esto también se fortalece y cobra relevancia en 1981, año en el cual Chile se adscribió a la Convención (Ramsar Decreto Supremo N° 771) y posteriormente se determinó cierta cantidad de áreas en Chile que cumplan con los requisitos para ser consideradas dentro de la categoría de sitios Ramsar y ser protegidas.

Sumado a este elemento base del rol institucional normativo el Estado de Chile en materia ambiental, debe tener como función velar por el cumplimiento de las leyes a través de sus herramientas e instrumentos, tales como los decretos e instituciones asociadas (Tabla 5). Otra de las incorporaciones relevantes son las definiciones de humedales incluidas en la Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal del año 2010, además de su actualización en el año 2011, la cual modificó esta ley por la inclusión de un diseño de inventario nacional de humedales.

Tabla 5. Roles y leyes

LEYES Y ROLES NORMATIVOS		
Ley de Protección de Humedales RAMSAR-Decreto Supremo N° 771	1981	Delimita áreas de protección “Sitios Ramsar” y regulación institucional caracterizadora de humedales.
Ley 18.362 del Ministerio de Agricultura	1984	Crea el sistema de áreas protegidas (SNASPE).
Ley 1.122 del Código de Aguas	1981	Define las aguas detenidas que se acumulan en depósitos naturales o artificiales, además de especificar los sistemas de drenaje de los causes que sean colectores de agua.
Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente	1994	Establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medioambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la

		preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.
Ley 19.473, sobre caza del Ministerio de Agricultura	1996	Prohíbe en todo el territorio nacional la caza o captura de ejemplares de la fauna silvestre catalogados como especies en peligro de extinción, vulnerables, raras y escasamente conocidas, así como la de las especies catalogadas como beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria, para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales o que presenten densidades poblacionales reducidas.
Ley 20 417 crea el Ministerio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente	2010	Establece que se someterán a evaluación ambiental estratégica las políticas y planes de carácter normativo general, así como sus modificaciones sustanciales, que tengan impacto sobre el medioambiente o la sustentabilidad.
Ley 21.202 Humedales Urbanos del Ministerio de Medio Ambiente.	2020	La ley tiene por objeto proteger los humedales urbanos declarados por el Ministerio del Medio Ambiente.

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Además es esencial señalar que el territorio nacional posee una categorización y subdivisión específica que norma a los territorios y sus atributos naturales (Región, Provincia y Comuna), esto visto de la existencia de planes de desarrollo regionales y comunales que son instrumentos indicativos y normativos del desarrollo y evolución de una categoría territorial en relación a una diversidad de criterios de amplio espectro, es decir, de criterios de desarrollo económico, social, indicadores culturales y medioambientales. Un ejemplo de esto es la Certificación Ambiental Municipal (SCAM) de algunas comunas en relación a sus políticas y normas medioambientales. (Rungruangsakorn, 2017).

El proceso irregular que sufrió el medioambiente al dotarse de cuerpo legal e institucional significó una diversidad de vacíos de información, falta de interconexión y homologación de categorías, normas y estructuras que datan de fechas más antiguas en relación a las vigentes, es decir, las normas, decretos y reconocimientos aprobadas antes de 1980 constantemente deben ser homologados para lograr su aplicabilidad territorial. Sin embargo, los ecosistemas suelen tener problemas con la normativa actualizada, específicamente en relación a sus límites (por mencionar uno), ya que los contextos territoriales evolucionan con cada década. Es por ende que existen problemas, como el planteado en el marco introductorio de esta investigación relacionado a que debido a normativas internas administrativas de CONAF (Leiva, 1985), del municipio de la comuna de El Tabo (Martija, 2016) y del Consejo de

Monumentos Nacionales en relación a su categoría como Santuario de la Naturaleza la cual expone diversas concepciones de límites en relación a La Laguna El Peral, puesto que este al ser declarado como santuario en el año 1975 no contenía cartografía o esquicio que permitiera una clara visualización de la franja litoral de 100 metros de contorno, la cual a la fecha genera una situación problemática, ya que debido al avance de las políticas, leyes ambientales y la falta de actualización de estos datos, permitió que hoy parte de esa franja este poblada a pesar de estar considerada como una zona en la cual no se puede construir sin autorización (Tabla 6) pero que legalmente está reconocida como emplazamiento por el Servicio de Impuestos Internos(SII), además de la existencia de edificaciones.

Tabla 6. Artículo 30 de la Ley N° 17.288 de 1970

EL ARTÍCULO 30 DE LA LEY N° 17.288 DE 1970" SE DISPONE DE ACCIÓN LOS DECRETOS
Para hacer construcciones nuevas en una zona declarada típica o pintoresca o para ejecutar obras de reconstrucción o de conservación, se requerirá la autorización previa del Consejo de Monumentos Nacionales, la que sólo se concederá cuando la obra guarde relación con el estilo arquitectónico general de dicha zona, de acuerdo a los proyectos presentados.
Con el objeto de definir los límites y legitimar la presencia de CONAF en este Santuario, se tomarán las siguientes medidas
<p>A) Establecer un Convenio con la Sra. Eugenia Subercaseaux, mediante el cual se entregue la administración a CONAF. En este sentido, se están buscando los términos del acuerdo y existe en principio buena disposición por parte de la propietaria.</p> <p>B) Convenir un límite de común acuerdo con los propietarios de las parcelas N° 50-51 y 52, debe tratar de incluir una faja entre el límite del pajonal y el cerco de las parcelas.</p>

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

El Estado y sus instituciones también tienen un rol fiscalizador asociado al cuidado y desarrollo de ecosistemas naturales, estos desde salares y bofedales hasta los humedales, sin embargo, desde los años 2000 el rol fiscalizador del estado y sus instituciones se encuentran en tela de juicio, no por su estructura normativa ya que está dotada de una estructura y solidez considerable esto asociado a la existencia del Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA) regido por la ley 19.300 (a través del decreto supremo 40 "Impacto Ambiental"), la superintendencia de Medio Ambiente (SMA) y el Sistema Nacional de Información de

Fiscalización Ambiental (SNIFA) (SMA, 2018). Todos estos organismos-instituciones cumplen roles profundamente relevantes en el desarrollo clarificador de problemáticas, procesos, impactos, acciones y denuncias asociadas a ecosistemas en alguna categoría de protección (Ley 19.300) u otra de carácter local (comunidades indígenas o similares). Esta labor de fiscalización del estado resulta ser eficiente sin embargo su aplicabilidad y procesos a pesar de estar normados distan de homogeneidad según ecosistema y sección contextual que estos organismos-instituciones afecten y el cuestionamiento no recae en su forma si no en sus sanciones facultativas y el real efecto-peso que estas poseen además de la cantidad de variables que juegan un rol determinante en estos proceso de orden socio natural(Schorr, 2018).

2.2.3. Rol del sector privado y ONG en relación a los humedales

El rol privado es una Figura que desde la década de 1970 ha marcado de manera protagónica la agenda de los humedales a nivel medioambiental y resulta imperativo para comprender este rol poder remontarse al proceso de política social más importante del siglo XX, la cual fue la reforma agraria y lo que significó en relación al cambio de panorama asociado al poder adquisitivo de grupos y familias adineradas oligarcas en relación a la tierra, el agua y su conjunto como propiedad (Mundaca, 2017). Durante el gobierno militar gran parte de este nuevo panorama desapareció y se generaron las bases de los grandes problemas que hoy en día se observan (los cuales se relacionan directamente a los humedales), tal como la venta de derechos de agua, su uso irresponsable, falta de fiscalización, la privatización de diversidad de funciones e instituciones y un rol estatal tutelado que permitió que gran parte de la actividad económica, realizada entre 1974 y 1994 posee un foco principal en desmedro de otras dimensiones. Ricardo Ffrench-Davis asocia que este sistema se mantenía debido a su enfoque en las recuperaciones ignorando las caídas, lo cual hacía de estas actividades algo frecuente y poco cuestionable (Ffrench-Davis, 2019). Cabe mencionar que los conocimientos de los humedales poseen diversidad de dimensiones y estas mismas están relacionadas a una perspectiva dual ya que el sector privado -entendido como el conjunto de individuos u organizaciones cuya titularidad no corresponde al Estado- se caracteriza por poseer impactos (procesos, acciones, decisiones etc.) tanto en contra de los humedales como a favor de estos.

Desde una perspectiva (económica-administrativa) ligada a los humedales tenemos una diversidad de componentes anexados a entidades empresariales, particulares o familiares que en sus actividades generan externalidades que afectan a la sustentabilidad de un humedal, ejemplos de estos se pueden asociar a la falta de regulación en nivel de asentamientos y construcciones urbanas lo cual permite que inmobiliarias -según zona y ubicación- puedan instalarse en las proximidades de un ecosistema protegido y sumamente frágil, de igual manera la industria asociada al almacenamiento, distribución y producción de diversidad de materias (Neumáticos, plásticos, ladrillos etc.) que se emplazan cercanas a los humedales. Existe una fuerza externa que guía y masifica este tipo de acciones, esta se compone de diversidad de nombres pero la interpretación expuesta por Alfredo Rehern en el año 2018 en relación a este poder entendido como “la mano invisible” se considera la más atingente para el caso de esta investigación (Rehren et al., 2018). Esta mano invisible explica parte de la presión del mercado de capitales en relación a un sistema de competencia, oferta y demanda, en los cuales no existe espacio para considerar los impactos de externalidades que no contemplan un gran problema para el sector privado en relación a su mitigación o sanción (multas por desastres ecosistémicos y fiscalización sin resoluciones).

Otra dimensión del rol del sector privado se relaciona de manera directa a la creación de fundaciones, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y diversos movimientos con figuras legales que poseen una misión y visión con la finalidad de masificar el conocimiento de los humedales en relación a su preservación, importancia, y estructura, a través de canales y medios que conecten con la sociedad, es decir, los medios de comunicación masiva (*mass media*). Entre estos podemos encontrar la organización Wetlands internacional dedicado a la conservación y restauración de los humedales, el proyecto GEF humedales asociado a la conservación de humedales costeros de la zona centro sur de Chile, la Fundación Kennedy y entidades universitarias ligadas al estudio de estos ecosistemas, Universidad de Playa Ancha (UPLA), Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) y la Universidad Austral de Chile (UACH).

2.2.4. Rol de la sociedad y las comunidades en relación a los humedales

Los humedales se caracterizan no solo por ser ecosistemas frágiles si no que altamente dinámicos en relación a factores internos y externos que lo puedan afectar, esto es a tal nivel que según Edward Barbier, Mike Acreman y Duncan Knowler “*en la actualidad los humedales son componentes temporales del paisaje, es decir, son competentes del paisaje a determinada escala espacio temporal*” (Barbier et al., 1997).

Esta temporalidad está directamente enlazada al rol que la sociedad toma en relación a estos ecosistemas. La masificación de la información -en general- permite que gran parte de los conocimientos e información puedan llegar a diversidad de escalas sociales, generando un “efecto dominó” de la información. Este efecto puede traer tanto beneficios como problemas asociados y descritos por la información y la contra información, ambos procesos ligados a la literatura científica y en específico a los humedales, sobre todo a los que más se encuentran tensionados en el espacio (por mencionar algunos, Tunquen y Santo Domingo). Existe una premisa que menciona que de las comunidades surge la primera línea de defensa y alerta para proteger estos ecosistemas debido, a la relación histórica que desarrollan los asentamientos urbanos originales y los humedales, caso que también se podría dar en La Laguna El Peral.

La población de Playas Blancas es la comunidad aledaña al humedal, esta población incrementó una alza en los asentamientos y en la población urbana en la última década del siglo 20, provocando de tal manera diversas externalidades en la zona (Escenarios Hídricos 2030, 2021-b). Pero cuando sucedieron los procesos de contaminación del año 2012 y 2015 las comunidades locales generaron los primeros nexos de alerta y presión por la situación del humedal este esfuerzo compuesto sumado a la acción de CONAF permitió gestar planes de acción, conferencias y talleres con la finalidad de subsanar y comprender estos fenómenos que se estaban dando el humedal. No obstante, a pesar de estos procesos el efecto dominó antes mencionado y asociado a la contra información estuvo presente por parte de las autoridades representantes de organismos institucionales.

Gran parte de los humedales se caracterizan por un activo rol social-comunitario, desde una perspectiva de desarrollo urbano sustentable expuesto por Fernández, (2020) en relación a la masificación de los procesos y amenazas que afectan a los humedales, las acciones de

protestas, manifestaciones y charlas son la base de grandes movimientos que buscan reconocimiento, protección (ley de humedales urbanos) o detención de obras y proyectos que atentan con la subsistencia de estos ecosistemas y así evitar que los transformen en elementos temporales del paisaje.

2.2.5. Problemáticas y amenazas en relación a los humedales

Las amenazas a estos dinámicos ecosistemas son parte de su escenario actual, estas se diversifican y se pueden asociar de manera directa a cada humedal según ambiente, tipo y clase a la cual pertenezcan. En específico en Chile los impactos de estas amenazas se pueden asociar de manera general a amenazas antrópicas y climáticas. Sin embargo estas caracterizaciones de amenazas y problemáticas tienden a tener yuxtaposiciones en relación al punto de vista de la amenaza, es decir, se hace mención de que los aspectos ligados al funcionamiento hidrológico de los humedales mantienen gran parte de los servicios y funciones ecosistémicas, por ende una amenaza desde el punto de vista de la alimentación hidrológica de los humedales tendría un impacto considerable a la estructura del humedal. Empero existen componentes que son parte del humedal y que son severamente afectados por estas amenazas, siendo una de las más importantes la vegetación. Esta entendida como la unidad estructural de un humedal que más amenazada se encuentra, debido a sus funciones ecosistémicas, su dependencia del equilibrio homeostático del humedal y diversidad de factores (M. Agraz, 2005), volviéndola un componente reactivo a procesos de contaminación o variaciones que se dan en el humedal.

Los humedales son un ecosistema profundamente interconectado y dependiente de cada estructura y unidad que lo compone, por ende al seccionar amenazas se cumple un “efecto dominó” de un sistema con falencias, es decir, parte del sistema comienza a presentar anomalías y el resto debe compensar esta situación generando tensión en dicho sistema. Parte de las amenazas de un humedal radican en el hecho de que al sectorizar una amenaza no siempre se permite que la complejidad total de la situación pueda ser analizada, dejando a unidades estructurales como la vegetación por debajo de las especies migratorias o la calidad del espejo de agua.

CONAF en su Plan de Manejo de Áreas Protegidas del año 2017, referencia directamente que la amenaza de estos ecosistemas contempla a amenazas antes mencionadas (contaminación por fecas, aguas negras, etc.) y por sobre todo cómo estas afectan a las especies que habitan de manera fija y estacional los humedales, ya que la exposición de estos ecosistemas a amenazas de distinto orden ha significado que estas amenazas aumenten, siendo en consecuencia más específicas y numerosas.

Tabla 7. Amenazas hacia los humedales

AMENAZAS HACIA LOS HUMEDALES	
Amenaza Física	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alteración dinámica barra terminal, y por lo tanto entorpecimiento de conexión con sistemas hídricos salinos en el caso de humedales costeros ➤ Extracción y modificación de caudal de agua superficial de tributarios ➤ Quema de vegetación ripariana ➤ Incendios de formaciones vegetales ➤ Extracción agua subterránea y superficial ➤ Drenaje zonas de humedales, por ejemplo explotación de turberas ➤ Sedimentación de ecosistemas de humedales ➤ Deforestación ➤ Alteración del tiempo residencia del agua ➤ Expansión de zonas urbanas
Amenaza Biológica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pastoreo y ramoneo en zonas de humedales ➤ Eutroficación por fecas y orines (pastoreo) ➤ Proliferación de algas tóxicas ➤ Depredadores domésticos (gatos y perros) que afectan fauna nativa, especialmente avifauna. ➤ Monocultivos, por simplificación y fragmentación de ecosistemas circundante, y pérdida de biodiversidad ➤ Extracción biomasa, por ejemplo leña ➤ Descarga de residuos líquidos orgánicos domésticos ➤ Deforestación vegetación ripariana e impacto en la biodiversidad por pérdida de ecosistemas ➤ Introducción especies exóticas, por ejemplo, rana africana (<i>Xenopus laevis</i>) en humedales como el Yali y el Peral.
Amenaza Química	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contaminación difusa proveniente del uso de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas) en la agricultura. ➤ Descargar riles (urbanos e industriales) con alta concentración nutrientes y sales ➤ Descarga de riles y variación de temperatura ➤ Descarga de metales pesados

Fuente: Adaptada de "Manual para la planificación del manejo de las áreas protegidas del SNASPE", 2017.

La Tabla 7 demuestra parte del nivel de comprensión que en Chile se tiene en relación a los peligros y amenazas a los cuales los humedales están expuestos, puesto que cada una se asocia a la diversidad y distribución de los 1.248 humedales a nivel nacional.

También se debe considerar que a nivel nacional gran parte de las amenazas que hoy se están dando en Chile se encuentran presentes al unísono en un mismo ecosistema, es decir, los humedales bajo el contexto climático actual en Chile comúnmente están en riesgo de ser afectados por los tres tipos de amenazas (física, química y biológica) (MMA, 2011).

2.3. Estado de los humedales en la actualidad

2.3.1. Factores y procesos causales

La situación de los humedales es resultado directo de gran parte de las dinámicas sociales, económicas y culturales características de los últimos 30 años en Chile, específicamente asociados a los procesos de soberanía de este medio construido por sobre el medioambiente, esto visto de manera específica en cómo se ha desarrollado la evolución de los humedales en el país y cuáles son las causas y factores que interceden el estado de degradación, amenaza y riesgo en el cual los humedales hoy se encuentran.

“Los humedales siguen disminuyendo a escala mundial, tanto en extensión como en calidad. Como resultado de ello, disminuyen los servicios de los ecosistemas que los humedales proporcionan a la sociedad” (Ramsar, 2015, p.1).

Los humedales en Chile son diversos y dinámicos, integradores en categorías y formas, más no en procesos de degradación y dinámicas causales, es decir, los procesos de carácter antrópico y climático, a pesar de ser procesos comunes en relación a estos ecosistemas, poseen impactos diferentes en relación a cada área donde se está dando esta dinámica situacional de amenaza, riesgo o degradación de un humedal. El actual contexto de sequía en amplias extensiones territoriales del país -Región de Coquimbo, Región de Valparaíso, Región de O’Higgins y la Región del Maule- ha contribuido de manera desfavorable al escenario de la falta de recursos hídricos en cuencas, acuíferos y diversidad de cursos de agua del país. Las causas de esta situación radican en las dinámicas medioambientales climáticas a una escala general y específica re-escalada a los territorios. A nivel particular existe una presencia asociada a actividades extractivistas desmedidas y descontroladas del recurso hídrico (MOP, 2020). Este -recurso- es acumulado y direccionado para actividades de desarrollo económico específicas por sobre del nivel mínimo de acumulación recarga de las

cuenca que necesitan tanto los ecosistemas como las comunidades cercanas a estos cursos para subsistir y desarrollarse.

Gran parte de estas situaciones tales como degradación y desaparición de humedales, se debe a un marco y rol institucional irregular en relación a la fiscalización y control de áreas protegidas y sus recursos esenciales (Schorr, 2018b). Sin embargo, también se puede evidenciar que la culpa de una institucionalidad poco fiscalizadora no es la totalidad del problema de administración y funcionamiento. El sector económico determinado por la competencia y propiedad puede ser causante de gran parte de los problemas que aquejan a los humedales a un nivel de escala territorial político administrativo. Empero se debe ser crítico al mencionar que a pesar de que la causalidad pueda recaer en parte al sector privado, la acción de este se potencia a través de las falencias fiscalizadoras para sacar máximo provecho y eficiencia de beneficios y servicios ecosistémicos que entrega un humedal pero que, al mismo tiempo superan, el nivel de adaptabilidad y sustentación de un humedal (Avendaño et al., 2019-b).

2.3.2. Una urbanización asincrónica con los humedales.

Como ya es conocido el estado de los humedales en Chile se encuentra amenazado por múltiples frentes, los cuales se asocian de manera directa al medio construido que según el reglamento del SEIA, Art. N° 12, letra f.4, es el equipamiento, obras de infraestructura y cualquier otra obra relevante. Asimismo se describen las actividades económicas, tales como industriales, turísticas, de transporte, de servicios, y cualquier otra actividad relevante existente o planificada, es decir, construcciones de carácter antrópicas tales como las observadas en la Laguna El Peral podrían ser una causa plausible de la variación vegetaciones en base a su crecimiento y distribución.

En Chile, a medida que su economía ha evolucionado temporalmente, las ciudades costeras han sufrido un proceso de expansión sostenida producto de esto aparecen como algunos de los elementos determinantes de la situación de vulnerabilidad de los humedales (Cerasa & Martínez, 2007). Los humedales en la actualidad están inmersos y se desarrollan en diversidad de ambientes y escenarios, sin embargo, hay uno de ellos que es preponderante

tanto para la finalidad de esta investigación como también para el contexto situacional en la actualidad, es decir, nos referimos al contexto urbano de los humedales. Los humedales poseen áreas de influencia considerables según especie o escala que se desee observar todas estas pertenecientes a un sistema de corredores y áreas de distribución específicos (Mitsch & Gosselink, 2015-c). Sin embargo en la actualidad los humedales se encuentran inmersos en un medio construido caracterizado por aumento de la población con una morfología estructural tanto de viviendas irregulares (caso El Peral) y condominios verticales (caso el Membrillo). En el caso de La Laguna El Peral esta dinámica es especial, ya que abarca uno de los procesos que podría explicar parte de la situación vegetacional presente en la laguna y además es un proceso que se infiere tanto en los objetivos como en los antecedentes el cual es el crecimiento de la población de Playas Blancas. Este aumento de población no solo se caracterizó por un aumento en la demanda de servicios básicos y el aprovechamiento de los recursos del humedal si no también un dinamismo en su evolución morfológica (Figura 6) que puede tener influencias directas en el humedal hoy representadas y catastradas por la fundación Kennedy en el año 2015.

Figura 6. Evolución temporal de la Localidad de Playas Blancas



Fuente: Servicio aéreo fotogramétrico de Chile, S.F.

Sin embargo, si se observa la evolución de la morfología en la zonas circundantes a la laguna se evidencian un aumento en las construcciones en predios cercanos y algunos aun comprendidos en la problemática limítrofe antes mencionada. Los impactos de la morfología urbana al ambiente de un humedal son diversos y radican desde impactos asociados a la acústica que altera la percepción y sectorización de aves hasta cambios en los patrones de anidación y por ende modificación de hábitats (Caycedo-Rosales & González, 2018) hasta impactos físicos, químicos y biológicos en los procesos que se dan en un humedal.

2.3.3. Conservación de la vegetación del humedal.

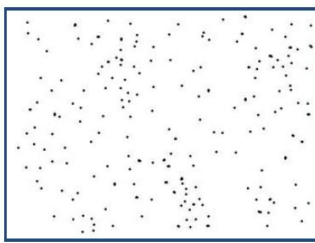
Dentro de los componentes y estructuras en un humedal se encuentra la vegetación, la cual según el manual revisado de métodos útiles en el muestreo y análisis de la vegetación del año 2015, se define como un conjunto que resulta de la disposición en el espacio de los diferentes tipos biológicos de plantas presentes en una porción cualquiera del territorio geográfico. Su importancia y funcionalidad radica en el ciclo y desarrollo de los humedales. La importancia de la vegetación es en base al rol de protección y alimentación que es vital para el desarrollo y ciclos de migración de diversidad de especies de aves que se encuentran en el humedal.

La vegetación es uno de los primeros componentes de los humedales en reaccionar cuando existen procesos o eventos de alteración en relación a la calidad de un humedal, esto debido a la dinámica estructural de la vegetación a los cambios y perturbaciones de carácter antrópico y climático, es por ello que se puede asociar el estado de la vegetación a la condición del humedal de manera general, ya que al conocer el estado de la salud de la vegetación se puede conocer el estado del humedal y así generar acciones para proteger la salud ecológica de los humedales (Escenarios Hídricos 2030, 2021-c). Además la vegetación puede ser descrita en relación a las estructuras que la caracterizan o sus enfoques (biológicos, morfológicos y de biomasa). Los conjuntos estructurales se pueden distribuir horizontalmente o bien verticalmente en estratos de vegetación que designa los niveles sucesivos de altura en que se encuentra las masas vegetales. En relación al área de investigación se podrían encontrar ambas categorizaciones asociadas a la forma y estructura del humedal. Ambos componentes se presentan generalmente como formaciones vegetales o

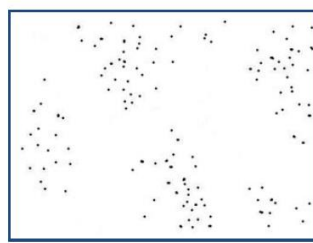
en otros casos como tipos de vegetación usados en diferentes clasificaciones a determinar (Díaz, 2015).

La vegetación presente en los humedales es variable y dinámica según zona climática, latitudinal y litológica. En los hábitats marcados por su fragilidad e importantes amenazas para su conservación resultan especialmente importantes, como es el caso de las lagunas estacionales, que difieren de las de aguas permanentes en la aparición de una fase seca recurrente (Vega & Garcia, 2019), por ende la vegetación se adapta y es variable en relación a la cantidad y calidad del espejo de agua y la alimentación del humedal, por consiguiente la vegetación demuestra un dinamismo y un patrón especial según especie, el cual puede ser de características aleatorias, agregadas o regulares (Figura 7).

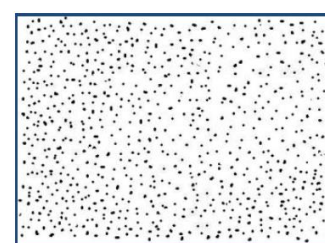
Figura 7. Patrones espaciales de la vegetación



A. Patrón aleatorio



B. Patrón agregado



C. Patrón regular

Fuente: Ferro-Díaz, 2015.

Asociado al lugar y estructura del humedal, la vegetación que se encuentran en este humedal se caracteriza por estar ligada un ambiente lacustre con influencia de un clima mediterráneo litoral, por ende la vegetación existente en el humedal está caracterizado por diversos tipos de vegetación contenidas en la guía de manejo de CONAF del año 1985. Tales especies son la *Scirpus Californicus* (trome), especie que cubre grandes áreas en los sectores ribereños de la laguna. En relación a las plantas acuáticas que se desarrollan en el cuerpo de agua, se identifica el *Myriophyllum aguaticum*, especie que domina en la laguna y que parece constituir la base alimentaria de las aves herbívoras.

La vegetación arbórea y arbustiva-asociada al área de estudio- es escasa y está representada por ejemplares aislados y por un escaso número de especies, entre árboles y arbustos se identificaron los siguientes: *Schinus latifolius* (molle), *Peumus bolduspoly gamus* (boldo), *Baccharis concava* (vautro), *Schinus* (huingan), *Muehlenbeckia hastulata* (quilo). En el

sector de las dunas, la vegetación presente formaba una protección que contribuye en gran parte a la estabilización de las dunas, sin embargo por el aumento de asentamientos y población esta pudo haber disminuido su cantidad y distribución. En esta zona dunaria era posible encontrar *Ambrosia chamisonis* (garra de león), *Carpobrotus chilensis* (dota) y *Luoinus arboreus* (chocho). Esta última se encuentra como matorrales aislados en gran parte del humedal. En el sector poniente nos encontramos con una pequeña vega, de gran variedad de especies herbáceas que representan un especial valor para las especies de aves herbívoras como el *Rallus sanguinolentus* (piden), la *Porphyriops melanops* (pollolla) y algunas especies de patos. Además, esta vega es una de las áreas donde salen a alimentarse los *Myocastor coypus* (coipos) que se desarrollan y habitan en la laguna.

3. Capítulo III. Marco Metodológico

3.1. Enfoque metodológico de la investigación

Esta investigación se asocia a un enfoque de carácter cuantitativo. Sampieri (2014) defiende que en la actualidad las problemáticas están caracterizadas por un sesgo metodológico asociado al enfoque por el cual se observan, analizan o desarrollan, por ende es imperativo que esta investigación no pierda el enfoque geográfico que debe caracterizar a toda trabajo realizado bajo el alero de esta ciencia, la cual se caracteriza por un enfoque ligado al espacio y al ser humano.

El enfoque estructural cuantitativo se entiende como una secuenciación de **procesos que permiten ser probados** (Sampieri, 2014). Esta estructura metodológica se asocia de manera precisa al desarrollo y temática de esta investigación debido a su estructura objetiva de la comprensión de hechos que suceden bajo realidades específicas. El enfoque cuantitativo se caracteriza por interrelacionar la teoría, la investigación y la realidad de manera sistémica, es decir, se presenta la existencia de un hecho, situación o acción a analizar, la cual puede o no estar dotada de subjetividades características de la realidad, esta realidad es comprendida como el constructo en el cual el hecho se desarrolla y que genera la hipótesis que se busca comprobar en la investigación. A través de la investigación cuantitativa y un diseño metodológico coherente se pueden extraer los resultados de aquella primera observación de la realidad, esto desde un punto objetivo, ya que el hecho, situación o acción se transforma en un fenómeno que está dotado de argumento y sustento objetivo comprobable.

El fin de este enfoque es explicar y predecir fenómenos investigados a partir de la rigurosidad del proceso emprendido dando como resultado la generación de un nuevo conocimiento (Otero, 2018, p. 5).

Para el caso de esta investigación el enfoque cuantitativo ofrece diversidad de ventajas y sustentos que son esenciales para investigaciones asociadas a los humedales -algunos ejemplos en la Tabla 8-, en específico las que tienen como finalidad comparar indicadores en búsqueda de datos actuales de este ecosistema, esto a través de la creación de modelos, clasificaciones y categorizaciones que permiten una correcta validación y justificación de enunciados, hipótesis o teorías.

Tabla 8. Trabajos de carácter científico modular en relación a los humedales

TITULO	AUTORES	AÑO	RESUMEN
Análisis espacial como una herramienta para la delimitación de humedales urbanos	Juan José García Duque, Andrés Camilo Gómez Hoyos Mario Alberto Quijano-Abril	2018	Para la definición de un humedal es necesario considerar factores físicos y bióticos, tales como hidrología, geología, geomorfología, entre otros. La compilación y ponderación de las variables, tanto físicas y bióticas, se realizó mediante un análisis multicriterio (Rodrigues, Montibeller, Oliveira, y Bana e Costa, 2017) Este procedimiento, se definen como un método que permite orientar la tomade decisiones, partiendo de criterios comunes.
Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile	Pablo Norambuena V. Cristina Orchard G. Pablo Vernal H. Camila Molina G	2022	Chile cuenta hoy con la Ley de Protección de Humedales Urbanos (Ley N°21.202), que tiene por objeto proteger los humedales urbanos declarados por el Ministerio del Medio Ambiente. En este contexto, la “Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile” viene a cumplir con la obligación establecida al Ministerio del Medio Ambiente en relación a elaborará una guía metodológica que oriente técnicamente la delimitación y caracterización de humedales urbanos en base a los criterios definidos en el Artículo 8”
Delimitation and classification of coastal wetlands: Implications for the environmental management of the Colombian Continental Caribbean	Santiago Millán Jenny Alexandra Rodríguez- Rodríguez Paula Sierra-Correa	2021	Este estudio describe el proceso de construcción cartográfica de humedales costeros del Caribe colombiano a escala 1:100 000 y los resultados obtenidos en cuanto a su cuantificación y tipificación basado en imágenes ALOS PALSAR 1. Como resultado se delimitaron 576 627 hectáreas de humedales costeros (1,9 % del total de humedales de Colombia), de los cuales el 20,4 % se encuentra dentro de áreas protegidas.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.2. Tipo de investigación

Las investigaciones temáticas de humedales se caracterizan por tener diversidad de formatos y estructuras, estas asociadas a los enfoques y alcances epistemológicos que las determinan y definen. Sampieri (2014) describe que los alcances de una investigación no son una hoja de ruta inmutable, ya que estos alcances pueden ir variando al conjunto del desarrollo de esta y sus procesos. Es en este contexto que Galarza (2020) también menciona que una investigación puede tener diversos alcances, estos parten desde el nivel exploratorio -siendo un nivel base investigativo-, descriptivo, correlacional hasta llegar a un alcance explicativo. La finalidad última de estos alcances se relaciona a la búsqueda de una explicación del fenómeno que se está investigando, siendo en este caso la variación de la cobertura vegetal.

El objetivo de esta investigación es analizar la cobertura vegetal del Santuario de La Naturaleza Laguna El Peral durante los años de 1991 a 2021 con la finalidad de categorizar su variabilidad en relación a características vegetacionales y a los sucesos de influencia antrópica. Los elementos mencionados en este objetivo tributan de manera directa a una investigación de carácter exploratoria, ya que la temática a tratar en está en proceso de construcción permanente busca enfocar un fenómeno variable en el tiempo, como también, sus contextos y sucesos a través de especificación de propiedades y estructuras analíticas tales como valores históricos de índices de vegetación, presencia de masas de agua, tendencias de datos agrupados, análisis de recurrencia vegetacional, análisis estadístico etc. Esto con la finalidad de dar respuesta o aproximación a la hipótesis y a la vez generar una base de información para futuros estudios relacionados al área de estudio y la temática.

Los procesos de acción antrópica mencionados a lo largo de esta investigación son abordables desde diversidad de perspectivas y alcances, sin embargo, la necesidad de poseer datos específicos y precisos asociados a la unidad de análisis en cuestión resulta imperativo -para esta investigación-, puesto que el desarrollo de procesos de poblamiento y contaminación generan gran presión en el medio natural y poder evidenciar con detención el impacto de esta presión antrópica a través de imágenes satelitales y técnicas en terreno es el fin último de esta investigación con una perspectiva ligada a la cobertura vegetal que se da en el humedal Laguna El Peral.

3.3. Diseño Metodológico

3.3.1. Tipo de muestra o muestreo requerido

Esta investigación está caracterizada por un muestreo de carácter no probabilístico intencionado, esto entendiéndose a que existe un interés, juicio o principio en específico del investigador en una determinada sección de eventos. En este muestreo se aplica de tres maneras en esta investigación, primeramente se aplica – el muestreo- para el criterio de área primordial de trabajo (área comprendida en el marco introductorio previa a una nueva delimitación que surge como base de análisis posterior al marco metodológico), otro para la extracción de imágenes satelitales y otro levantamiento de datos.

Toda muestra o proceso de muestreo está determinado a un área, pero dicha área sin una escala no es un término preciso. La Laguna El Peral evidencia características de problemas limítrofes, sin embargo, al existir diversidad de conflictos entre delimitaciones los criterios de muestreo se asocian principalmente a características del humedal en relación a los límites planteados por el boceto realizado por CONAF del año 1985 de 25 hectáreas estas en relación al cuerpo de agua (sus máximos y mínimos en relación al límite delimitador de CONAF) y finalmente las estructuras viales circundantes de la zona, esto permitiendo seccionar primordialmente la laguna a una área, menor a 30 hectáreas ubicada entre la ruta G-98-7 y la localidad de Playas Blancas. Se excluye a los espacios que se encuentren fuera de este muestreo zonal para el posterior análisis de NDVI y NDWI, sin embargo, para la representatividad de datos climáticos esta área no es aplicable debido a que los datos climáticos según ubicación de receptores y distribución espacial de datos poseen un área media de 7 km a la redonda del humedal.

Con respecto a las imágenes satelitales lo intencionado del muestreo cuenta con aun más preponderancia, ya que los análisis a elaborar constan de periodos específicos seccionados por el investigador, esto con la intencionalidad de dar justificación a un periodo representativo de datos climáticos (temporalidad de sucesos). Con respecto a los criterios de levantamiento de datos de variables climáticas se seleccionan las más relevantes según la bibliografía recopilada y presentada en el marco teórico siendo estas seccionales a 3 variables (temperatura, precipitación acumulada y evapotranspiración). Se excluyen variables similares como la humedad, la presencia de niebla y procesos globales como el P.D.O y el

E.N.O.S a nivel analítico en profundidad, esto debido al nivel exploratorio de esta investigación y a la vez la temporalidad de esta, su desarrollo y su complejidad.

3.3.2. Unidad de análisis

Para efectos de esta investigación la unidad de análisis es toda la zona que compone La Laguna El Peral, en específico las contempladas en el esquicio cartográfico de CONAF del año 1985 y la posterior delimitación a realizar por el investigador, además esta unidad de análisis contempla la zona saturada, zona de transición y zona exterior contenida en el manual de delimitación de los humedales urbanos del año 2022, además de formaciones vegetacionales en el humedal.

Durante el proceso de la investigación se busca evidenciar la variación vegetal en el área de estudio bajo la temporalidad antes planteada. Por tanto se busca que a través de la validación de las técnicas de teledetección y software estadísticos se logre lograr calibrar el modelo de teledetección espacial asociado a las imágenes satelitales esto a través de un traspaso de escalas y reconstrucción histórica.

Tabla 9. Unidades de Análisis por Objetivos Específicos

	DIMENSIÓN	VARIABLE	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Objetivo General:	Analizar la cobertura vegetal durante los años de 1991 a 2021 para categorizar la variabilidad y distribución de esta en relación a índices espectrales (NDVI, NDWI y NDBI) conforme a los sucesos de influencia antrópica y climática en La Laguna El Peral.			
Objetivo específico 1 Delimitar un área de cobertura y límites superficiales del Humedal Laguna El Peral.	El Humedal. La Laguna. La temporalidad. La institucionalidad.	Límites políticos administrativos. Cuerpo de agua (espejo de agua). Distribución de la vegetación. Asentamientos antrópicos.	Levantamiento bibliográfico. Levantamiento fotográfico en terreno. Identificación de criterios afines y disonantes. Extracción de imágenes satelitales. Criterios de definición de área.	Plan Regulador Comunal de la comuna de El Tabo 1984. Inventario nacional de humedales del año 2015-2020. Visor de datos del Servicio de Impuestos Internos. Plan Regulador Comunal de la comuna de El Tabo (2019).

				Google Earth- función time lapse
Objetivo específico 2 Categorizar coberturas superficiales asociadas a la vegetación y presencia de agua en relación al cálculo de índices espectrales tales como el NDVI y NDWI sumado a identificaciones temporales de variables climáticas (temperaturas, precipitaciones y evapotranspiración).	El Humedal a lo largo del tiempo y su relación con variables de carácter climatológicas en relación a valores de vigorosidad de vegetación y presencia de agua a lo largo de temporalidad seccionada dentro el periodo principal de levantamiento (1991.2021).	<p>Criterios de delimitación de área a base del objetivo específico 1.</p> <p>Datos mensuales y anuales de índice NDVI-NDWI.</p> <p>Temperatura mínima, máxima y media (promedio)</p> <p>Precipitación total acumulada.</p> <p>Evapotranspiración real (ETR).</p>	<p>Determinar y categorizar rangos de valores según escala y distribución de datos</p> <p>Creación de gráficos de series temporales seccionadas.</p> <p>Análisis de los resultados extraídos desde el software cartográfico (índice NDWI, NDVI).</p> <p>Creación de gráficos de series temporales seccionadas.</p> <p>Análisis gráficos de la distribución de variables climatológicas asociadas a la escala del humedal.</p>	<p>Software ArcGIS Pro-versión 3.0.1 (2022).</p> <p>Software de tabulación de datos Excel.</p> <p>Software modelador de estadístico y gráfico EXCEL.</p>
Objetivo específico 3 Identificar los cambios y distribución de la vegetación en relación a la evolución histórica de La Laguna El Peral asociada a sucesos de influencia antrópica y climática.	Incidencia y Correlación de las variables climatológicas-antrópicas con relación a los índices NDVI y NDWI y su validación y significancia en el humedal.	<p>Valores de correlación a base del índice de determinación R².</p> <p>Significancia estadística.</p> <p>Distribución de valores gráficos entre índices y variables climatológicas-antrópicas.</p>	<p>Correlacionar valores y datos climatológicos con indicador NDVI y NDWI.</p> <p>Validación cruzada y estadística de la distribución de valores y su R²</p> <p>Tablas de graduación de valor R²</p> <p>Análisis de los resultados de la validación cruzada</p> <p>Análisis de recurrencia histórica índice NDVI y índice NDWI</p> <p>Análisis de distribución de valores índice NDBI.</p>	<p>Software de tabulación de datos Excel.</p> <p>Complemento estadístico "Data Analysis" -Prueba T.</p> <p>Software ArcGIS Pro-versión 3.0.1 (2022).</p>

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección

3.3.3.1. Técnicas de documentación bibliográfica

Las técnicas de investigación bibliográficas se asocian con la recopilación de información para la investigación mediante diversidad de medios físico-digitales tales como libros, artículos, y todo material asociado o al levantamiento de información -relacionado o atinente a la temática de la investigación- que ha sido realizado por otros autores con anterioridad (Suárez, 2018).

Dentro de la gran mayoría de las investigaciones ecosistémicas se considera fundamental un trabajo de gabinete aún más desde una perspectiva geográfica en relación al levantamiento de datos de una perspectiva holística integradora -un ejemplo de esto son la elaboración de bases de datos-. Es por esto por lo que la revisión de documentación es importante para responder a los objetivos planteados, considerando dentro de ello cualquier información que esté disponible al periodo previo del inicio de esta investigación (Marzo del año 2022).

Los levantamientos de información bibliográficos o referenciales permiten crear nociones, preceptos e ideas previas acerca de los fenómenos, procesos y acontecimientos que ocurren a un nivel de escala macro y que luego son traídos a una realidad de escala local. Dicho levantamiento bibliográfico en gran medida considera bases de datos, libros, revistas, revistas académicas, revistas indexadas, documentales, informes técnicos, estrategias, fotografías, exploradores y repositorios SIG -todo esto dentro del medio físico-digital-.

3.3.3.2. Extracción de imágenes satelitales rango 1991 – 2021

Los sistemas de información geográfica poseen premura en la respuestas a estas necesidad actuales tal como menciona Hardy & Anderson (1973) y aplica Offer & Karnieli (2010) en los resultados de sus investigaciones asociados de manera directa y la evolución de variables sistemáticas de distinto orden vegetal, edafológica, climatológica etc.

Los SIG permiten incorporar gran cantidad de variables relacionadas a las informaciones que los sensores remotos pueden obtener, esta variabilidad de medición enlazada a satélites presentes, cantidad y calidad de imágenes entre otros permiten generar una primera aproximación al área que se desea investigar. A base de esta primera aproximación, se

delimitó que para la temporalidad abarcada en esta investigación y para teledetectar correctamente los objetivos propuestos se trabajaran con los satélites Landsat 5 *Thematic Mapper (MP)*, Landsat 7 *Enhanced Thematic Mapper (ETM+)* y Landsat 8 *Operational Land Imager (OLI)*. La finalidad de ocupar diversidad de satélites se concatena a dos criterios en específico. Uno al criterio temporal, ya que cada misión Landsat poseen temporalidades diferentes en relación al comienzo de su misión y al término de esta, misma por ende, para evitar perder datos y lograr una reconstrucción histórica adecuada se trabajará con la mayor cantidad de satélites. El segundo criterio se relaciona a que el área de estudio al estar ubicada en una zona litoral está expuesta constante a fenómeno de intrusión de trenes de niebla (Cereceda, 1989) por tanto existe el escenario probable de que existan menor cantidad de imágenes en ciertas fecha debido a procesos de corrección característicos de la biblioteca utilizada (Nivel dos corrección TOA) (Gyanesh et al., 2009)

La extracción de imágenes satelitales se llevará a cabo a través del software Google Earth Engine code -el cual trabaja bajo sistemas de comandos JavaScript-, para los cuales se considerarán algunos criterios para la extracción de dichas imágenes. Cada satélite posee un código script con parámetros homologados (Tabla 10), es decir, implica que los valores contenidos en el código script posean la misma matriz de valores, esto asociado a la distribución de las fechas (Landast 5 04/1991 - 03/2012, Landast 8 Fechas 04/2013 - 03/2021. Cabe mencionar que también se incluye el satélite Landast 7 entre las fechas 04/2012-03/2013. Sin embargo, su uso será a discreción, debido al bandeo proveniente de un fallo en el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) del satélite (Albemarle, 2020), por ende su uso será seccional. Cabe mencionar que la descarga de imágenes satelitales contempla el cálculo de los índices de NDVI y NDWI.

Tabla 10. Códigos script por satélite

LANDSAT 5 - FECHAS (04/1991 - 03/2012)	LANDSAT 7 - FECHAS (04/2012 – 03/2013)
<pre>// 1 Define la librería para descarga masiva var batch = require('users/fitoprincipe/geetools:batch'); // 2 Define libreria de imagenes var LS5=ee.ImageCollection("LANDSAT/LT5_L1T_32D AY_NDVI")- ee.ImageCollection("LANDSAT/LT5_L1T_32DAY_ NDWI") // 3 Define rango de fecha .filterDate('2010-01-01','2010-12-30') ///.filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAJE', 'less_than', 0.2) //4 define filtro area .filterBounds(geometry) print('LS5', LS5) // 5 exporta 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)</pre>	<pre>// 1 Define la librería para descarga masiva var batch = require('users/fitoprincipe/geetools:batch'); // 2 Define libreria de imagenes var LS5=ee.ImageCollection("LANDSAT/LE7_L 1T_32DAY_NDVI")- ee.ImageCollection("LANDSAT/LE7_L1T_32 DAY_NDWI") // 3 Define rango de fecha .filterDate('2010-01-01','2010-12-30') ///.filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCE NTAJE', 'less_than', 0.2) //4 define filtro area .filterBounds(geometry) print('LS5', LS5) // 5 exporta 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(clip mosaic,'Crudeimg', options)</pre>

Landsat 8 - Fechas (04/2013 - 03/2021)

```
// 1 Define la librería para descarga masiva
var batch = require('users/fitoprincipe/geetools:batch');

// 2 Define libreria de imagenes
var LS5=ee.ImageCollection("LANDSAT/LC8_L1T_32DAY_NDVI")-
ee.ImageCollection("LANDSAT/LC8_L1T_32DAY_NDWI")

// 3 Define rango de fecha
.filterDate('2010-01-01','2010-12-30')
///.filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAJE', 'less_than', 0.2)

//4 define filtro area
.filterBounds(geometry)
print('LS5', LS5)

// 5 exporta 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, 2022.

Se establece un criterio mínimo de nubosidad (cobertura de nubes) del 20%, esto debido a la zona geográfica del área de investigación y para no perder considerable cantidad de datos por nubosidad o niebla. Debido a falta de datos e imágenes en relación a periodos específicos de las bibliotecas antes mencionadas se gesta una batería de datos -a base del código script de la Tabla 11- que contempla diversidad de bandas (prescindiendo del uso de las bandas térmicas) para trabajar indicadores-índices que tributan al desarrollo investigativo (NDBI) y solventar los vacíos de información de las bibliotecas-específicamente el NDWI (2017-2021).

Tabla 11. Código de descarga masiva de imágenes satelitales

Código de descarga masiva datos faltantes NDWI - límite de descarga 5 años	Código de descarga de imágenes con todas sus bandas para el índice NDBI
<pre>// 1 Define la librería para descarga masiva var batch = require('users/fitoprincipe/geetools:batch'); // 2 Define libreria de imagenes var LS5= ee.ImageCollection ('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA') // 3 Define rango de fecha .filterDate('2010-01-01','2010-12-30') ///.filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAJE', 'less_than', 0.2) //4 define filtro area .filterBounds(geometry) print('LS5', LS5) // 5 exporta 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)</pre>	<pre>//Imagen para LANDSAT 8 var IMGLandsat8= ee.ImageCollection ('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA') .filterDate ('2018-04-01', '2018-12-30') //fechas disponibles ('2013-04-11' - actualidad) .filterBounds (geometry) .filterMetadata ('CLOUD_COVER', 'Less_Than', 20); var Landsat8Filtro = ee.Image(IMGLandsat8.median()); var Landsat8Clip = Landsat8Filtro.clip (geometry); Map.addLayer (Landsat8Clip, { min: 0.0, max: 0.5, gamma: 1.0, bands: ['B4','B3','B2']}, 'Imagen Landsat 8'); print (Landsat8Filtro); Export.image.toDrive({ image: Landsat8Clip.select("B4", "B3", "B2"), description: 'Landsat8_30m', scale: 30, region: geometry});</pre>

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3.3.3. Tabla de operalización de técnicas.

Tabla 12. Técnicas e Instrumentos por Objetivos Específicos

Objetivos específicos	Técnica de levantamiento	Técnica de Análisis	Instrumento
Objetivo específico 1 Delimitar un área de cobertura y límites superficiales del Humedal Laguna El Peral.	<p>Recogida documental.</p> <p>Imágenes satelitales.</p> <p>Imágenes levantadas en terreno.</p>	<p>Delimitación del humedal desde aspecto de gabinete y en terreno.</p>	<p>Software ArcGIS Pro- versión 3.0.1 (2022)</p> <p>Notebook HP Pavilion- Gaming-15</p>
Objetivo específico 2 Categorizar coberturas superficiales asociadas a la vegetación y presencia de agua en relación al cálculo de índices espectrales tales como el NDVI y NDWI sumado a identificaciones temporales de variables climáticas (temperaturas, precipitaciones y evapotranspiración).	<p>Repositorio Google Earth Engine Explorer.</p> <p>Recogida documental.</p> <p>Exploradores climáticos (CR2-Climate Engine) y de precipitación /Mawün.</p>	<p>Procesamiento de imágenes satelitales NDVI, NDWI.</p> <p>Análisis de recurrencia históricos NDVI y NDWI.</p> <p>Análisis de datos climáticos según serie y escala temporal.</p>	<p>Archivo SHP delimitado del área de estudio del humedal para esta investigación</p> <p>Software ArcGIS Pro- versión 3.0.1 (2022)</p> <p>Software de tabulación de datos Excel</p>
Objetivo específico 3 Analizar los valores de la variabilidad de cobertura vegetal en relación a las características vegetacionales actuales presentes en la laguna	<p>Validación índice de coeficiente de determinación y significancia estadística (prueba t).</p> <p>Herramienta de geoprocso Cell Statistics.</p> <p>Cálculo índice NDBI.</p>	<p>Análisis temporal grafico de variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración con índice NDVI y NDWI.</p> <p>Análisis del modelado estadístico temporal de las variables por clasificación agrupada.</p> <p>Análisis del índice NDBI y sus valores en zonas cercanas al humedal.</p>	<p>Archivo SHP delimitado del área de estudio del humedal para esta investigación.</p> <p>Software ArcGIS Pro- versión 3.0.1 (2022).</p> <p>Software de tabulación de datos Excel.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3.4. Técnicas de procesamiento

3.3.4.1. Aplicación de los SIG asociada a la cobertura vegetal y sus alcances.

Las concepciones de los humedales están asociados a una diversidad de dimensiones que estudian e interpretan los conocimientos que estos ecosistemas contienen, esto desde normativas nacionales e internacionales, así como sus importancias a nivel escalar y de manera específica y su calidad y evolución en relación a la vegetación. Desde la perspectiva geográfica se debe comprender cómo la concepción de los humedales es trabajada y representada por Sistemas de Información Geográfica (SIG). Poder cuantificar los cambios que la vegetación tiene a lo largo de una temporalidad conlleva una diversidad de metodologías de carácter cuantitativo (cada una con requerimientos y metodologías específicas), sin embargo, estas no son propiamente aplicables desde una perspectiva geográfica. Desde 1970 los SIG han revolucionado el mercado de la percepción remota satelital, esto asociado a la inmediatez de la información en softwares, hardware y su capacidad de interpretación debido a su tecnificación de indicadores e instrumentos (Esri, 2022). Los SIG permiten poder comprender a través de una temporalidad la variabilidad de cambios en estructuras, líquidos y formas de diversos tipos y, en este caso, la vegetación no es la excepción, puesto que esta es comprendida bajo el término de cobertura vegetal.

La clorofila es considerada la propiedad vegetal más relevante y es entendida como un pigmento de color verde que absorbe la luz solar y absorbe el espectro de la luz azul y roja (Pasqualotto et al., 2019-a). Sin embargo, la presencia de clorofila refleja el espectro de color verde, siendo este un indicador de la salud de la planta, ya que más contenido de clorofila indica que la planta posee más verdor, en cambio menos reflexión de luz verde indica menos contenido de clorofila presente en la planta, por consiguiente el verdor es menor y su salud puede estar en condiciones desfavorables en relación a las otras plantas que sí reflejan el color verde, por ende este indicador biofísico se vuelve esencial para la cobertura vegetal y monitoreo de ecosistemas con vegetación considerable (Pasqualotto et al., 2019-b).

3.3.4.2. Sensores remotos aplicables a indicadores a la clorofila.

Los sensores remotos se asocian a los instrumentos y objetos que permiten determinar características físicas y biológicas de objetos mediante mediciones a distancias sin un contacto físico (USAID, 1993). Estos sensores remotos se enmarcan en el estudio y aplicación de las técnicas de percepción remota. Existen dos tipos de percepción remota, una asociada a un carácter activo, que significa que no necesitan de una emisión de energía para recopilar información y otra de carácter pasivo, asociada a la energía que ocupan estos sensores (luz solar) para captar la información a través de la reflexión de la luz en los objetos en determinada área, en base a esto se debe tener en cuenta la escala del espectro visual y el espectro electromagnético que son los tipos de ondas que los sensores captan y clasifican en bandas según sea el instrumento (Fourqurean et al., 2019).

El ser humano puede ver a una determinada frecuencia, asociada directamente a la clasificación técnica denominada como Red, Green, Blue (RGB) la cual se denomina como espectro visible. Sin embargo, el ojo humano pierde gran parte de la información debido a que no percibe gran cantidad de ondas emitidas por el sol debido a la capacidad visual, empero estos sensores de carácter pasivo sí tienen la capacidad de captar, transformar y categorizan sus valores a través de imágenes satelitales. Aunque esta información es captada de manera inmediata por los instrumentos a través de los sensores, la información en relación al contenido de los datos debe pasar por una serie de procesos de categorización de sus índices, en específico la información asociada a los valores de la cobertura vegetal que según instrumento de medición (satélite) es diferente asociada a la clasificación de valores de las bandas pertenecientes a las del RGB, infrarrojo cercano, medio, lejano y bandas térmicas asociadas, es decir, cada misión o tipo de satélite posee diferentes clasificaciones de bandas (Cumandá & Mainato, 2021).

3.3.4.3. Índices espectrales.

Existen diversos índices y complementos que insuman el cálculo de los valores de vegetación asociados a diversas actividades tales como las mencionadas por Jared Crain, Ivan Ortiz-Monasterio y Bill Raun (2012) en relación al uso de estos sensores para la actividad agrícola asociado los fertilizantes de nitrógeno entre otras aplicaciones agrícolas. Esto demuestra la versatilidad y aplicabilidad de los índices en diferentes ciencias, sin embargo existen índices por excelencia que se asocian al trabajo, estudio e investigación de la vegetación en los SIG los cuales son:

- **El Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)** es un indicador numérico que utiliza las bandas espectrales rojas y cercana al infrarrojo. Los valores altos de este índice corresponden a áreas que reflejan más en el espectro del infrarrojo cercano (NIR). Una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano corresponde a una vegetación más densa y saludable (Sykas, 2020).
- **El Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)** el cual es una versión modificada del NDVI para que sea más sensible a la variación del contenido de clorofila en el cultivo.
- **Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)** este se utiliza para corregir el NDVI por la influencia del brillo del suelo en áreas donde la cobertura vegetativa es baja (USGS, 2019)

Sin embargo, para esta investigación el índice estructurante a desarrollar es el índice de **Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**. Este es el índice más común en relación al análisis superficial de la cobertura vegetal y se define como la diferencia, normalizada por la suma, entre la absorción de radiación en la región espectral roja, causada principalmente por pigmentos de clorofila y la reflectancia en la región espectral (infrarrojo cercano) (Song et al., 2022).

Los valores de categorización este índice se estructura desde -1 a 1 siendo el valor negativo el asociativo a que no existe vegetación viva en ese valor. En contraposición el valor cercano 1 se caracteriza por poseer una vegetación saludable en relación al contenido reflectado de clorofila captado en una determinada área por un sensor determinado. No obstante, existe

una falta de conceso en relación a categorías intermedias, es decir, algunos autores definen que hasta 0,2 la vegetación posee baja respuesta al índice NDVI y de 0,4 hacia arriba comienzan las categorizaciones de buena respuesta al índice NDVI y otros crean y utilizan categorizaciones según investigación, estudio, calidad de la imagen y software SIG. En cambio esto se asocia directamente a criterios de categorización de intervalos y valores lo cual convierte al NDVI en un índice del estado fitosanitario basado en los datos recopilados por sensores en relación a la luz reflejada de la cobertura vegetal en cuestión (Girimonte & García Front, 2020).

Bajo esta misma línea se comprende que para esta investigación el cuerpo de agua es una unidad indivisible de la vegetación, ya que ambas son interdependiente, para analizar y levantar datos de la presencia de agua en una determinada superficie o advertir las potenciales zonas húmedas el índice por excelencia es el índice de **Diferencial de Agua Normalizada (NDWI)**.

No obstante, como una de las variables de la investigación se enlaza de manera directa al desarrollo de las edificaciones se debe considerar la existencia de un índice que determina estimaciones de zonas edificadas este se llama **Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI)** y en conjunto al NDVI son esenciales actualmente para la planificación urbana y análisis territoriales ya que evidencian variables de evolución en función del tiempo.

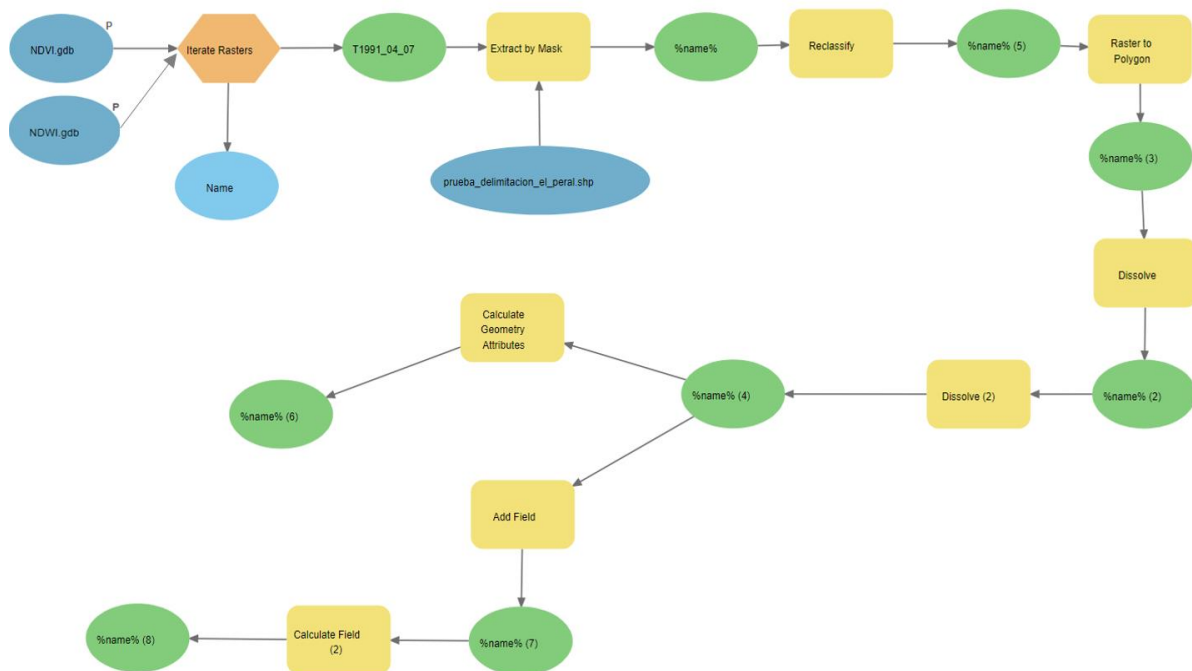
3.3.4.4. Delimitación del humedal.

Para la delimitación de un humedal existen diversidad de metodologías, tanto en terreno como gabinete (Norambuena et al., 2022). Debido a la variedad de límites que el humedal ostenta según dimensión se realizará una matriz de datos en el cual se realzan los valores comunes y disonantes entre definiciones esto para aunar criterios de una nueva delimitación para que a través de una foto interpretación en terreno se evidencien la presencia y pertenencia de estos criterios comunes tales como límites con las edificaciones urbanas, zonas de transición, formaciones vegetacionales, etc. Esto con la finalidad de generar una cartografía actualizada de la identificación y delimitación del humedal en cuestión esto a través de una poligonización realizada en el software cartográfico ArcGIS Pro.

3.3.4.5. Procesamiento de imágenes satelitales.

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se procederá de manera inmediata a su almacenamiento en el disco partición D: de arquitectura de estado sólida (SSD) esto para el trabajo eficiente de los procesos de las imágenes. Para el trabajo y desarrollo de las imágenes satelitales se crean dos carpetas base en la partición principal y en el software estas dos carpetas serán dos Geodatabase³, una de las imágenes NDVI (207 imágenes satelitales) y otra Geodatabase de imágenes NDWI (267 imágenes satelitales) dichas recopilaciones satelitales están en una escala temporal del periodo estudiado -de 1991 a 2021- según año hidrológico -primero de abril del año A al 30 de marzo del año B- (Meteodata, 2020). El total de imágenes a procesar es de 474, por ende automatizar procesos mediante la herramienta Model Builder logrará un resultado automatizado y adecuado a lo planteado en los enfoques de esta investigación. El model Builder a realizar (Figura 8) es similar para ambos índices ya que se busca como fin último conocer la distribución de valores NDVI y NDWI en la superficie de la laguna en la unidad de medida estandarizada en hectáreas

Figura 8. Model Builder de iteración de procesos imágenes satelitales NDVI-NDWI



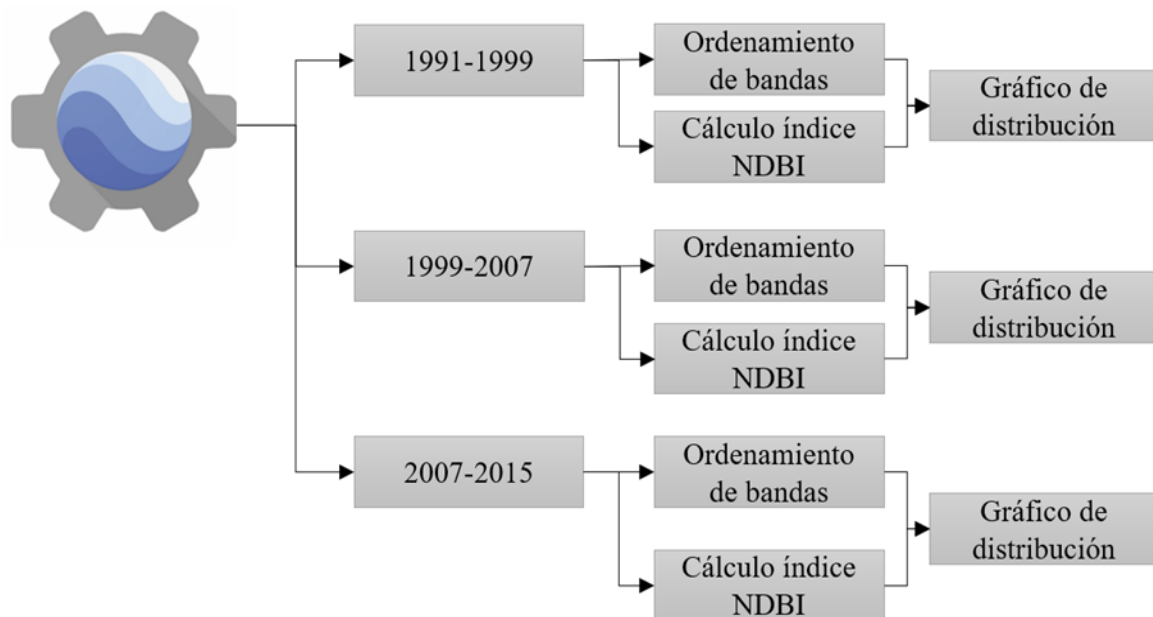
Fuente: Diagrama de elaboración propia, 2022.

³ Información geoespacial contenida en una carpeta de archivos que comparten un origen común.

La línea de procesos inicia con un iterador raster aplicado a la Geodatabase de ambos índices⁴Extraer por mascara para cortar la imagen satelital al Shapefile de la delimitación de la laguna>Reclasificación de valores de los índices a base a las clasificaciones elegidos para esta investigación>Raster a polígono>Herramienta dissolve>calcular campos y calcular geometría para obtener los valores del área en hectáreas según rango> herramienta merge (unir) para unificar todos los datos y extraer una Tabla de datos CSV con todos los valores.

Con respecto al índice NDBI se aplicó un procesamiento diferente a las imágenes satelitales antes mencionadas (Figura 9) para ello se extrajeron 3 imágenes satelitales representativas de los periodos 1991-1999, 1999-2007 y 2007-2015, estas imagen al estar corregidas y pre procesadas se trabajan de manera inmediata en el software cartográfico, en este software se generan tres procesamientos a las tres imagen satelitales el primero consta de un ordenamiento de las bandas (reflectancia del infrarrojo de onda corta y reflectancia de la banda infrarrojo cercano) según satélite esto para obtener una primera escala de visualización de valores. El segundo proceso es el cálculo de NDBI mediante la misma consola raster y finalmente la generación de gráficos de distribución de valores del NDBI según su rango.

Figura 9. Diagrama procedimental alterno de extracción de imágenes satelitales NDBI



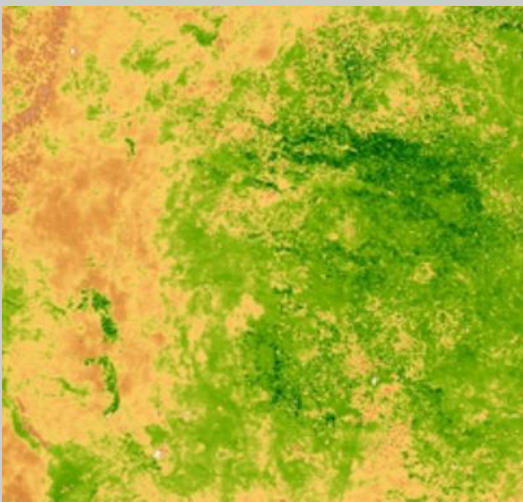
Fuente: Diagrama de elaboración propia, 2022.

⁴ Símbolo de continuación de procesos.

3.3.4.6. Cálculo y categorización del NDVI

El cálculo del índice normalizado de vegetación se caracteriza por tener diversidad de indicadores según la bibliografía que se dese consultar, tal como fue referenciado en el capítulo 2 la categorización de los valores se tabula bajo el umbral oscilante de -1 hasta 1 esto según lo expuesto por Girimonte & García Front (2020). La forma de obtención de este índice varía según software, esta puede ser mediante la extracción de bandas satelitales y cálculo de bandas (Tabla 13) o automatizado y calculado a través de herramientas de descarga de bibliotecas en específico como es el caso de para esta investigación, ya que la imagen satelital ya contiene el cálculo de NDVI.

Tabla 13. Cálculo, características y representación del índice NDVI

Imagen Landsat		Fórmula NDVI	
		$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	
		Donde: NDVI = Índice normalizado de vegetación. λ_{NIR} = Reflectancia de la banda infrarrojo cercano. λ_{Red} = Reflectancia de la banda color rojo.	
Índice	Descripción	Resolución	
NDVI	índice de vegetación normalizado	30 metros	

Fuente: Tabla de elaboración propia, 2022.

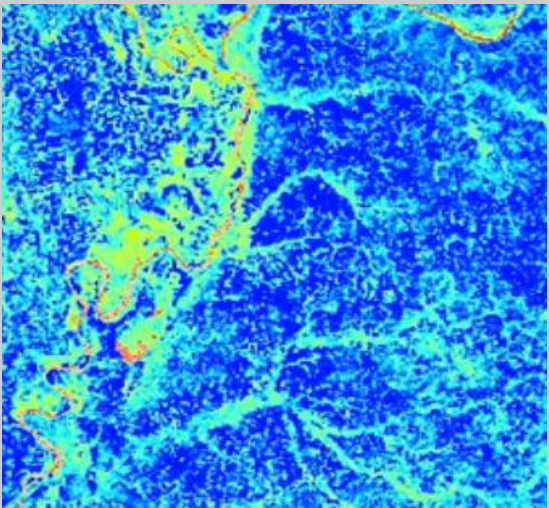
Con respecto a la clasificación de índices estos se clasificaron considerando el área total del humedal delimitada (27,9 hectáreas), tipo de humedal y formaciones vegetacionales, a base de esto los valores son clasificados en cuatro categorías numéricas y nominativas. El primer rango que va de -1.0 a 0 se nombra como “Zonas de baja respuesta al índice NDVI”, los valores de 0 a 0,3 se nominan como “Zonas de baja respuesta al índice NDVI”, los valores entre 0.3 y 0.6 son denominados como “Zonas de respuesta intermedia al índice NDVI” y el

rango entre 0.6 a 1.0 se denomina como “Zonas de buena respuesta al índice NDVI”. Cabe mencionar que estos rangos acoplan específicamente al área de estudio de esta investigación.

3.3.4.7. Cálculo y categorización del NDWI.

El cálculo del índice diferencial de agua normalizado se caracteriza por tener diversidad de indicadores y clasificación según la bibliografía que se dese consultar, la categorización de Gao en relación a la bandas Near InfraRed (infrarrojo cercano) y la banda SWIR- Short Wavelength InfraRed (infrarrojo corto) estas permiten evidenciar valores que oscilan desde 1,0 a 1,0 (Bo-Cai, 1996) La forma de obtención de este índice varía según software, esta puede ser mediante la extracción de bandas satelitales y cálculo de bandas (Tabla 14) o automatizado y calculado a través de herramientas de descarga de bibliotecas en específico como es el caso de para esta investigación, ya que la imagen satelital ya contiene el cálculo de NDWI bajo el método Gao.

Tabla 14. Cálculo, características y representación del índice NDWI

Imagen Landsat		Fórmula NDWI	
		$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	
		<p>Donde:</p> <p>NDWI = Índice diferencial de agua normalizado</p> <p>λ_{NIR} = Reflectancia banda infrarrojo cercano.</p> <p>λ_{SWIR} = Reflectancia banda infrarrojo corto.</p>	
Índice	Descripción	Resolución	
NDWI	Índice diferencial de agua normalizado	30 metros	

Fuente: Tabla de elaboración propia, 2022.

Con respecto a la clasificación de índices estos se clasificaron considerando el área total del humedal delimitada (27,9 hectáreas), tipo de humedal y forma del cuerpo de agua, a base de

esto los valores son clasificados en tres categorías numéricas y nominativas. El primer rango que va de -1.0 a 0 se nombra como “Zonas desprovistas de agua”, los valores de 0 a 0,2 se nombran como “Aguas someras” y los valores entre 0.2 y 1.0 son denominados como “Superficie con agua”. Cabe mencionar que estos rangos acoplan específicamente al área de estudio de esta investigación

3.3.4.8. Cálculo y categorización del NDBI.

Uno de los diversos usos de las imágenes satelitales se basa en el monitoreo, detección o análisis de procesos con incidencia en diversas zonas de la tierra. Uno de estos procesos son los cambios que ocurren con frecuencia en las áreas urbanas y periurbanas como consecuencia de la urbanización incesante (Yong & Jingqing, 2000). El Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) permite llevar a cabo una estimación relativa de valores del píxel asociados a su resultante, esenciales para identificar zonas urbanas o zonas edificadas. Cabe mencionar que este índice será utilizado solo para las imágenes Landsat 5 y 7, ya que este cubre la temporalidad de 1991 a 2015, temporalidad en la cual las estructuras en El Peral habrían aumentado y donde acontecen los procesos incidentes en el marco de esta investigación.

Fórmula índice NDBI

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

Donde:

NDBI = Índice de Diferencia Normalizada Edificada.

λ_{SWIR} = Reflectancia del infrarrojo de onda corta.

λ_{NIR} = Reflectancia de la banda infrarrojo cercano.

Los rangos asociados a estos valores dependen de manera directa de la escala y la zonalidad que se aplica, ya que en ciudades como en zonas menos pobladas es diferente tanto la representación cartográfica de los datos como a nivel gráfico, por ende al ser esta zona de

urbanización literal creciente se aplicará un estructura nominativa en solo un rango general que será específico para cada etapa analizada (1991-1990, 1999-2007 y 2007-2015).

3.3.4.9. Gráfico de recurrencia histórica.

El análisis y cálculo del NDVI a todo el rango de imágenes comprendidos indica valores característicos del estado fitosanitario de las plantas el cual tiene como función evidenciar los datos que la evolución del pixel (Figura 10) en torno al análisis planteado dentro de la temporalidad estudiada (1991-2021), para visualizar de manera precisa estos datos se reclasificó los valores iniciales de los rangos NDVI, específicamente sea través de una sumatoria los valores de baja a buena respuesta al NDVI conformando solo un valor de NDVI esto con la finalidad de crear un cartografías y graficas de recurrencia temporal. De igual manera con el NDWI se aplica una sumatoria de sus valores en hectáreas de los indicadores de aguas someras y superficie de agua para generar un solo valor de presencia de agua asociado al NDWI. Dicho procesamiento es permitido por la función Cell statisticis en el software ArcGIS Pro que agrupa las Geodatabase que contiene ambas baterías de imágenes con la finalidad de agrupar todos los datos y a base de la desviación estándar de los datos poder obtener los resultados y valores a lo largo de la temporalidad estudiada por pixel dentro de la delimitación del humedal.

Figura 10. Evolución de valores (píxeles) en el tiempo.



Fuente: Adaptada de portal ESRI "Cell Statistics (Spatial Analyst)", S.F.

Este tipo de análisis a través de una categorización de valores permite seccionar zonas del mismo valor (píxeles), además de observar la progresión o decrecimiento de la vegetación se pueden determinar zonas donde la vegetación está presente y otras donde no lo está o no es captada por los sensores satelitales. Esta variación se puede evidenciar y representar en

anillos seccionales debido a características vegetacionales asociadas a especies hidrófitas, higrofitas y helófitas, y como estas fenológicamente varían según proceso o temporalidad (estacionalidad)(Norambuena et al., 2022).

3.3.4.10. Validación estadística de los valores.

Los análisis y procesos a realizar requieren necesariamente una validación entre variables tanto para validar las relaciones que explicarían parte de la hipótesis como otras relaciones que insuñen al desarrollo de esta investigación de carácter exploratoria. La validación de un modelo es el pilar esencial para una investigación de carácter cuantitativo y más aun con temáticas ecosistémicas con alta entropía antrópica en sus procesos. Para esta investigación se realizan dos validaciones con diversas sub categorías que sustentan o desestiman relaciones entre variables todo esto desde una perspectiva estadística numérica, dichos controles de validación son el coeficiente de determinación (R^2) y la prueba t asociada a la significancia estadística de las relaciones o variables.

- Índice de determinación R^2 .

Posterior a los análisis gráficos categorizados de los valores de NDVI y NDWI validar los datos es vital para la justificación de la hipótesis y a la vez la correlación de los índices y variables climáticas y su incidencia en el modelo estadístico esto con la finalidad de determinar si el grado de asociación -entre variables- es positivo o negativo en relación a un modelo de confiabilidad entre las variables. Los valores del cálculo (rango) de este coeficiente -automatizado en datos gráficos bajo el software excel- se explica por la asociación:

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Donde :

0= Al valor mínimo del modelo, es decir valor de menos confiabilidad- relación entre variables.

1= Valor máximo del modelo, es decir, máxima confiabilidad-relación entre las variables.

R^2 = Valor entre 0 y 1 que indica la relación entre una variable independiente y una dependiente.

Estos valores se distribuyen porcentualmente desde 0[0%] a 1 [100%] siendo el valor más cercano 1 indicativo de la mayor relación porcentual ente variables dentro de un modelo, además evidencia ajuste lineal perfecto (Martínez, 2005-A), en cambio valores más cercanos a 0 evidencian una baja correlación de valores o una baja confiabilidad en la relación de las variables dentro de un modelo o que el modelo no explica nada de la variación total de la variable Y con relación a la variable X. Dentro de la posibilidad de amplitud de valores no se clasificó ningún valor como despreciable en esta investigación por más bajo que su R^2 resulte.

- Aplicación de la prueba t de significancia estadística

Existe un debate teórico con respecto a la confiabilidad base del coeficiente de determinación como sustentación de análisis, ya que a pesar de ser uno de los análisis base y fundamentales para este tipo de procesos este tiende a tener interpretaciones paradójicas (Martínez, 2005-b). Por ello y comprendido este debate se aplica un modelo de validación asociado como significancia estadística, prueba t o t-student. La T-student o prueba t de Student es un tipo de estadística deductiva. Se utiliza principalmente para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos. Este test aplica para un grupo de datos de 30 valores. La finalidad de la aplicabilidad de este test es comprobar si la relación entre variables con varianzas desiguales insuma a comprobar la hipótesis a través de la relación de que si el valor $P(T \leq t)$ two-tail (dos colas) es mayor a alfa (nivel de significancia estadística del 95% [0.05]) la hipótesis nula (no existe variación en los resultados) se acepta, al contrario si es menor la hipótesis se acepta la hipótesis alternativa(Existe significancia en los resultados).

Para clasificar estos valores se trabajará la siguiente Tabla nominativa

Tabla 15. Tabla de valores de valores prueba t.

Hipótesis Nula	No existe variación significativa en los resultados	No hay significancia estadística	No
Hipótesis Alternativa	Existe variación significativa en los datos	Si hay significancia estadística	Sí

Fuente: Tabla de elaboración propia, 2022.

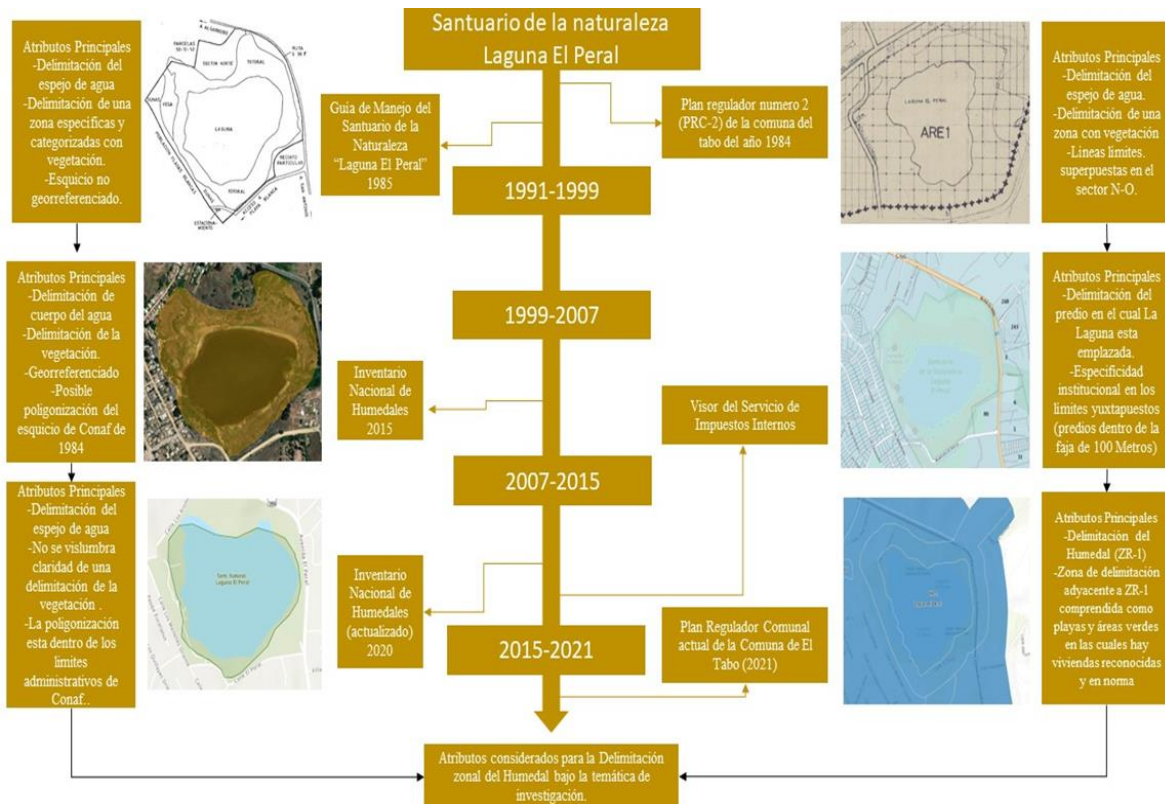
4. Capítulo IV. Exposición y discusión de resultados

4.1. Objetivo específico N° 1.

4.1.1. Análisis de basal de datos superficiales

Las 6 delimitaciones consideradas para esta investigación -Cartografía Plan Regulador Comunal de la comuna de El Tabo 1984, Guía de manejo del Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral 1985, Representación del humedal comprendida en el inventario nacional de humedales del año 2015, representación poligonizada del humedal comprendida en el visor de datos del Servicio de Impuestos Internos, Plan Regulador Comunal de la comuna de El Tabo (2019) y la representación del humedal comprendida en la actualización del inventario nacional de humedales del año 2020- entregan diversidad de características en común y otras que resultan disonantes entre ellas, para ello resulta esencial levantar los datos relevantes de cada una, esto a través de una diagramación secuencial temporal (Figura 11).

Figura 11. Diagrama de atributos significativos de distintas delimitaciones del humedal

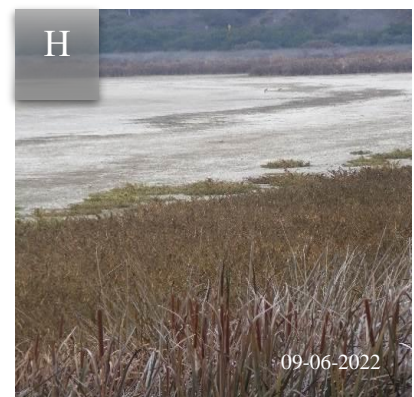
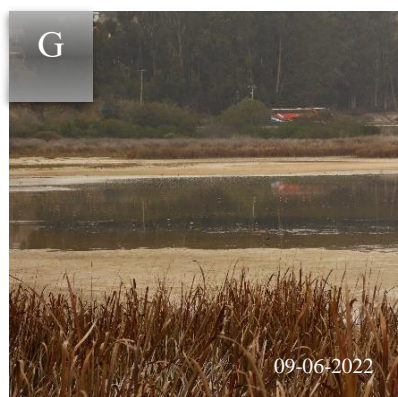
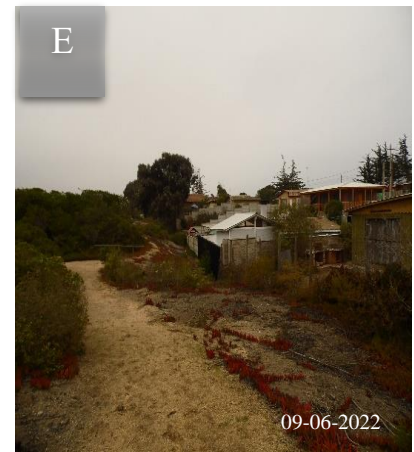
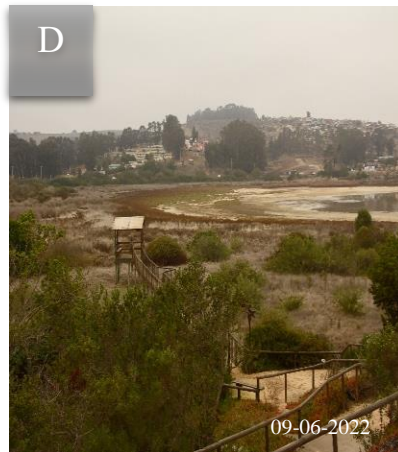
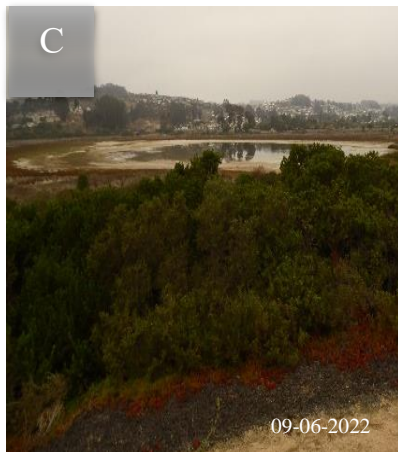


Fuente: Diagrama de elaboración propia. 2022.

Los hallazgos evidenciados en esta diagramación de comparación de datos radican en que durante la temporalidad representativa de la laguna, es decir, su estatus de protección desde 1975 los criterios fundamentales para su delimitación es en primer lugar el cuerpo de agua, esto cobra fuerza debido a las características de la laguna ya referenciadas en el primer capítulo de esta investigación. En segundo lugar, se encuentran los criterios bases políticos administrativos que han tenido variaciones en el tiempo tanto por acción privada (proyecciones tales como Bing Maps, Open Street Maps, Google Maps, etc.) como por el municipio a través de los Planes Reguladores Comunales (PRC) y Conaf. En tercer lugar, se encuentra la vegetación como límite poco claro y evidenciable debido tanto a la falta de información de estas delimitaciones en su estructuración y procesos de delimitación, siendo esta las más complejas de identificar según temporalidad o definición.

Los hallazgos conducentes permitieron dilucidar tres criterios que a base de la identificación en terreno permiten generar las bases de una delimitación justificada para esta investigación. Como ya se referenció en el marco teórico (Página 24) existen multiplicidad de disciplinas e instituciones que poseen una jurisprudencia zonal y general en lo que respecta a la delimitación de un humedal, bajo los nuevos criterios planteados por el guía de delimitación de humedales urbanos del año 2022. Para lograr esta inferencia se ocupó como base un análisis fotográfico en terreno de dos visitas al humedal, una el 09 de junio -Invierno- y el 05 de octubre -Primavera- esto con la finalidad de observar si la variación de estos indicadores presentaba cambios o se identificaba presencia de estos. Como evidencia y material factico se obtuvieron una serie de fotográficas que evidencian el estado actual de este humedal caracterizando visualmente alguno de los elementos esenciales de estos ecosistemas, tales como las zonas de saturadas, de transición (de tipo 2 y 3), zonas exteriores, distribución de la vegetación y sus formaciones tales como Juncal, Pradera y estepa arbustiva.

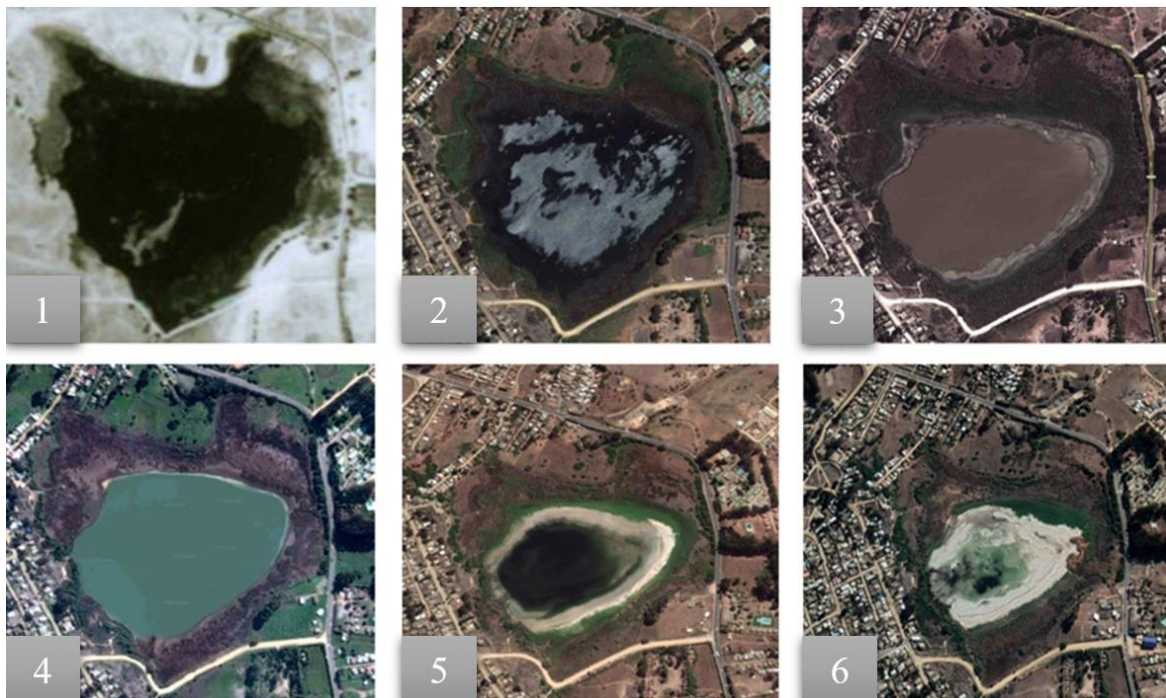
Figura 12. Recopilación fotográfica de levantamiento en terreno



A y B corresponden a zona de transición entre suelo seco y acuoso conectado por pasarelas, las fotografías tomadas en invierno (C, D, F, G Y H) representan la disminución del espejo de agua estacionalmente. La fotografía E ilustra el límite sur oeste del humedal, su cercanía y materialidad. Fuente: Fotografías de elaboración propia. 2022.

El análisis fotográfico permite identificar algunos elementos fundamentales que en la revisión de la delimitación histórica del humedal ya se habían considerado, tal como que la importancia de la vegetación y el cuerpo de agua es indivisible y por ende su análisis es y debe ser conjunto a pesar que se desee observar en específico una de estas variables, de igual manera estos dos componentes del humedal están en un delimitado terreno-territorio que bajo observaciones generales el humedal en cuestión puede tener un área más grande (zonas) de la comprendida en sus definiciones (incluida la actual), esto debido a su dinámica previa la construcción de asentamientos urbanos (Figura 13) algunos ejemplos de esto se pueden observar en una zona adyacente al humedal que corresponde a una posible zona de descarga de la laguna al mar, dicha zona está reconocida bajo el actual PRC del La Comuna de El Tabo.

Figura 13. Progresión temporal del humedal “Laguna El Peral” 1955-2022.

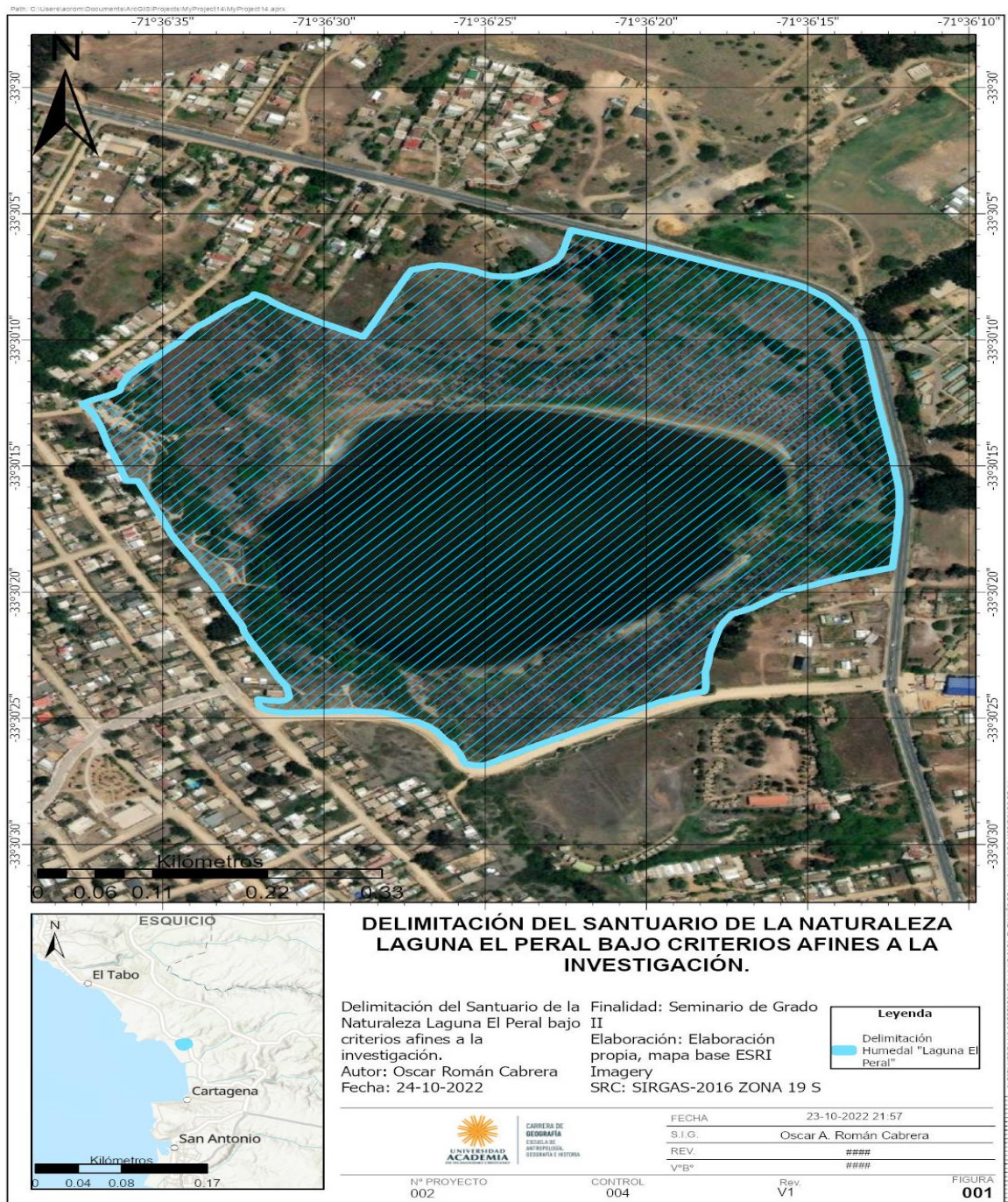


1. Ortofoto SAF (1955), 2. imagen satelital (2011), 3. imagen satelital (2012), 4. imagen satelital (2014), 5. imagen satelital (2017), 6. imagen satelital (2022). Fuente: Laguna El Peral en serie cronológica. (Bardi et al., 2015) - Google Earth.

Consecuentemente a base del análisis comparativo en gabinete y de levantamiento fotográfico en terreno se permitió gestar la cartografía que representa la poligonización efectuada por el investigador en relación a los criterios de:

- Límites políticos administrativos superficiales del humedal.
- Cuerpo de agua.
- Vegetación comprendida dentro de los límites y formaciones vegetacionales.

Figura 14. Cartografía nueva delimitación del área de estudio.

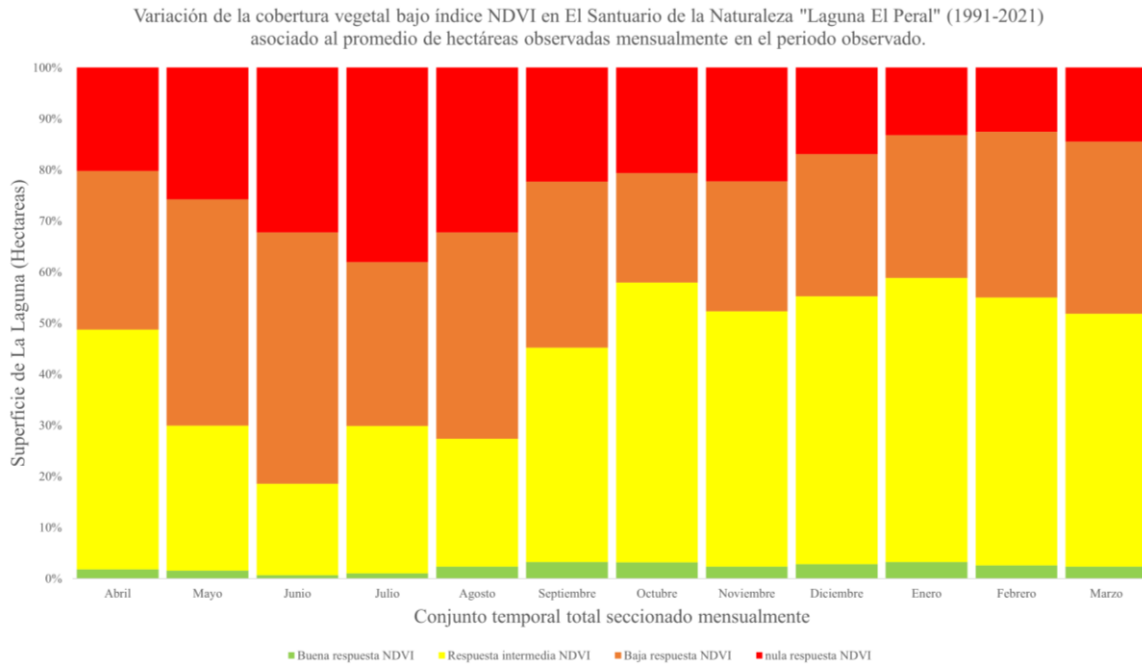


Fuente: Cartografía de elaboración propia. 2022.

4.2. Objetivo específico N° 2.

4.2.1. Análisis temporal de la matriz de índices NDVI.

Figura 15. Gráfico de variación de la cobertura vegetal (mensual) bajo índice NDVI.

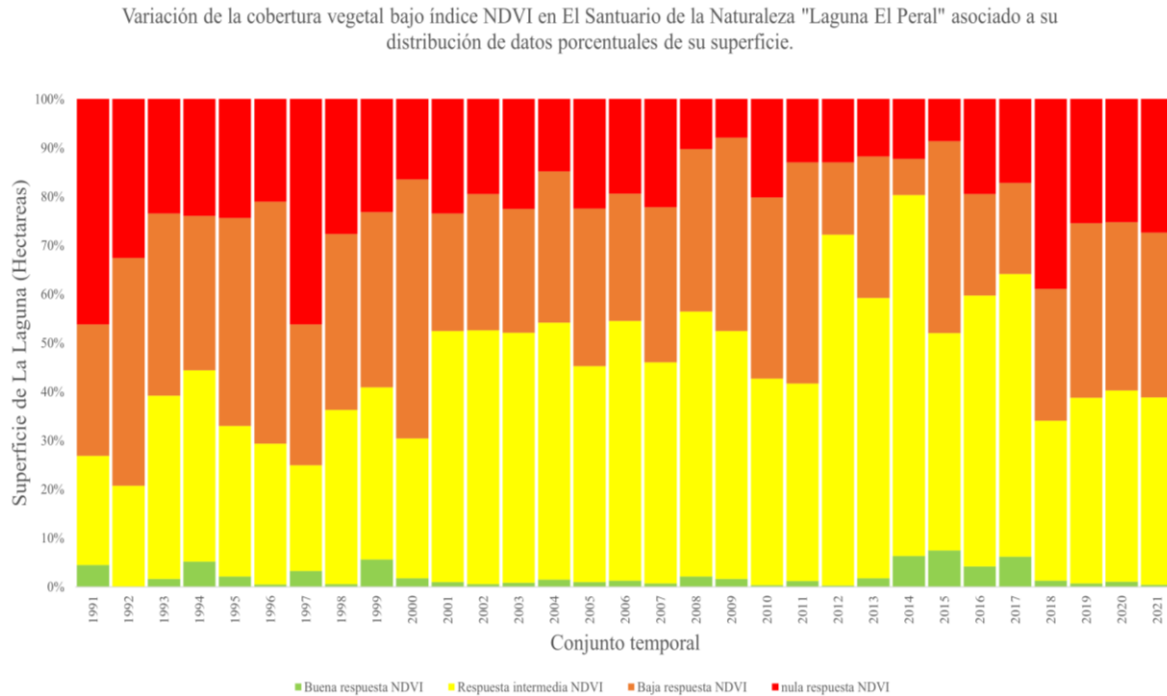


Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

Una observación mensual asociada al indicador de respuesta nula al NDVI evidencia peaks en Junio, Agosto y Julio, siendo este último el peak máximo cubriendo 11.23 hectáreas del total de la superficie del humedal, este indicador desciende cercano a los meses de primavera verano, específicamente de Septiembre en adelante, esto hasta alcanzar un mínimo de 3.5 hectáreas en Febrero. La distribución de valores de respuesta baja al NDVI posee peaks en los meses de Mayo a Agosto, decreciendo en Septiembre y manteniendo una variación de distribución de hectáreas mínima entre los meses siguientes (Octubre a Marzo), mes donde comienza su aumento. La respuesta intermedia al NDVI presenta valores que de Abril a Junio disminuyen hasta llegar a un mínimo de 5 hectáreas (16.6 % de la superficie total) para luego aumentar progresivamente de Julio a Octubre donde alcanza sus máximos valores y se mantiene estable (Octubre a Marzo) con valores de cobertura oscilantes entre 14.5 y 15.9 hectáreas. Finalmente la buena respuesta al NDVI posee variaciones pequeñas en relación los índices previos, su variación a lo largo de todos los meses (Abril-Marzo) es de 0.1 y 0.9

hectáreas siendo su valor más bajo el mes de junio y el valor más alto el mes de Septiembre con 0,9 hectáreas del humedal (3% de la superficie del humedal).

Figura 16. Gráfico de variación de la cobertura vegetal (anual) bajo índice NDVI.



Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

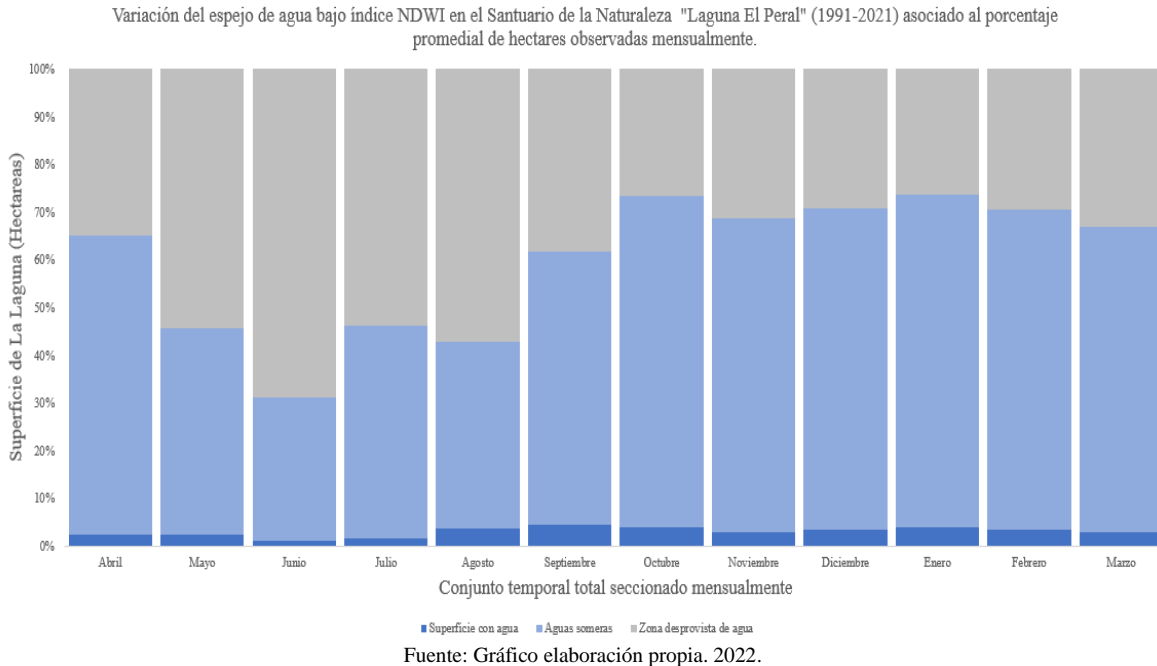
Anualmente se observan distribuciones de datos asociados al indicador de nula respuesta al índice NDVI que salvo los peaks de valores máximos del año 1991 y 1997 se encuentra en una media estándar de variación de entre un 15% a un 10% de la cobertura vegetal. Existe una anomalía en los datos de los años 2012, 2013 y 2014 dicha anomalía puede responder a las imágenes satelitales de los años anormales, ya que posee un número menor al total debido a factores como nubosidad, error de bandeado del satélite Landsat 7 y periodo de lanzamiento y término de misiones Landsat y similares, esto se subsana con un cálculo de media aritmética de valores representativos de los 5 años anteriores a cada año (2012-2013-2014). Posterior a este periodo se evidencia un incremento relativo hasta llegar a un peak el año 2018 correspondiente al 42% de la superficie del humedal (11.23 hectáreas aproximadamente). Durante los años posteriores 2019 a 2021 se observa una estabilización del indicador entre un 25% a un 28% hasta decrecer en el año 2022 terminando el ciclo de medición en marzo de dicho año. El valor índice baja respuesta NDVI presenta una distribución con máximos peaks en el año 1992, 1997 y 2001. Del año 2002 a 2008 hay una

distribución relativamente igualada con variaciones de un 3%, excepto los años 2005 y 2006 que concentran valores similares. Se observa un aumento tendencial de los valores del año 2008 al 2011 para luego descender abruptamente desde 2012 a 2014. Durante 2015 el valor de la vegetación aumenta hasta cubrir un 37% de la laguna en contraposición a los valores de años previos como 2012, 2013 y 2014 en el cual solo cubría un promedio de 19,3 hectáreas. Durante el 2016 y 2017 este indicador presenta valores en decrecimiento escalonado de un 8% y un 6% hasta el aumento repentino en el año 2018, posterior a este año los valores se mantuvieron relativamente estables con una variación de 2% de superficie durante 2019, 2010 y 2021. Finalmente en el año 2022 se evidencia una mayor presencia de este indicador debido a la temporalidad de corte de observación y datos (año hidrológico 2021).

El índice de respuesta intermedia al NDVI presenta fluctuaciones durante gran parte de 1991 al año 2000 existiendo diferencias desde un 3% de cobertura hasta un 20%. De 2001 a 2009 los valores de este indicador en la superficie del humedal son relativamente homogéneos, es decir, su diferencia de valores radica en un rango de 0,2 hectáreas hasta 7 hectáreas. De 2008 hay un descenso sostenido de este valor (3.6%) hasta el año 2011. Entre el periodo de 2012 y 2014 alcanza sus peaks máximos específicamente el año 2014 con una cobertura del 90% de la superficie analizada. Posterior a estos peaks la vegetación asociada a estos valores desciende paulatinamente hasta el año 2022 (medición 2021 año hidrológico). Los valores de la buena respuesta al NDVI poseen una distribución de datos irregulares en relación a los datos anteriores, ya que su distribución en el área de estudio es pequeña, esto visto en la distribución de valores del NDVI que entre 1991 y 2009 la cual presenta su valor máximo en el año 2000 con un 5% de la cobertura. Si se observa el periodo compuesto de 2001 al 2009 se encuentra que los datos se distribuyen homogéneamente, es decir, la diferencia de valores no supera las 1,5 hectáreas incluidas los valores más altos de 2008 (0.5 hectáreas) y 2009 (0.4 hectáreas) de 2010 al 2022 se evidencian los peaks de la vegetación sana observados, estos se concentran con un máximo de 2 hectáreas en el año 2014 y 2,4 hectáreas en el año 2015, posterior a estos peaks la vegetación desciende hasta poseer valores similares al periodo de 2001 y 2009, hasta en la actualidad 2021-2022 posee un valor de 1 hectárea aproximadamente.

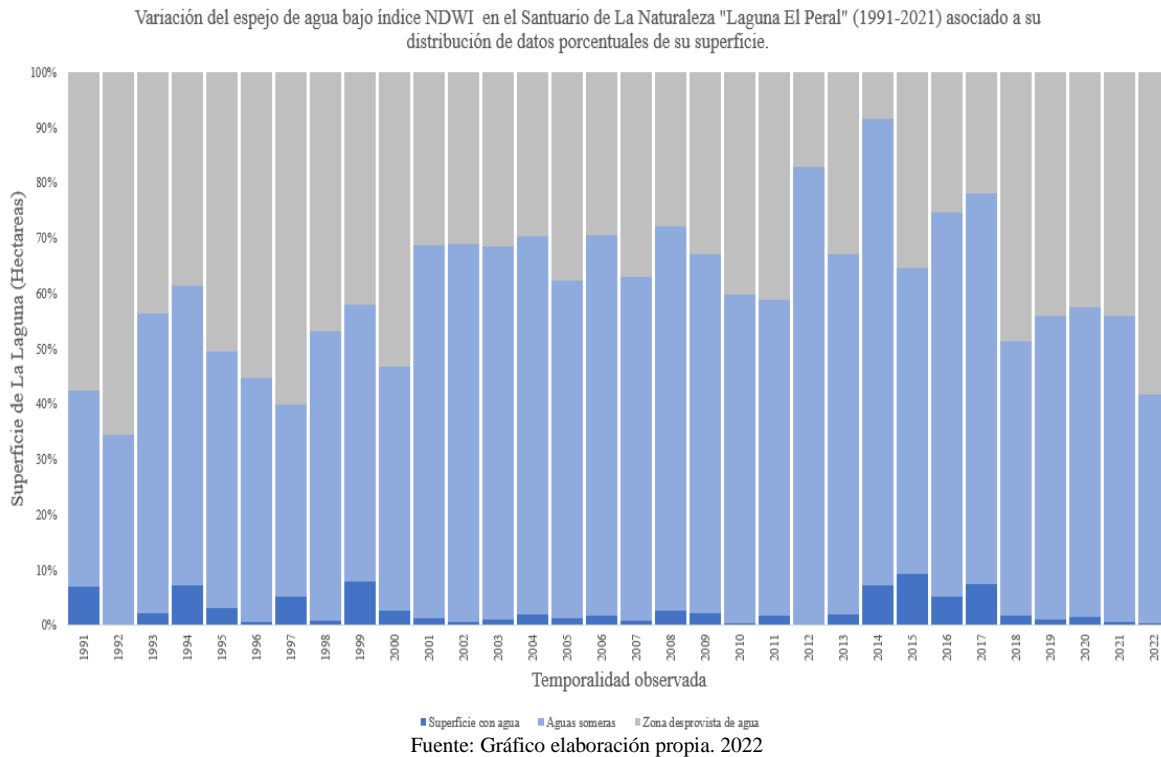
4.2.2. Análisis temporal de la matriz de índice NDWI.

Figura 17. Gráfico de variación de presencia de agua (mensual) bajo índice NDWI.



Mensualmente los datos asociados al indicador “Zonas desprovistas de agua” presentan su máximo en el mes de Junio con 11.6 hectáreas de cobertura, esta comienza a decrecer en el mes de Septiembre llegando a su valor mínimo en el mes de Octubre (6 hectáreas) dicho valor se mantiene oscilante entre 5 y 6 hectáreas hasta Abril del siguiente año. Con respecto al análisis de datos del indicador de “Aguas someras” se observa que inicialmente en la serie temporal (año hidrológico) inicia con un valor de 13.6 hectáreas de cobertura, valor que cercano a los meses de invierno (Junio, Julio y Agosto) desciende hasta alcanzar su mínimo (Junio) de 5 hectáreas de cobertura de aguas someras, valor que aumenta desde Agosto en adelante la tendencia de los datos se mantiene en un rango de 14.2 y 15.6 hectáreas alcanzando su valor máximo en el mes de Enero con un valor de 15.9 hectáreas de cobertura de dicho indicador (59.9% de la cobertura total del humedal). Finalmente el indicador de zona con superficie de agua presenta una distribución homogénea en gran parte de la serie temporal analizada, su valor máximo es 0.9 hectáreas de 27.9 del total de la laguna y el valor más bajo de la serie es 0.19 hectáreas en el mes de Junio.

Figura 18. Gráfico de variación de presencia de agua (anual) bajo índice NDWI.



Anualmente el indicador de asociado a la zona desprovista de agua posee una distribución de datos irregulares durante gran parte del periodo 1991 y 2000, es decir, posee peaks como el año 1992 (el mayor) con un 67% de cobertura total de la laguna y el del año 1997 con un 60% de cobertura total. Posterior a este periodo entre el año 2001 y 2004 la variación es mínima (0.5 a 2 hectáreas de variación entre valores), repiten este patrón los años 2006 y 2008 con una variación similar a la antes mencionada. Del 2008 hasta 2011 se presenta un aumento escalonado de los porcentajes de cobertura del indicador esto hasta alcanzar 41% del área de estudio. Durante el año 2012 se observa un descenso de un 18% de este indicador descenso que el 2013 fue revertido con un aumento de 31% de cobertura y finalmente el 2014 un nuevo descenso de indicadores hasta su punto más bajo 8.2% o 2.3 hectáreas. Cabe mencionar que estos años 2012 a 2014 se consideran como no representativos debido a la menor cantidad de imágenes satelitales obtenidas por razones antes ya mencionadas. Se evidencia un aumento repentino de la cobertura superficial de los datos en el año 2018 y una estabilización de datos de 2019 a 2021 con solo una variación mínima de 2 a 3 hectáreas, hasta llegar al año 2021.

Al observar el periodo de 2012 a 2015 -indicador de aguas someras- se evidencia que los valores peaks máximos de este índice radican en este periodo, el año 2012 con un 83% de la cobertura total de valores superficiales, el año 2013 con un 81% de cobertura y el año 2014 con un 90% de cobertura. Durante el año 2018 los valores aumentan quedando una cobertura de un 35%, es decir, 9.8 hectáreas, la oscilación de valores posterior al 2018 (2019-2021) se mantiene sin mayores variaciones (0.5 a 1 hectárea). En el año 2022 el valor de indicador disminuye un 12% en relación a la falta de datos o variación mensual.

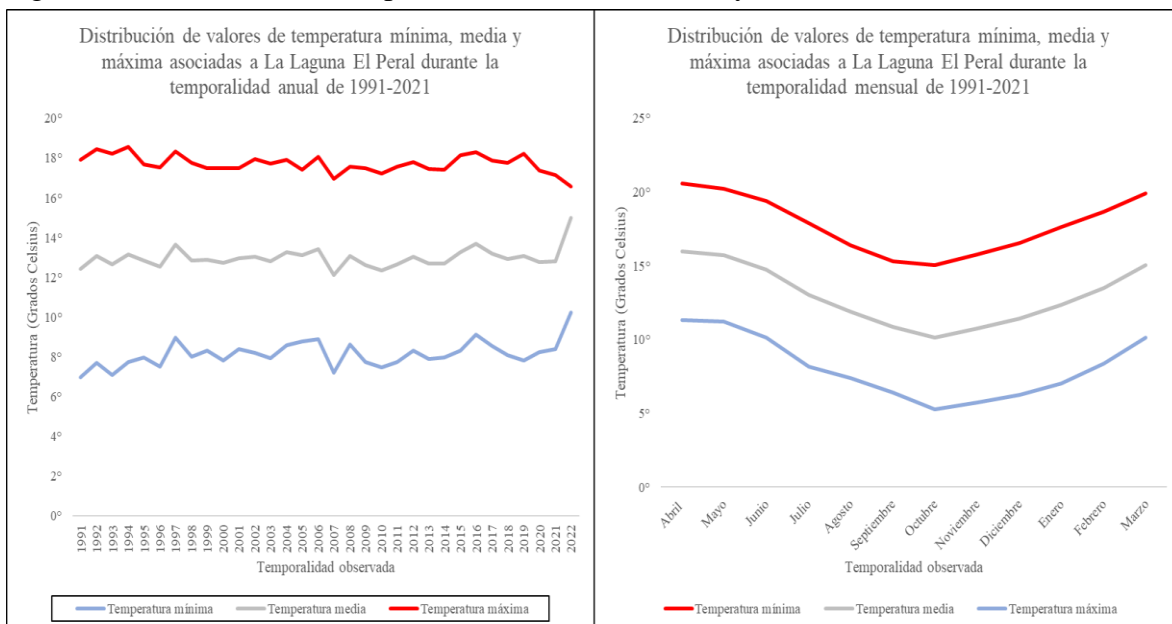
Finalmente el indicador de superficie de agua se distribuye de manera irregular entre 1991 al año 2000. Posterior a 1992 se observa un aumento leve de 0.4 hectáreas en 1993 hasta llegar a 1994 con 1.5 hectáreas para posteriormente decrecer progresivamente a valores bajo las 0.6 hectáreas durante 1995 y 1996. El proceso en estructura antes mencionado devela un patrón que se repite en 1997 con un valor ascendente y dos descendentes, uno antes (1996) y otro posterior (1998) este patrón termina en el año 2000 y ningún valor sobrepasa las dos hectáreas del humedal. Durante el 2001 al 2013 los datos mantuvieron una distribución estable sin oscilaciones, ni extremas. El 2014 se evidencia un aumento del indicador en cuestión hasta llegar a una cobertura de 2 hectáreas aumento que se mantiene e incrementa en el año 2015 con una cobertura de 2.2 hectáreas para luego en el año 2016 decrecer nuevamente a 1.2 hectáreas. El año 2017 marca el último incremento de valores de la serie temporal, ya que con un valor de cobertura de 1.8 hectáreas este comienza a descender hasta igualarse con los valores del periodo del 2001 al 2013 tanto en valores como su distribución.

4.2.3. Presentación y análisis de datos de temperatura (máxima, media y mínima) acumulación de precipitación (mm) y evapotranspiración actual (mm).

- Temperatura (máxima, media y mínima)

La gráfica de temperaturas anuales presenta una distribución similar entre las temperaturas medias mínimas y máximas, dicha reconstrucción difiere de la tendencia de datos de los gráficos de temperaturas asociados para el territorio nacional debido a que el humedal -zona investigada- se encuentra fuertemente influenciada por los procesos y dinámicas de la costa tanto dinámicas oceánicas como dinámicas climáticas, generando esto que sus oscilaciones térmicas no sean abruptas entre ellas (Figura 19).

Figura 19. Gráfico de temperaturas mínimas, medias y máximas (1991 a 2021).



Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

Sin embargo existen años donde se evidencia una relación proporcional entre estas, por ejemplo es de menester resaltar el aumento de temperatura que las tres categorizaciones -de temperatura- tuvieron en el año 1997 (temperatura mínima 8.9°C, temperatura media 13.6°C y temperatura máxima de 18.3°C), de igual manera el año 2007 marca un histórico mínimo en estas tres categorizaciones llegando a temperaturas mínimas de 7.2°C y una temperatura máxima de 16.9°C, tres grados menos que el año anterior (2006). Posteriormente la tendencia es estable con ligeros aumentos y descensos promediales entre 0.5°C y 0.2°C . El año 2016

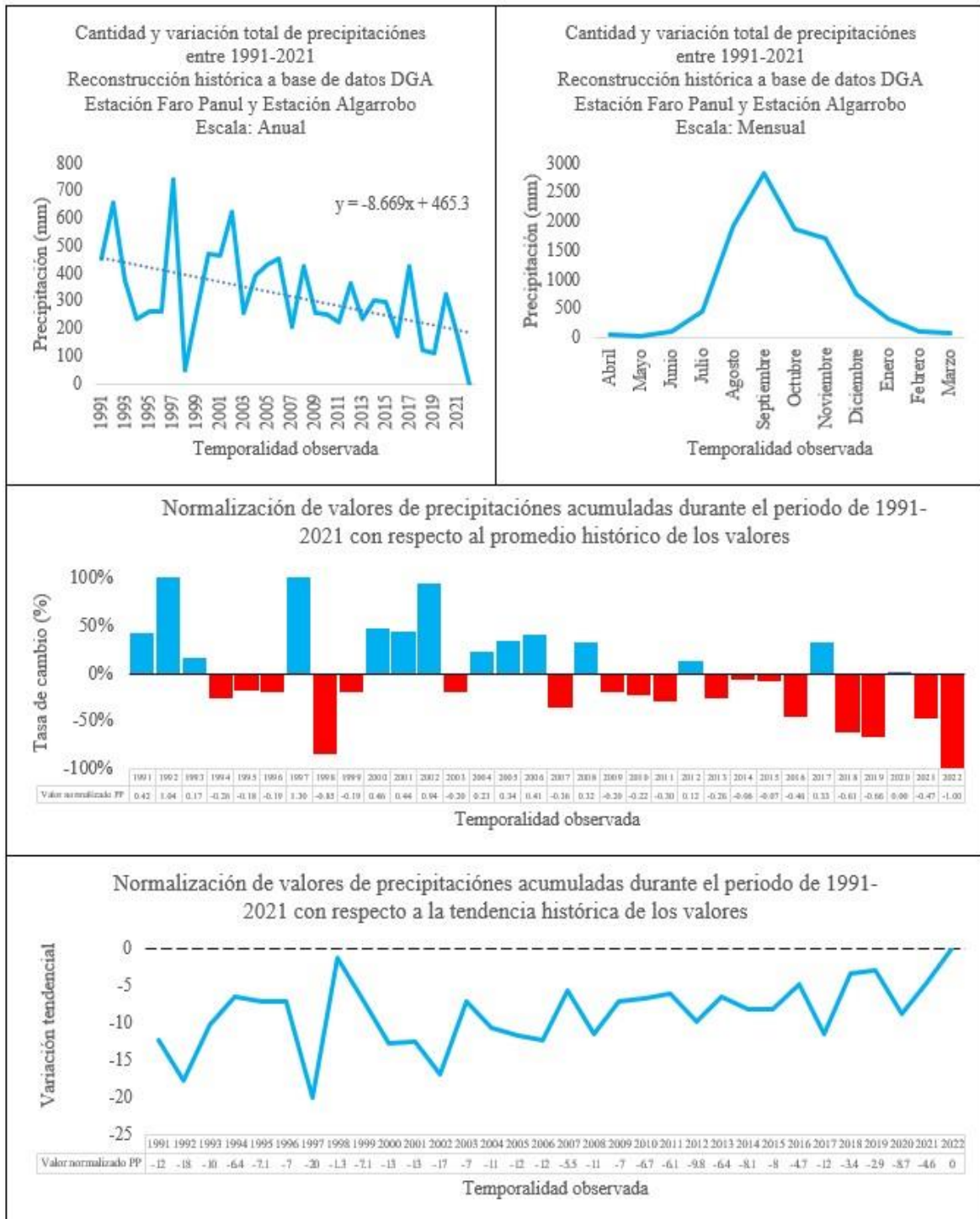
se registra un nuevo aumento de las temperaturas, dicho aumento se concatena con la presencia del ENOS durante el 2015-2016 (Anexo 2). Posterior a esto la temperatura máxima disminuye hasta alcanzar un mínimo de 16.5°C en el año 2022.

Desde una perspectiva mensual las temperaturas se adecuan de manera general al comportamiento de las temperaturas en la región de Valparaíso esto caracterizado por las temperaturas más bajas en los meses de estacionalidad fría y las máximas en la estación cálida de verano, específicamente Enero, Febrero y Marzo (DGAC, 2020). Sin embargo, se recalca que la modelación al estar realizada bajo la temporalidad del año hidrológico posee variaciones con sus homologas asociadas al año calendario, es decir, los mínimos de esta modelación se presentan entre Septiembre-Octubre y los valores mínimos en climogramas de zonas adyacentes como la ciudad de Valparaíso, San Antonio y El Quisco se dan entre Junio y Agosto.

- Precipitación Acumulada

Los datos agrupados asociados a los gráficos siguientes son representación de la suma de los valores de precipitación, dichos valores corresponden a una reconstrucción de una base de datos de precipitaciones asociada a la zona litoral de la provincia de San Antonio esto debido a la inexistencia de datos de una estación próxima al humedal. Para dicha reconstrucción se tomaron los datos de la estación del faro Panul en la cual se extrajeron los datos de 01-04-1991 hasta 30-03-2022, sin embargo, los valores del año 2019, 2020 y 2021 no existen en aquella base de datos por ende a través del servicio Mawün (<https://mawun.cr2.cl/>) se seleccionó la estación climatológica de la comuna de Algarrobo con la cual se completó dicha serie bajo la temporalidad del año hidrológico.

Figura 20. Gráfico de precipitaciones totales acumuladas durante el periodo de 1991 a 2021.



Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

Anualmente la distribución de datos es irregular durante gran parte de la serie temporal, desde 1991 a 1997 se presentan dos valores máximos, uno en el año 1992 con un total de 656.6 mm precipitados y el año 1997 (el más alto) con un total de precipitación caída de 742.4 mm, los valores entre estos periodos poseen una oscilación media de 457.5 mm a 237 mm. En el año 1998 se observa el valor más bajo de las precipitaciones con un total de 49.9 mm precipitados. De 1999 a 2002 el valor de las precipitaciones aumenta considerablemente hasta el año 2002, posterior a esto vuelve a disminuir en el año 2003 (259.4 mm precipitados) y aumenta progresivamente hasta 2006, este año marca el último peak que tendrá la serie histórica ya que los valores posteriores no superan el de este año (455.2 mm precipitados). Del año 2007 al año 2011 comienza a evidenciar un patrón asociado a la disminución de precipitaciones en valores altos y la diferencia entre estos años se ensancha, en contraparte aumenta la dominancia de periodos más estables con menos precipitaciones tales como los años 2007, 2009, 2010 y 2011 (variación máxima de 51 mm) esto se puede relacionar de manera directa al cambio de tendencia de los valores de acumulación de precipitación en relación a un régimen de aridez húmedo-semiárido a uno completamente semi-árido (Santibañez et al., 2014). El año 2012 se caracteriza por un aumento en las precipitaciones totales (362.5 mm precipitados). Posterior a este año las precipitaciones vuelven a descender progresivamente durante 2013, 2016, 2018 y 2019, en este último año la precipitación alcanzó un valor de 109.1 mm precipitados -dicha temporalidad es correspondida a antecedentes de sequedad completa o de gran parte del espejo de agua presentados en el capítulo I de la investigación-.

Con relación a la normalización de valores se evidencia que según el promedio histórico en relación al valor $Y = -0.0269x$ es de carácter negativo significando esto que el descenso de las precipitaciones es tendencialmente válido, de manera similar se evidencian valores anormales entre 1991 y 2004. Posteriormente se evidencia una variación oscilante entre el 41% de datos sobre el promedio histórico y un -30% de datos bajo el promedio histórico. En relación al 2016 en adelante se observa un aumento en la tendencia negativa de los valores promediales, dicho análisis según el promedio histórico coincide en gran parte de la serie temporal de la presencia del ENOS en su fase cálida y fría respectivamente. A base del análisis de la tendencia de datos se confirma que el periodo de entre 1991 y 2002 concentra la mayor amplitud de valores por ende la mayor cantidad de anomalías se dan en este

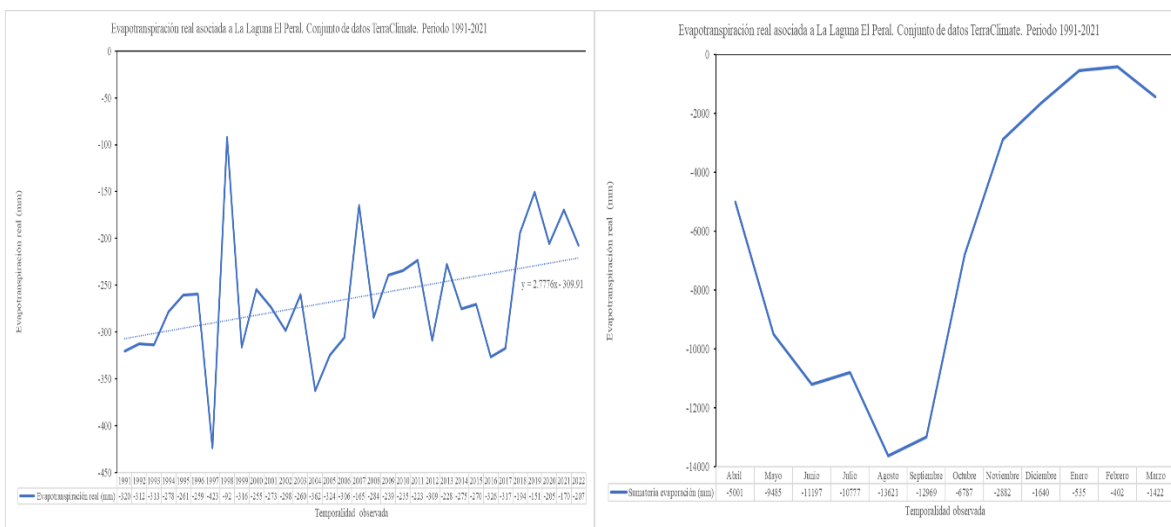
periodo, sin embargo, al avanzar en la serie temporal se evidencia un estandarización de valores tendientes al promedio histórico.

Mensualmente el grafico responde a un análisis tendencial debido a que su valor máximo se concentra en el centro de la temporalidad correspondiente al mes de Septiembre, este dato posee relación y explica los resultados mensuales del índice NDWI en relación a que el aumento de la presencia de agua superficial en la laguna que da en el mes de Septiembre(Rivera & Riveros, 2017-b).

- Evapotranspiración real (ETR)

La variación de la evapotranspiración real (ETR) evidencia -desde una perspectiva anual- un deceso progresivo a lo largo de gran parte de la serie temporal (Figura 21), su máximo se encuentra en el año de 1997 con 432.2 mm, sin embargo el año 1998 se caracteriza por poseer el valor más bajo de la serie temporal (92)mm. Destacable son peaks de 2004 y 2016 concentrando una acumulación de datos que supera a la media estándar de datos (264.08 mm). Posterior a 2016 se evidencia un abrupto descenso en los valores hasta el mínimo de 150.7 mm en el 2019 posterior a este se evidencia un ligero aumento de 50 milímetros en el año 2020 para luego (2021-2022) seguir una tendencia estable oscilante entre 40 mm por valor.

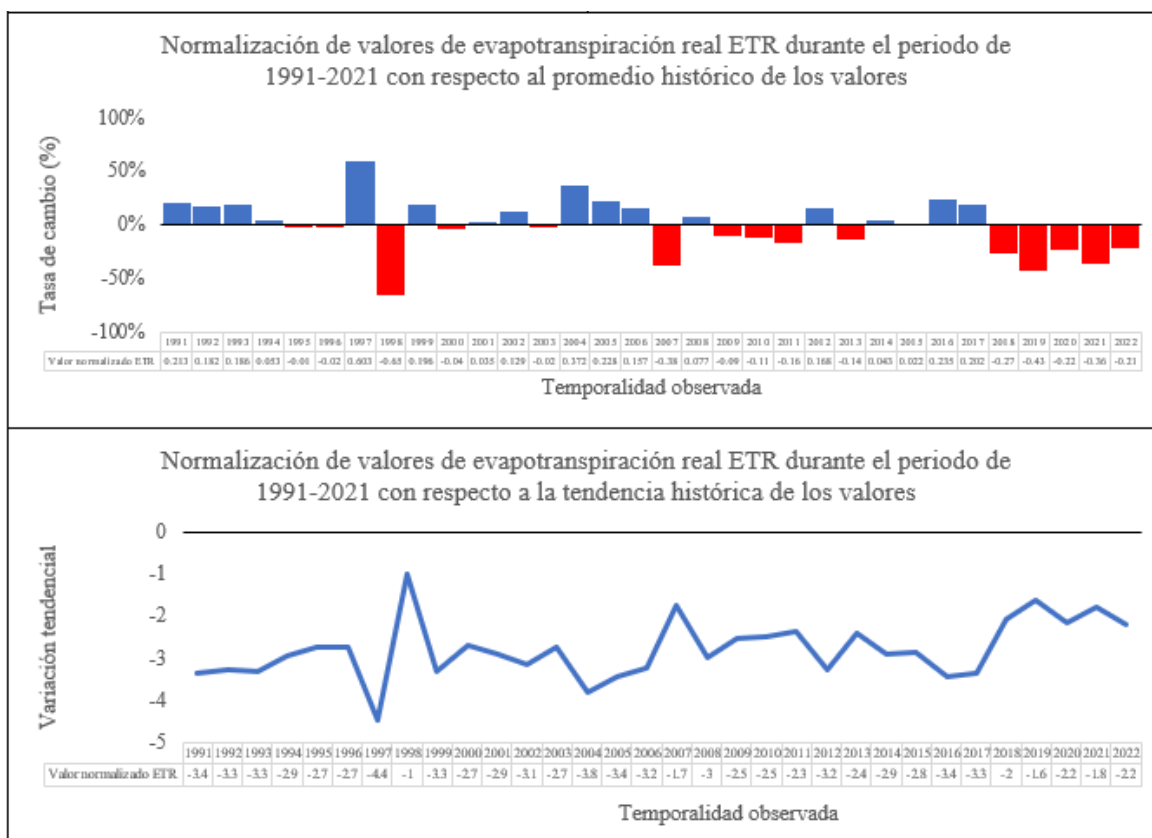
Figura 21. Gráfico de evapotranspiración real (ETR) durante el periodo de 1991 a 2021.



Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

Desde una perspectiva mensual se evidencia que los valores de ETR presentan un máximo valor en los meses de máximas precipitaciones y de temperaturas bajas estos pueden depender de la configuración local y regional de los factores climáticos y fisiográficos que pueden hacer variar la evapotranspiración (Santillán et al., 2013).

Figura 22. Gráfico de evapotranspiración real (ETR) durante el periodo de 1991 a 2021.



Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

Con respecto a una validación base de la normalización de valores se infiere que el año 1997 se mantiene con su categoría de año nexa esto debido a que concentra la mayor anomalía de los datos por sobre el promedio histórico con una tasa de cambio del 60%. Sin embargo, los valores del año 1998 marcan la anomalía correspondiente a una tasa de cambio de 65% debajo del promedio histórico de datos, posteriormente se evidencia que los datos promediales de la ETR (Figura 22) no varían de manera significativa según el promedio histórico (entre un 37% sobre el promedio y un 37% bajo el promedio) esto hasta llegar al año 2017 donde se evidencia una primacía de datos bajo el promedio histórico caracterizado por un periodo de 5 años (2018 a 2022) dichos valores podrían relacionarse principalmente con factores locales debido a que las coincidencias con variables globales como el ENOS no

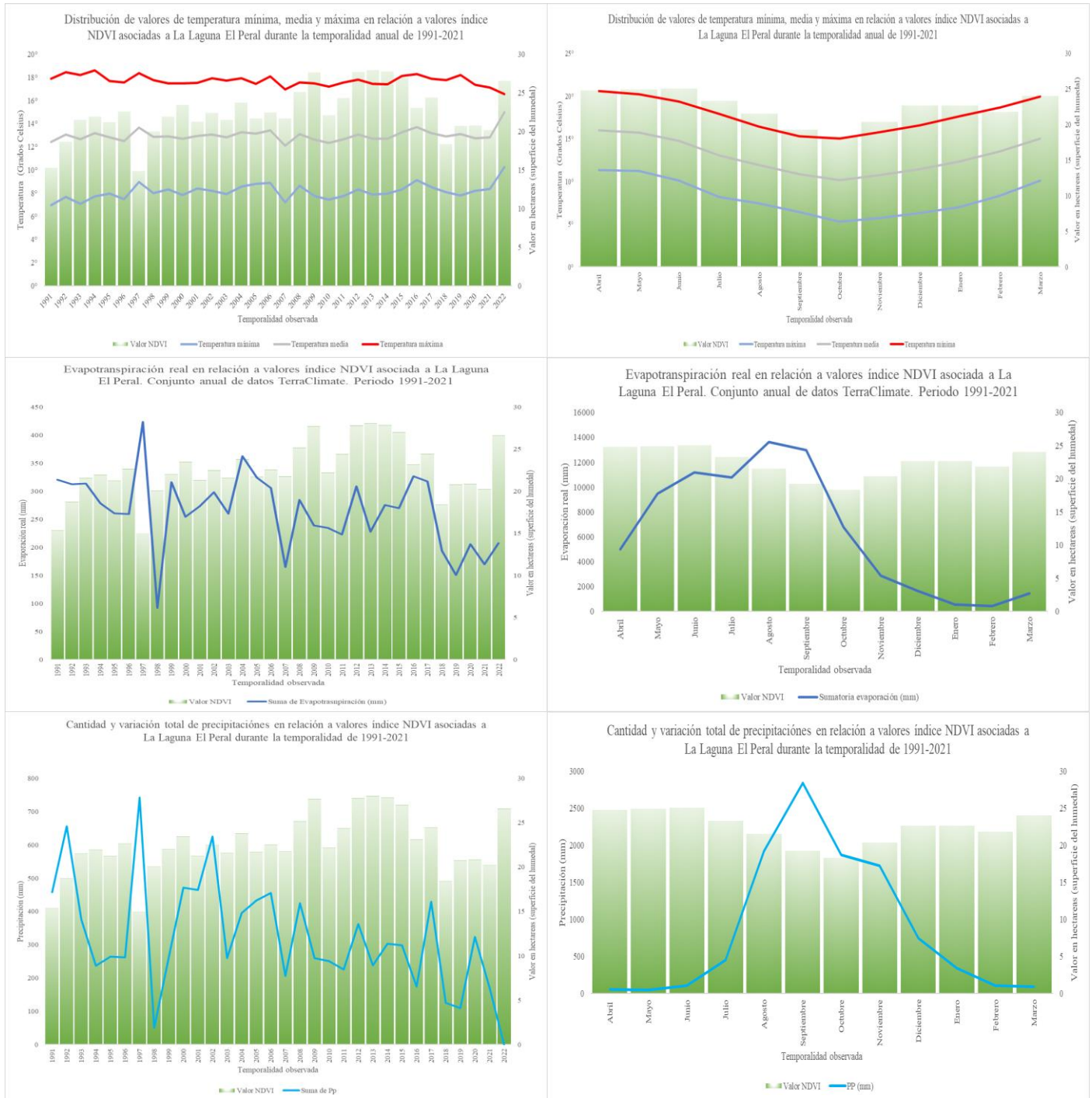
poseen una relación clara según punto de comparación común la temporalidad. Sin embargo al observar el gráfico tendencial se evidencia que este periodo marca una tendencia hacia el promedio histórico en contraposición al año 1997 donde se da el valor con mayor anormalidad en la serie temporal.

A manera de síntesis se observa que la oscilación de los valores de las tres variables consideradas posee puntos nexos tanto en valores anormales en los años 1997-1998 siendo un periodo nexos en el cual se le atribuyen condiciones climáticas anormales de carácter local o falla en los sensores de las estaciones climatológicas de medición.

4.3. Objetivo específico N° 3.

4.3.1. Análisis temporal grafico de variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración con índice NDVI.

Figura 23. Variación índice NDVI (agrupado) asociado a variables climáticas.



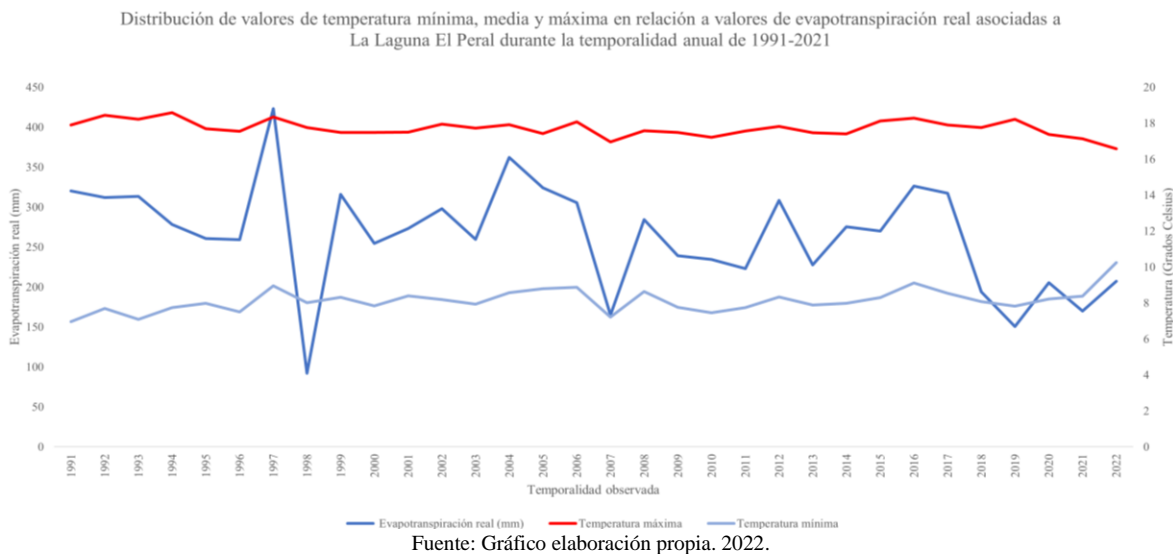
Fuente: Gráficos elaboración propia. 2022.

Como ya se observó los datos anuales del NDVI poseen variaciones según avanza la temporalidad del estudio, sin embargo, al realizar los levantamientos de variables climatológicas se vislumbran diversas relaciones de valores que suceden en determinados años en específico (años nexos). El análisis NDVI de la sección constaba de un análisis de 4 categorías, sin embargo, para este análisis solo se observa la vegetación presente en el humedal y que además posea desde una baja a una buena respuesta al índice NDVI, por ende se excluye la clasificación de vegetación de nula respecta al NDVI. La metodología aplicada fue realizar una sumatoria de los campos primordiales de cada valor -en hectáreas- y realizar un análisis bajo las variables levantadas de temperatura mínima, media, máxima, precipitación total acumulada en la temporalidad y evapotranspiración real (ETR). Dichas relaciones presentan hallazgos que son necesarios de realizar.

Anualmente la relación de NDVI y temperaturas no evidencia variaciones debido a su amplitud, sin embargo se evidencia que no existe una relación directa con las temperaturas, es decir, a pesar de tener datos nexos como el año 1997, 2007 y 2016 que poseen valores máximos (de temperatura máxima y mínimos) no se condice algún cambio ocasionado por estas en relación al NDVI. Mensualmente en cambio se evidencia una relación al factor estacionalidad asociado a que la temperatura cuando alcanza sus mínimos máximos (Octubre, Noviembre) es cuando los valores de NDVI se encuentran en sus valores más bajos para luego con el aumento de las temperaturas comience un progresivo acrecentamiento entre las temperaturas y el NDVI.

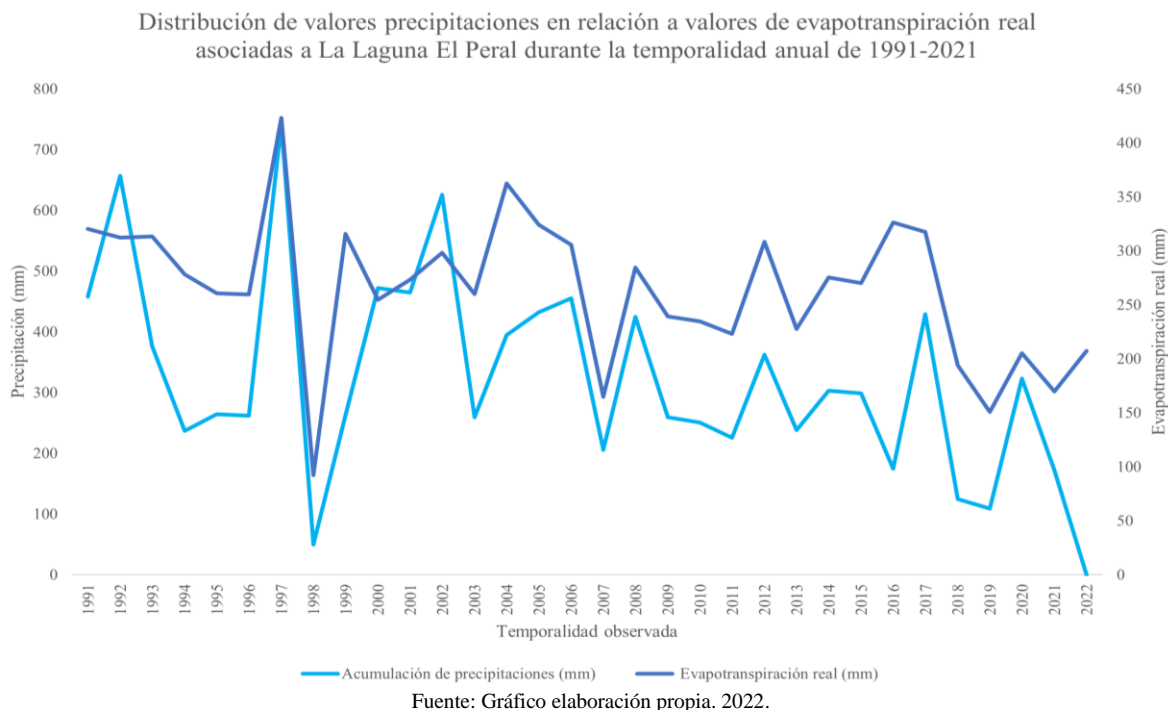
La evapotranspiración al ser una categoría síntesis de diversas variables requiere de análisis previo antes de relacionarla directamente con el NDVI. Podemos interpretar que existe una relación entre la evapotranspiración y las temperaturas máximas aunque de carácter leve debido a la distribución de la ETR, de igual manera con la temperatura mínima existe una variación en cada decrecimiento de los valores por ende existe un realce entre la evapotranspiración real y la temperatura en el humedal (Figura 24).

Figura 24. Gráfico relacional entre la variación de temperaturas y la ETR.



La relación de la evapotranspiración real también se condice de manera directa con la cantidad de lluvia precipitada. Observando de una serie temporal existen multitudes escenarios que evidencian diferentes tendencias de este valor, sin embargo, en el área de estudio estos valores (precipitación y ETR) poseen una relación primordial en la tendencia de sus datos en gran parte de la línea temporal (Figura 25).

Figura 25. Gráfico relacional entre los valores de precipitación y la ETR.



La evapotranspiración real está relacionada a las variables de temperatura y en específico a las precipitaciones a lo largo de la serie temporal. Se evidencia que existe una relación desigual entre el NDVI y la ETR, esto debido a que en determinados periodos esta aumenta en cuando la vegetación disminuye (1997) y disminuye cuando la vegetación aumenta (2009). Desde una perspectiva mensual la ETR se caracteriza por poseer una distribución de datos con tendencia al aumento desde Abril a Septiembre, periodo en el cual la vegetación comienza a disminuir para posteriori tener un descenso abrupto desde el mes de Octubre hasta Enero. Desde las variables de precipitación se evidencia una relación desigual a la largo de la serie temporal (anual) esto evidenciado por valores extremos entre 1991 y 2002 dichos valores poseen relación al NDVI si se piensa en relación a la recarga del acuífero y las napas freáticas a través de la cuenca del estero los helechos, ya que si se obvia este valor la serie de datos no tendría relación entre la precipitación y el NDVI esto debido a que posterior al año 2002 la tendencia a la disminución es un resultado inequívoco, no obstante, la vegetación no solo se mantiene en valores máximos si no aumenta de 2012 hasta 2025 alcanzando sus máximos valores de cobertura en la superficie del humedal.

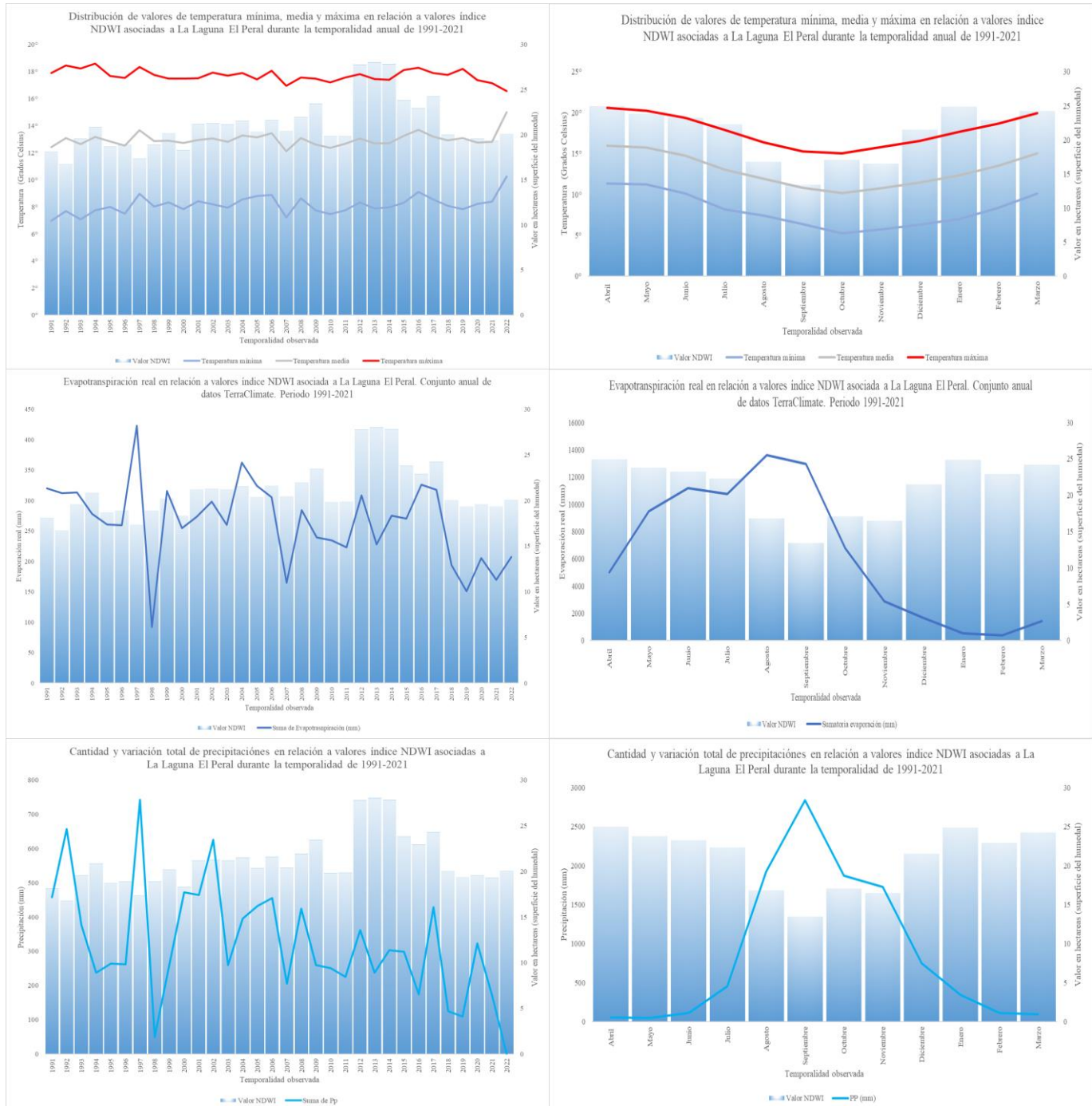
En relación a un análisis a base de línea de tendencia de los valores agrupados se evidencia que a base del valor $Y = 0.1571x$ significando que existe una relación tendiente al aumento del NDVI agrupado.

Mensualmente se infiere que el régimen de precipitaciones se podría caracterizar por un régimen pluvial debido a la forma de distribución de datos tendientes a la curva de variación estacional similar a las cuencas de régimen pluvial caracterizadas por su máximo aporte -de precipitaciones- en el mes de Septiembre. Es acertado mencionar que en relación al grafico se evidencia que estos datos representan una relación directa, ya que la vegetación durante el mes de Julio comienza a disminuir, en proporción la precipitación comienza a aumentar alcanzando valores máximos entre el mes de Septiembre y Noviembre para posteriormente en la estación cálida con los acuíferos recargados la vegetación vuelva a aumentar.

La relación de estos gráficos es la base estructurante del desarrollo, testeo y justificación estadística posteriores que permitirán validar o desestimar las relaciones que en esta sección se evidenciaron.

4.3.2. Análisis temporal grafico de variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración con índice NDWI.

Figura 26. Variación índice NDWI (agrupado) asociados a variables climáticas.



Fuente: Gráficos elaboración propia. 2022.

Los datos anuales del NDWI poseen variaciones según avanza la temporalidad de la investigación, sin embargo, al realizar los levantamientos de variables climatológicas es posible vislumbrar diversas relaciones de valores que suceden en determinados años en específico. El análisis NDWI de la sección constaba de un análisis de 3 categorías, sin embargo, para este análisis solo se observará la presencia de agua – y su respuesta al índice NDWI- presente en la laguna, por ende se excluye la clasificación de zona desprovista de agua. La metodología aplicada fue realizar una sumatoria de los campos promediales de cada valor -en hectáreas- y realizar un análisis bajo las variables levantadas de temperatura mínima, media, máxima, precipitación total acumulada y evapotranspiración real (ETR).

Con respecto a la variación de las temperaturas en relación al NDWI se evidencia que existe una leve relación asociada al aumento de temperatura y el descenso de la presencia de agua superficial en el humedal, ejemplos de esto son el año 1992, 1997 y levemente el año 2019. Esta dinámica es seccional a la dinámica de la distribución de datos, es decir, que no existe una relación directa general de las temperaturas en el NDWI. Desde una perspectiva mensual se evidencia que las temperaturas poseen una relación sinérgica con el NDWI, es decir, que las variaciones en periodos mensuales son similares al comportamiento del NDWI esto puede ser debido a la estacionalidad de la temporalidad seccionada mensualmente.

La ETR anual en relación al NDWI posee poca relación de causalidad evidenciada en el análisis gráfico, esto visto en que la ETR al ser integrado de la evaporación del agua entre otros, por norma este valor tendencialmente debería aumentar si el NDWI disminuye dicha tendencia si se cumple en el año nexa de 1997, 2007 y 2019 en menor grado que las anteriores. Sin embargo, gran parte de la serie de datos corresponden a una anomalía en la cual los valores de evapotranspiración real son elevados al igual que el índice NDWI, ejemplos de esto se encuentran en los periodos 1998 a 2006 a base de esta irregularidad en las relaciones, se presume que en el análisis estadístico sus resultados podrían tener una baja correlación. Mensualmente la variación de la ETR sigue un patrón similar al del índice NDVI en relación a que sus valores alcanzan su peak máximo en el mes de Septiembre-Agosto y con un abrupto descenso de Octubre a Enero.

Con respecto a las precipitaciones es de menester evidencia que existen anomalías en la relación del NDWI y las precipitaciones en la serie temporal esto debido a que existen años

de características lluviosas con oscilaciones extremas entre 1991 y el 2006, dicha oscilación posee relación con el NDWI de manera relacional como el aumento proporcional de la acumulación de precipitación y el aumento de la presencia de agua del año 1998, 2001 y 2012. Posterior al año 2012 estas comienzan un decrecimiento tendencial hasta su valor mínimo el año 2022 (periodo final del año hidrológico del 2021). Es de menester realzar la anormalidad de datos asociados a que los máximos de 1992, 1997 y 2002, ya que a pesar de ser máximos no alcanzan la tendencia (estabilidad y frecuencia) de valores NDWI en el periodo de 2003 a 2020 (sin contar el periodo de 2012 a 2014). En relación a un análisis a base de línea de tendencia de los valores agrupados se evidencia que a base del valor $Y = -0.1345x$ significando que existe una relación tendiente al aumento del NDWI agrupado.

Mensualmente la relación de las precipitaciones con el indicador NDWI es integrada, es decir, la representación de valores posee una explicación procedimental del por qué la distribución, en este caso como ya se mencionó previamente los valores máximos del NDWI corresponden a meses secos y con el progresivo descenso de la cobertura del NDWI la precipitación aumenta a un máximo de 2839.7 milímetros precipitados al mes de Septiembre para luego decrecer en relación al aumento de las temperaturas por la variación estacional.

La relación de estos gráficos es la base estructurante del desarrollo, testeo y justificación estadística que posteriormente permitirán validar o desestimar algunas de las relaciones que en esta sección se evidenciaron.

4.3.3. Análisis del modelado estadístico temporal de las variables por clasificación agrupada.

Tabla 16. NDVI agrupado pre testeo estadístico-mensual

Validación de variables y valor índice NDVI agrupado pre testeo estadístico					
Variabes	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDVI	$R^2 = 0.0465$	$R^2 = 0.0158$	$R^2 = 0.0987$	$R^2 = 0.0834$	$R^2 = 0.0037$
Significativamente estadística	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Tabla 17. Valor índice NDVI agrupado post testeo estadístico-escala mensual

Validación de variables y valor índice NDVI agrupado post testeo estadístico

VARIABLES	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDVI	R ² = 0.0834	R ² = 0.0465	R ² = 0.0158	R ² = 0.7355	R ² = 0.0037
Significativamente estadística	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Las Tabla 16 y Tabla 17 representan la distribución de valores del coeficiente de determinación asociados a la dependencia de una variable independiente con una dependiente, específicamente a fuerza de la relación lineal entre dos variables esto con la finalidad de corroborar y validar las variables presentadas en las secciones previa (véase Anexo 3) . De la Tabla 2 se analizan que los valores de temperaturas, precipitaciones y ETR los cuales no alcanzan el 10% de confiabilidad en la modelación de temperaturas en el pre testeo. El análisis post testeo estadístico evidencia que existe un aumento de un 4% a un 8% de confiabilidad de la relación de la variable de temperatura mínima y el valor NDVI, de la misma manera la temperatura mínima aumenta su relación un 3% asociado a su valor original, también se evidencian los descensos de porcentaje de confiabilidad de la modelación de la precipitación y la evapotranspiración real mantiene sus valores sin alteración (véase Anexo 11). La interpretación del análisis mensual correlacionado bajo el índice de determinación evidencia que la mayor correlación del NDVI se da con la temperatura mínima específicamente por un 8% (correlación no significativa) y la precipitación con un 7% de correlación (correlación no significativa).

Tabla 18. Valor índice NDVI agrupado pre testeo estadístico-anual.

Validación de variables y valor índice NDVI agrupado pre testeo estadístico

VARIABLES	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDVI	R ² = 0.0465	R ² = 0.0158	R ² = 0.0987	R ² = 0.0834	R ² = 0.0084
Significativa-mente estadística	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Tabla 19. Valor índice NDVI agrupado post testeo estadístico-anual.

Validación de variables y valor índice NDVI agrupado post testeo estadístico

Variables	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDVI	R ² = 0.0465	R ² = 0.0158	R ² = 0.0987	R ² = 0.0834	R ² = 0.0084
Significativa-mente estadística	NO	NO	NO	NO	SI

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Anualmente la Tabla de datos Tabla 18 y Tabla 19 presenta índices bajos de correlación, siendo el más alto el valor una correlación de 9% del valor NDVI con la temperatura máxima y la menor correlación se da con la temperatura media (01%), La significancia estadística de los datos bajo el modelo de prueba T se expresa que el 60% de las variables posee dicha significancia estadística en el cálculo de los datos y el 40 % no la posee a base de tener diferentes medias. Analizando el comportamiento estadístico de ambas modelaciones se evidencia estadísticamente que ambas no presentan variaciones con los datos levantados previos al testeo (véase Anexo 4). Por ende, el valor observado en relación a lo modelado es idéntica con respecto a este índice significando que a nivel anual las correlaciones son bajas y determinan la fiabilidad del modelo (no se logra modelar los datos con precisión), sin embargo dichos valores son un 60% significativamente estadísticos⁵.

Tabla 20. Valor índice NDWI agrupado pre testeo estadístico-mensual.

Validación de variables y valor índice NDWI agrupado pre testeo estadístico

Variables	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDWI	R ² = 0.5091	R ² = 0.6284	R ² = 0.7443	R ² = 0.9587	R ² = 0.2049
Significativa-mente estadística	NO	NO	SI	SI	SI

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

⁵ Para observar detalladamente el proceso estadístico véase en anexos 3 al 12.

⁶ El color verde es indicativo de que el valor es significativamente estadístico a base de la prueba t de varianzas desiguales.

Tabla 21. Valor índice NDWI agrupado post testeo estadístico-mensual.

Validación de variables y valor índice NDVI agrupado post testeo estadístico

Variables	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDWI	R ² = 0.5091	R ² = 0.6284	R ² = 0.7443	R ² = 0.9587	R ² = 0.2049
Significativa-mente estadística	NO	NO	SI	SI	SI

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

La Tabla 20 y Tabla 21 evidencian que el valor máximo bajo el índice de determinación son los valores de precipitación, esto con un 95 % de confiabilidad entre los modelamientos de la variables, de la misma manera las temperaturas responden a un valor promedio de 62% de confiabilidad. La ETR posee la relación más baja de este análisis con un 20% de relación con las precipitaciones. Desde una justificación estadística se evidencia que el 60% de los datos no posee significancia estadística por ende 60 % de estos datos no posee la misma media (véase Anexo 21).

Analizando el comportamiento estadístico de ambas modelaciones se evidencia estadísticamente que ambas no presentan variaciones con los datos levantados previos al testeo. Los datos del índice agrupado NDWI evidencian que existe una relación de correlación sobre el 50 % en 4 de 5 variables, evidenciado esto que la presencia de agua en el humedal si está relacionada fuertemente a las precipitaciones y a la variación de las temperaturas, mas no en mayor grado de la evapotranspiración aunque dicho valor no es nada despreciable para este análisis. Se evidencia que de testeo los únicos valores que poseen significancia estadística con los indicadores del ETR, precipitaciones y temperatura máxima correspondientes al NDWI mensual.

Tabla 22. Valor índice NDWI agrupado pre testeo estadístico-anual.

Validación de variables y valor índice NDWI agrupado pre testeo estadístico

Variables	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDWI	R ² = 0.0211	R ² = 0.0001	R ² = 0.007	R ² = 0.017	R ² = 0.0067

Significativa-mente estadística	NO	NO	NO	NO	NO
---------------------------------	----	----	----	----	----

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Tabla 23. Valor índice NDWI agrupado post testeo estadístico-anual.

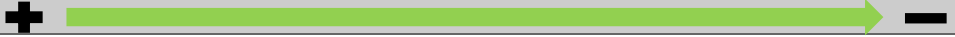
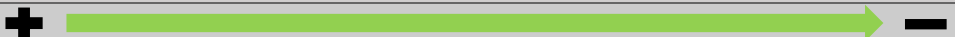
Validación de variables y valor índice NDWI agrupado post testeo estadístico

Variables	Temperatura mínima	Temperatura media	Temperatura máxima	Precipitación	ETR
NDWI	R ² = 0.0211	R ² = 0.0001	R ² = 0.007	R ² = 0.017	R ² = 0.0067
Significativa-mente estadística	NO	NO	NO	NO	NO

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Desde una perspectiva anual de los valores contenidos en la Tabla 22 y la Tabla 23 se infiere que los valores de índice de determinación son bajos en comparación a la distribución de datos mensuales, esto marcando una tendencia similar con el valor del NDVI. La relación máxima de determinación se da entre el índice NDWI y la temperatura mínima con un 2% y un mínimo relacionado con la temperatura máxima (0.006%). La significancia estadística indica que el 40% si posee medias similares (significación estadística) y los demás testeos (pruebas T) realizadas en las variables no las poseen. En relación a una distribución total se evidencia que mensualmente los valores predominantes (R²) son en NDVI la temperatura máxima -valor que con la validación estadística cambiaría a temperatura mínima- seguida de la precipitación y en el NDWI es la precipitación y la temperatura mínima los máximos valores de R².

Tabla 24. Relaciones de R² validación a escala mensual.


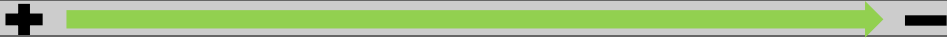
ÍNDICE	Relaciones de R ² del mayor al menor-temporalidad mensual-pre testeo y validación				
					
NDVI	Temperatura máxima	Precipitación	Temperatura media	Temperatura mínima	ETR
NDWI	Precipitación	Temperatura máxima	Temperatura media	Temperatura mínima	ETR
ÍNDICE	Relaciones de R ² del mayor al menor-temporalidad mensual- post testeo y validación				
					
NDVI	Temperatura mínima	Precipitación	Temperatura media	Temperatura máxima	ETR
NDWI	Precipitación	Temperatura máxima	Temperatura media	Temperatura mínima	ETR

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022.

Los datos climatológicos permitieron relacionar estas variaciones y sustentarlas de manera precisa en relación a metodologías de validación cruzada y testeo de modelamientos, siendo esencial para identificar que a pesar que los valores (NDVI y NDWI) presenten aumentos se debe ser preciso en concluir que de manera primordial los valores del periodo de 2012 a 2014 al no ser representativos generan datos anormales con tendencias anormales al resto de la distribución de datos esto visto en la comparación de este periodo temporal con variables de precipitación y evapotranspiración, desde una perspectiva secundaria se concluye que la influencia de las variables climáticas es diferida según se desee analizar, es decir, desde una perspectiva mensual de la temporalidad encontramos relaciones -basadas en el coeficiente de determinación- altas (por sobre el 50% de confiabilidad del modelo) en gran parte de los análisis siendo diferente para cada caso pero se caracteriza el dominio de las temperaturas y precipitaciones en ambos indicadores.

Con respecto a los valores anuales, los valores más elevados de R^2 -dentro de los rangos antes analizados- del índice NDVI se asocian la temperatura máxima -valor que con la validación estadística cambiaría a temperatura mínima- seguida de la precipitación. En el índice NDWI este valor (máximo R^2) es la precipitación y la temperatura máxima.

Tabla 25. Relaciones de R^2 validación escala anual.

Relaciones de R^2 del mayor al menor-temporalidad mensual-pre testo y validación					
ÍNDICE					
NDVI	Temperatura máxima	Precipitación	Temperatura media	Temperatura mínima	ETR
NDWI	Precipitación	Temperatura máxima	Temperatura media	Temperatura mínima	ETR
Relaciones de R^2 del mayor al menor-temporalidad mensual- post testo y validación					
ÍNDICE					
NDVI	Temperatura mínima	Precipitación	Temperatura media	Temperatura máxima	ETR
NDWI	Precipitación	Temperatura máxima	Temperatura media	Temperatura mínima	ETR

Fuente: Tabla de elaboración propia 2022

En la Tabla 25 se muestra la categorización de valores R^2 relacionados anualmente, dichos valores no representan un valor significativo dentro de un porcentaje de prueba de unos modelos -ningún valor alcanza el 20% de confiabilidad del modelo entra las relaciones de variables dependientes e independientes-, por ende se presume que a nivel de reconstrucción

anual de los datos existen variables que subyacen al rango y límites de esta investigación que podrían tener mayor influencia y significancia estadística en los procesos dinámicos históricos del humedal.

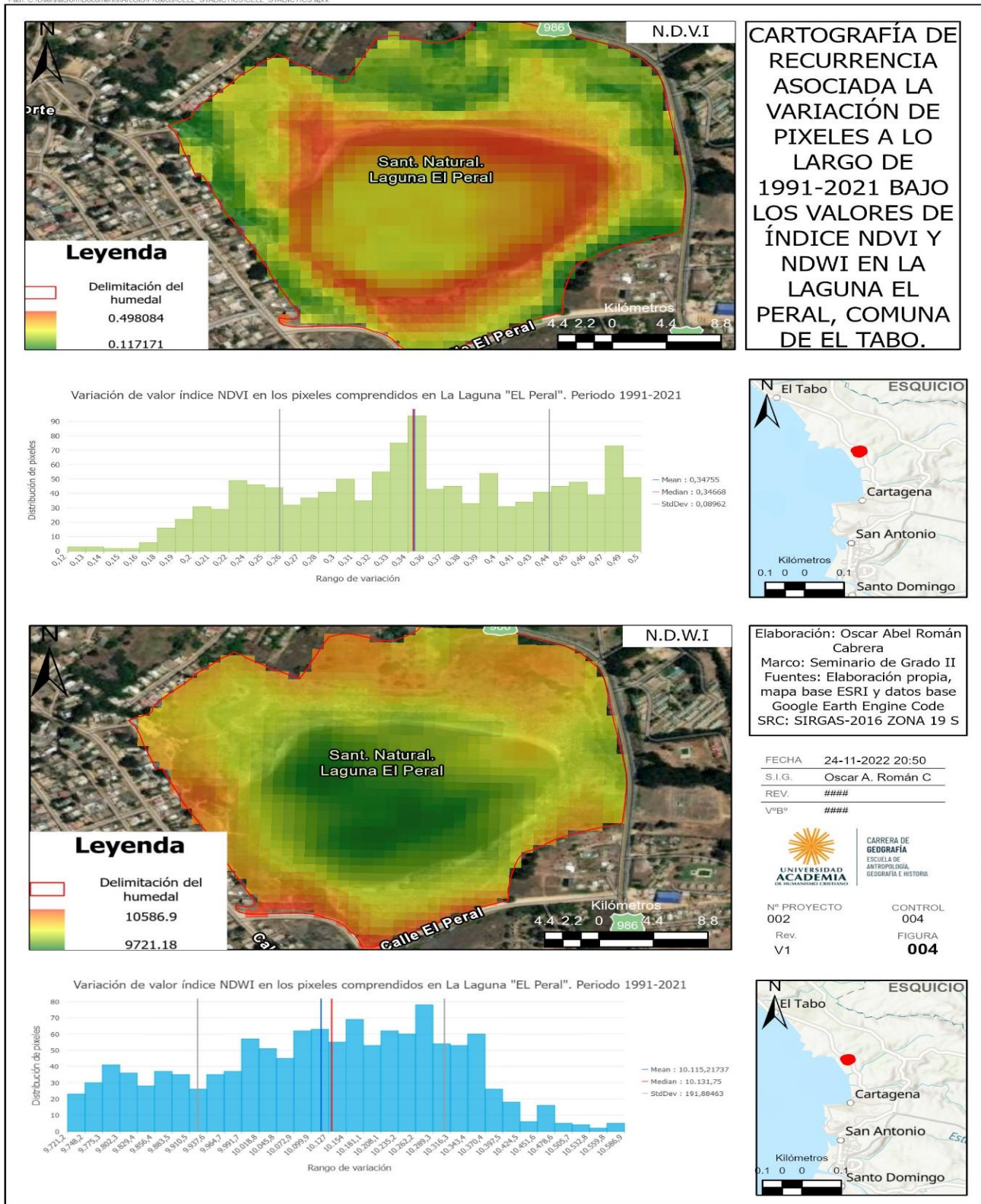
Se evidencia la posibilidad de la existencia de más variables que posean interferencia o afectación en estos procesos, esto debido a los bajos valores del índice de determinación obtenidos, testeados y argumentados

4.3.4. Análisis de recurrencia bajo los índices NDVI y NDWI.

Habiendo analizado previamente el índice de determinación es de menester evidenciar la variación de la vegetación y la presencia de agua en la superficie del humedal a través de la serie temporal. La evolución de valores de estos índices en los píxeles que comprende la laguna permite evidenciar los cambios de valor de dicha unidad (pixel) esto permitiendo relacionar los datos tanto al tipo de vegetación y su distribución en relación a un análisis bibliográfico y de valores gráficos compuestos en esta cartografía de recurrencia.

Figura 27. Cartografía de recurrencia NDVI y NDWI, temporalidad 1991-2021.

Path: C:\Users\acrom\Documents\ArcGIS\Projects\CELL_STATISTICS\CELL_STATISTICS.aprx



Fuente: Cartografía de elaboración propia. 2022.

Al centrarnos en el análisis y gráfico del NDVI podemos evidenciar que los valores de pixel que más variación tienen son los valores cercanos al borde de la laguna, categorizada como zona saturada de sitio 1 (Norambuena et al., 2022), dicha zona es de mayor humedad en contraste al resto del paisaje, además puede estar inundada intermitente o estacionalmente y permite la existencia y desarrollo de vegetación de carácter hidrofita -estratos vegetacionales asociados a humedales-. El libro de biodiversidad “El Valor de Conservar la Biodiversidad del Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral” define a esta zona como de formación vegetal de juncales y asociativamente esto es correcto tanto por la presencia de ello en las imágenes satelitales y en los terrenos realizados, por ende, la variación de este indicador se caracteriza por pertenecer a una zona saturada de carácter hídrico, principalmente juncales, además dicha variación evidencia que no solo la zona saturada posee variaciones si no también parte de las zonas intermedias de tipo 2 y 3 en la cual se caracterizó la vegetación de pradera y estepa arbustiva (ver Figura 16), dichas zona poseen los datos menos variables de la distribución representada en la cartografía en el periodo de 1991 a 2021.

Figura 28. Distribución de las formaciones vegetales, Laguna El Peral.



Fuente: (Rivera & Riveros, 2017).

En relación a la distribución estadística de los datos la mayor concentración de esos tomando como punto de referencia el estadígrafo de tendencia central mediana implica que existe un total de 578 pixeles con valor de rango de 0.13-0.34 esto en porcentaje implica que del total de valores (pixeles) un 47-8% posee una coloración verde-amarilla indicando cambios mínimos a medios de los valores de los pixeles. Por otro lado tomando el segundo conjunto de datos correspondientes al rango de 0.34 a 0.5 se obtiene que este rango abarca 671 pixeles del total (1209 pixeles) dicho valor expresado en porcentajes representa un 55.5%, un 55% que evidencia que la concentración de valores corresponde a una gran área de cobertura del humedal.

El mismo análisis planteado desde el NDWI implica tener en cuenta tanto los antecedentes de escasez hídrica, morfología y periodos de sequedad de la laguna, se evidencia que la variación de valores históricos de NDWI se incrementan en el sector central del espejo de agua, caracterizado este al cuerpo de volumen semipermanente en la laguna y cómo este con las precipitaciones o la falta de ellas disminuye su tamaño, de igual manera es importante considerar la franja de color verde cerca de la ruta G-98-7 (nor noroeste del humedal) dicha franja corresponde a la zona de confluencia del estero los helechos que cuyo caudal carácter estacional tributa desde la cuenca alta de los helechos hasta la laguna en donde cuando existe escorrentía se recarga o se infiltra a los acuíferos y napas subterráneas cercanas al humedal. Es esencial el papel de la morfología, ya que las zonas características en verde asociadas a las que poseen menos caminos son relativamente planas en relación a zonas del límite suroeste de la Laguna. En relación los datos que más aviación tuvieron durante la temporada 1991 y 2021 que son zonas caracterizadas por estar más cercanas a construcciones urbanas que pueden entorpecer los valores de los pixeles y por qué son zonas que están más alejadas del cuerpo de agua, esto no significa que estén desconectadas, ya que a pesar de que el sensor NDWI no detecta presencia de agua el NDVI.

Desde un punto de vista estadístico en relación a la distribución datos se infiere que la mayor concentración de estos tomando como punto de referencia el estadígrafo de tendencia central mediana implica existe un total de 730 pixeles con valor de variación de 9.72 a 10.18 esto en porcentaje implica que del total de valores (pixeles) de un 60.8% posee una coloración verde-amarilla indicando cambios mínimos a medios de los valores de los pixeles. Por otro lado,

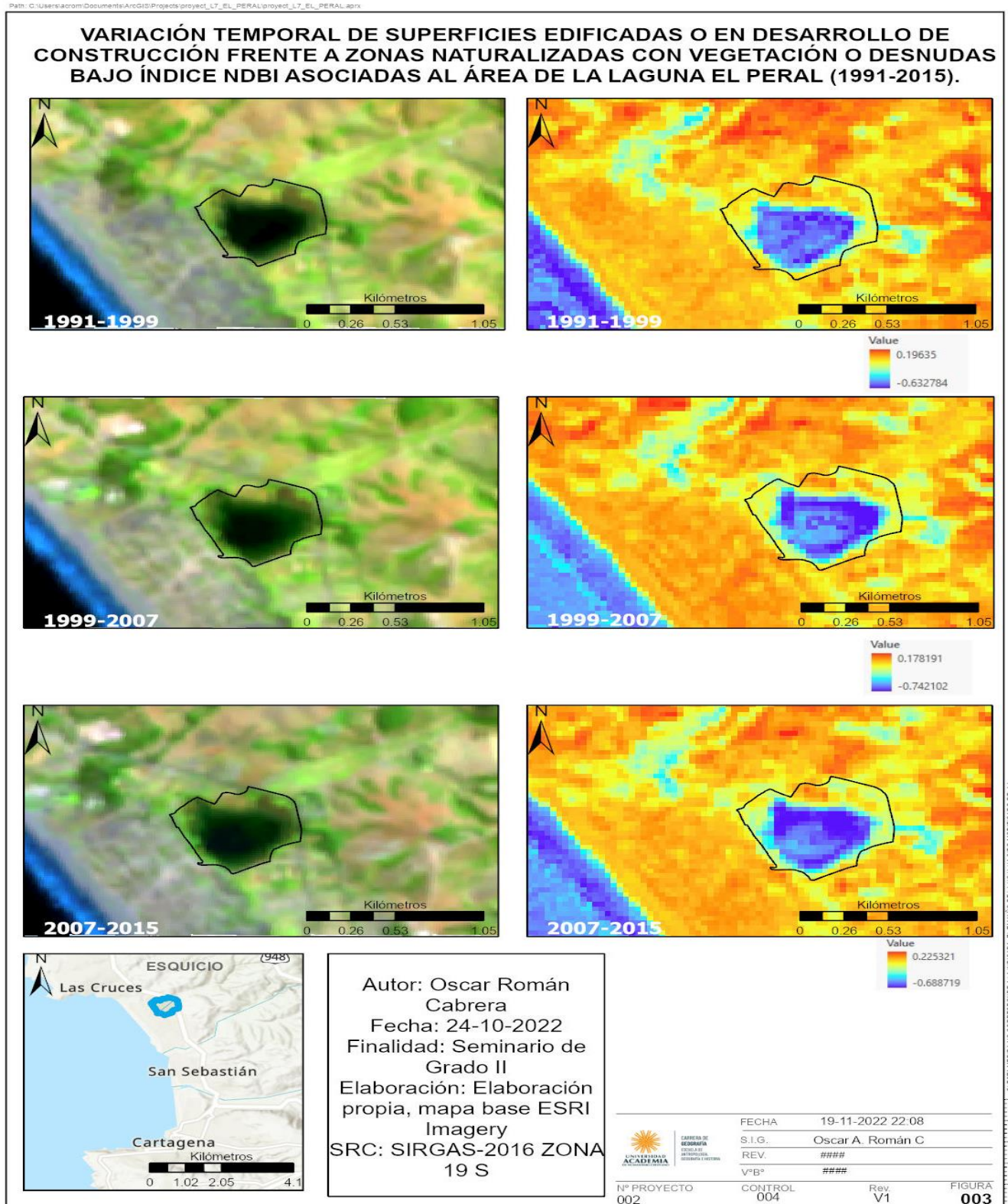
tomando el segundo conjunto de datos correspondiente al rango de 10.81 a 10.58 de coloración amarillo-rojizo agrupa un total de 502 píxeles (40.7%).

El análisis previo asociado los resultados implican que la vegetación más afectada por la variación de valores es la zona de características saturadas y la zona intermedia hito 1 y en menor grado la dos (Anexo 1). La gran concentración de datos se da en los rangos más altos de la graduación por ende es una tendencia dominante en este índice. Con respecto al índice NDWI se evidencia que la variación de valores semipermanentes de cuerpo de agua considera tanto los aumentos y descensos volumétricos de la laguna en periodos dentro la temporalidad estudiada, además la concentración de datos, esta desde el rango mínimo hasta la media, por ende la variación de valores corresponde a zonas que se alejan del cuerpo de agua y la variación es menor en zonas cercanas al cuerpo de agua.

4.3.5. Análisis relacional del índice NDBI.

Los análisis previos indican la relación de correlación existente entre variables climatológicas y el índice NDVI y NDWI, sin embargo según escala y variable a visualizar este indicador cambia, esta incidencia de valores puede deberse a diversidad de categorías sin embargo el crecimiento poblacional-morfológico estructural de las zonas pueden generar impactos a este ecosistema desde una perspectiva antrópica por ende analizar esta variable bajo la temporalidad de 1999 a 2015 comprendiendo los procesos de poblamiento y contaminación de la laguna permitiría evidenciar incidencias de esta variable -analizada bajo el índice NDBI- en los procesos y dinámicas anteriormente mencionados.

Figura 29. Cartografía índice NDBI asociado a zonas cercanas de La Laguna El Peral.



Esri, NASA, NGA, USGS; Esri, HERE, Garmin, Foursquare, METI/NASA, USGS

Fuente: Cartografía de elaboración propia. 2022.

Con respecto al análisis de el reordenamiento de bandas asociadas a la visualización del índice NDBI (sección izquierda de la cartografía) se evidencia que la localidad de Playas Blancas se mantiene sin cambios en gran parte de su estructura a través de la temporalidad observada, sin embargo, se infiere que existe un aumento de edificaciones a los límites cercanos a la ruta G-98-7 limitante norte y este del humedal en el periodo de 1999 a 2007 y en el periodo del año 2007 al 2015 se observa un avance de la urbanización al sector sur de la laguna y en específico en zonas altas de la cuenca de los Helechos, además en este mismo periodo se evidencia la construcción de un condominio adyacente al humedal (sector norte del humedal).

Figura 30. Distribución de valores NDBI 1991-1999

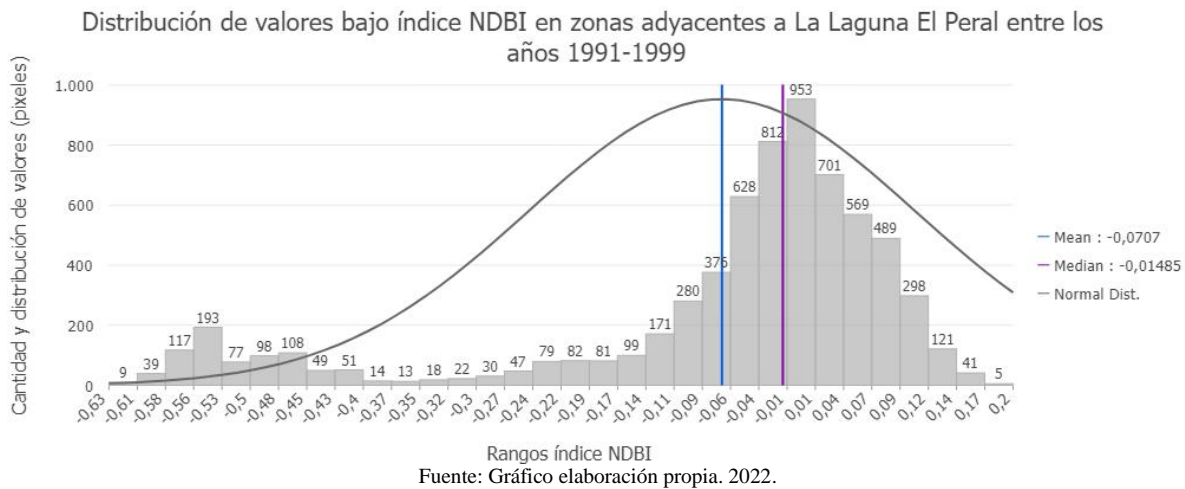


Figura 31. Distribución de valores NDBI 1999-2007

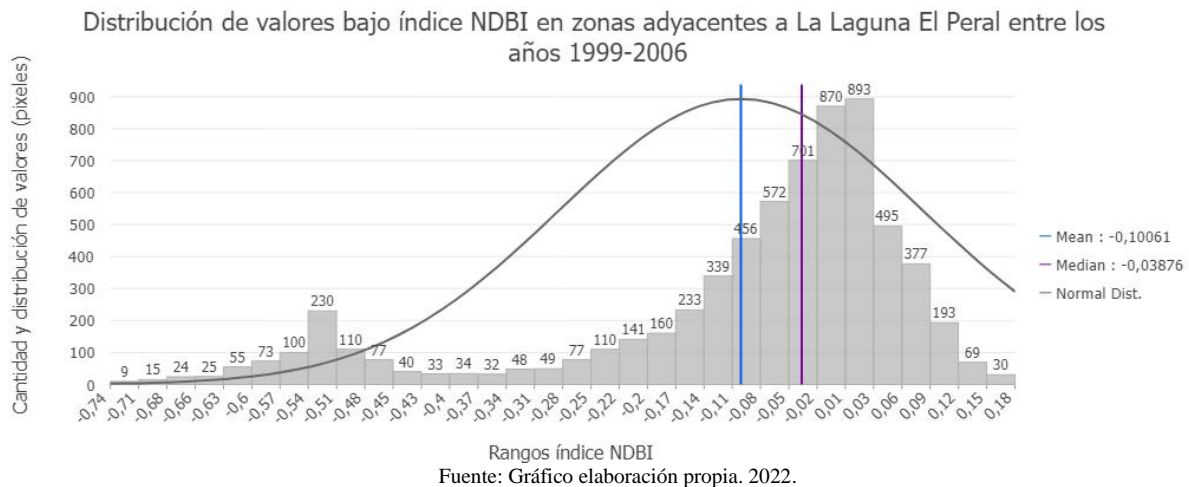
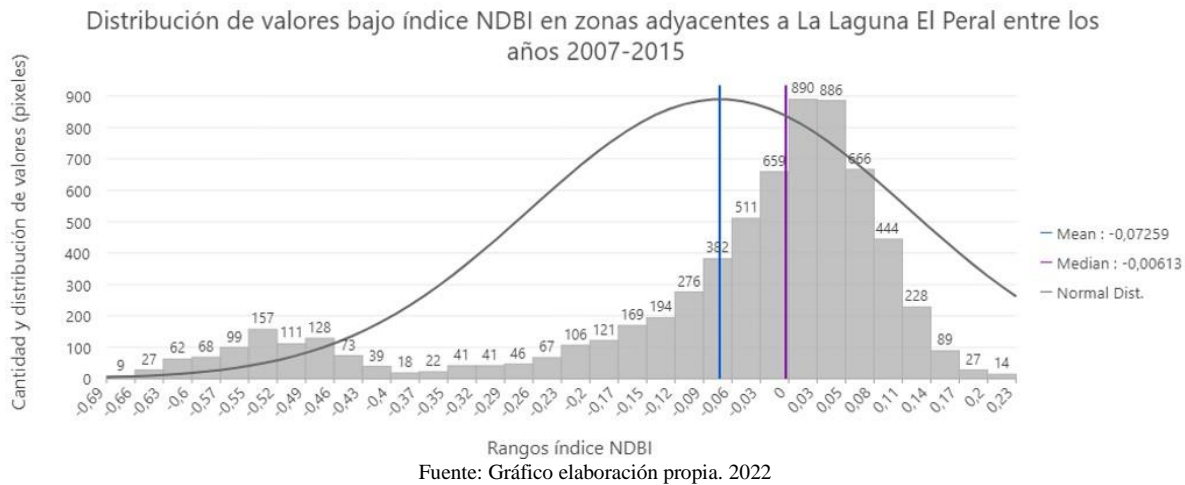


Figura 32. Distribución de valores NDBI 2007-2015



Comprendiendo que los valores del índice NDBI se distribuyen en un rango de -1 a 1 podemos inferir que la concentración de los datos de los tres gráficos correspondientes a los tres periodos estudiados evidencian que la concentración de datos se encuentra bajo un valor intermedio esto relacionado a valores intermedios los cuales son característicos de zonas desnudas, cultivos en crecimiento o zonas o en fase de construcción, dicha clasificación aplicable para los tres gráficos de los tres periodos analizados conlleva a tener una relación directa con las construcciones y el tipo de desarrollo urbanístico que se desarrolla en la zona caracterizada por un crecimiento de conjuntos habitacionales mas no grandes asentamientos urbanísticos donde el índice NDBI capta valores con mucha más precisión y con diferente distribución de valores.

El índice NDBI en relación al software cartográfico ArcGIS (colores con rango) evidencia una variaciones mínima de urbanización en los periodos revisados(entre 0,1 a 0,3) . Sin embargo, al realizar un análisis comparativo se infiere un aumento en se da en las zonas altas de los cerros y en la cuenca de los Helechos siendo este una característica común entre ambas mediciones de NDBI, pero este indicador no evidencia cambios drásticos en construcciones y/o edificaciones varias esto debido tanto a la escala de la representación como a las edificaciones presentes y las identificables bajo este índice. En relación a estos datos al realizar una comparación temporal en los valores clasificados de NDVI y NDWI se evidencian valores que no condicen a un una influencia como tal en los periodos considerados (Figura 33). Sin embargo permiten comparar y relacionar seccionalmente (periodos) las variaciones del NDVI y el NDWI a través de la serie temporal estudiada.

Figura 33. Matriz de procesos y variables clasificadas según temporalidad.

Temporalidad	Total de hectareas del Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral						Procesos Dinamicos Urbanos(NDBI)	Procesos de Contaminación
	Valores NDVI (de mayor valor en cantidad de hectareas a menor valor)			Valores NDWI (de mayor valor en cantidad de hectareas a menor valor)				
1991	Red	Orange	Yellow	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1992	Red	Orange	Yellow	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1993	Red	Orange	Yellow	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1994	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1995	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1996	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1997	Red	Orange	Yellow	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1998	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
1999	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2000	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2001	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2002	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2003	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2004	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2005	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2006	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2007	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2008	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2009	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2010	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2011	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2012	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	Grey
2013	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2014	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2015	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2016	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2017	Red	Orange	Yellow	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2018	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2019	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2020	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2021	Yellow	Orange	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
2022	Orange	Yellow	Red	Green	Light Blue	Dark Blue	Red	White
Temporalidad	Valores NDVI (de mayor valor en cantidad de hectareas a menor valor)			Valores NDWI (de mayor valor en cantidad de hectareas a menor valor)			Procesos dinamicos Urbanos (NDBI)	Procesos de Contaminación
Total de hectareas del Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral								

Fuente: Gráfico elaboración propia. 2022.

5. Capítulo V conclusiones y discusiones.

Los análisis primordiales de los valores de NDVI y NDWI categorizados en clasificaciones permitieron dilucidar un comportamiento tendencial que es variable en relación a las concepciones primordiales que se podrían asociar a una laguna inmersa en procesos con densidad urbana y con procesos de contaminación, es decir, tanto la vegetación y la superficie con presencia de agua en diversos rangos parecen aumentar si se observa la serie histórica de datos. Los análisis de datos temporales y posteriores modelaciones y validaciones estadísticas implican que las variables incidentes poseen una incidencia parcial en los fenómenos y dinámicas de la laguna haciendo plausible la teorización de la existencia de variables externas a las consideradas en esta investigación que puedan estar incidiendo en las dinámica evolutiva de este humedal.

La Laguna El Peral debido a su geografía histórica de emplazamiento podría poseer influencias desde dimensiones hidro-meteorológicas caracterizadas por la humedad de los suelos y estratos, el nivel de acumulación de los acuíferos, los valores de caudal que la cuenca en relación a su almacenamiento y régimen ,como también de diversidad de variables que para esta investigación resulta una incógnita prospectiva para esta investigación.

Presumiblemente dentro de estas posibles “categorizaciones incógnitas” existan de índole tanto natural físico-dinámica asociada a la cuenca -límite natural- y los acuíferos circundantes también que estas puedan ser de carácter antrópico relacionadas a variables demográficas y desarrollo de las localidades conjunto a la laguna entro otras. La laguna El Peral a lo largo de la temporalidad analizada fue y es susceptible a influencias climáticas locales y globales, dichas influencias afectan los regímenes de temperaturas, precipitaciones y evapotranspiración, sin embargo según se desee observar y comparar los valores de NDVI y NDWI estos no siempre tendrán una relación modular precisa con estas variables ya que evidencian tendencias al aumento en años donde se dieron procesos de eutrofización y descensos donde las precipitaciones alcanzaron sus máximos valores por ende esta investigación aparte de dejar nula su hipótesis expresa la necesidad científica de buscar la(s) incógnita(s) que permitan obtener los valores que expliquen el dinamismo del humedal.

Finalmente al responder la pregunta de investigación se obtiene que la cobertura vegetal y su distribución presento progresivos aumentos desde el año 1996 hasta establecer una fluctuación estándar en gran parte de la línea temporal exceptuando los peaks de los años 2012-2014-2015, de igual manera a posteriori de los procesos de contaminación y aumento de población la vegetación muestra tendencias al alza por ende a base de toda la relación de datos realizada no existe evidencia concluyente de una afectación negativa a la vegetación por los procesos asentamientos urbanos y los procesos de contaminación del año 2012 y 2015.

6. Referencias

- Acuña, Ó., Silva, M. S., López, L., Sánchez, K., Bahamondes, E., Otero, R., & Grandi, M. C. (Eds.). (2015). *Santuarios de la naturaleza de Chile*. Consejo de Monumentos Nacionales. https://issuu.com/cmncasos/docs/santuarios_de_la_naturaleza_de_chile/
- Agraz, C., & Verdugo, F. (2005). Diagnóstico del Impacto y Lineamientos Básicos para los Programas de Mitigación y Manejo de Humedales. En *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y tendencias* ((2a, ed), pp. 597–608). https://www.researchgate.net/publication/280446339_Diagnostico_del_Impacto_y_Lineamientos_Basicos_para_los_Programas_de_Mitigacion_y_Manejo_de_Humedales
- Agraz, M. (2005). *Diagnóstico del Impacto y Lineamientos Básicos para los Programas de Mitigación y Manejo de Humedales* ((2a, ed)). https://www.researchgate.net/publication/280446339_Diagnostico_del_Impacto_y_Lineamientos_Basicos_para_los_Programas_de_Mitigacion_y_Manejo_de_Humedales
- Albemarle. (2020). *Proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama (RCA RE N°21/2016)”* (Plan de Manejo Biótico, p. 35) [Técnico]. https://www.albemarlelitio.cl/storage/wysiwyg/20_anexo_19_analisis_estado_ecologico_vol_1.pdf
- Allen, R., Pereira, L., Dirksen, R., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo -Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Estudio FAO Riego Y Drenaje). <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Anfossi, G. M., & Molina, H. (1985). *Guía de Manejo Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral*. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1382470047SNlagunaelperal.pdf
- Avendaño, D., Cedeño, B., & Arroyo, M. (2019). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*, 2(65), 2–10. <https://doi.org/10.15359/rgac.65-2.3>
- Barbier, E., Acreman, M., & Knowler, D. (1997). Valoración económica de los humedales-Guía para decisores y planificadores. *Oficina de la Convención de Ramsar*, 3–10.
- Bardi, F., Krishnaa, S., Medina, C., Morales, M., & Rivera, D. (2015). *Propuesta para la recuperación de la Laguna El Peral* (pp. 12–15) [Propuesta

técnica]. Fundación Kennedy. <https://docplayer.es/52313196-Propuesta-para-la-recuperacion-de-la-laguna-el-peral.html>

- Berlanga, C., Ruiz, A., & Espino, G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 66, 25–46.
- Bo-Cai, G. (1996). *NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. *NO* 58, 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Cavieres, M. (2014). *Diseño de un plan de manejo ecosistémico para la conservación del humedal El Culebrón* [Tesis de título de Ingeniero de Ejecución en Gestión Ambiental, Universidad Academia de Humanismo Cristiano]. <http://bibliotecadigital.academia.cl/>
- Caycedo-Rosales, P., & González, C. (2018). *Caracterización y Monitoreo de Aves y Paisajes Sonoros en Tres Macrohábitats de la Región de la Mojana* [Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba]. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/34993/P%208.1.%20Bioacustica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerasa, M., & Martínez, L. (2007). *Determinación de Impactos Ambientales Causados por el Desarrollo Urbano en el Estero Culebrón, IV Región, Chile, Aplicando Metodología SIG* [Memoria entregada como requisito para obtener el Título de Ingeniero en Prevención de Riesgos y Medioambiente, Universidad Católica del Norte]. <https://snia.mop.gob.cl/sad/MED4720.pdf>
- Cereceda, P. (1989). La distribución de la niebla en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 7.
- Conaf. (2018). *Memoria-Corporación Nacional Forestal 2014-2018*. <https://www.conaf.cl/MemoriaCONAF2014-2018.pdf>
- Conaf. (2020). *Listado Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)*. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1610052227ListadoSNASPEActualizado21122020.pdf
- Cowardin, L., Carter, V., Golet, F., & LaRoe, E. (1992). *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. <https://www.nrc.gov/docs/ML1801/ML18019A904.pdf>
- Cumandá, N., & Mainato, F. (2021). *Herramientas SIG para el estudio de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el cantón Chunchi, Provincia del Chimborazo*. [Trabajo experimental-Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20104/1/UPS-CT009032.pdf>

- Desaparece Laguna El Peral tras siete años de sequía. (2016). En *Nacional*. <https://www.24horas.cl/nacional/desaparece-laguna-el-peral-tras-siete-anos-de-sequia--1951653>
- DGAC. (2020). *Reporte Climático*. Dirección Meteorológica de Chile. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/reportes/reportesClimatologicos/reportesClimatologicos-2020.pdf>
- Díaz, J. (2015). Manual revisado de métodos útiles en el muestreo y análisis de la vegetación. *Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales*, 5, 48.
- Escenarios Hídricos 2030. (2021). *Recuperación de La Laguna El Peral*. Escenarios Hídricos 2030. <https://escenarioshidricos.cl/noticia/para-que-la-laguna-el-peral-comenzara-a-recuperarse-fue-vital-un-cambio-de-conducta-de-las-personas-que-empezaran-a-cuidar-y-se-dejara-de-arrojar-ahi-el-agua-servida/>
- *Explorador Climático Cr2*. (s. f.). Recuperado 18 de abril de 2022, de <https://explorador.cr2.cl/>
- Falabella, F., Planella, M. T., Aspillaga, E., Sanhueza, L., & H. Tykot, R. (2007). Dieta en Sociedades Alfareras de Chile Central: Aporte de Análisis de Isótopos Estables. *Revista de Antropología Chilena*, NO 39(NO 1), 5–27.
- Fernández, J. (2020). “El Rol de la Accesibilidad a los Humedales Urbanos en la Provisión de Nuevas Áreas Verdes Urbanas” *El estudio de caso del humedal urbano Los Batros, Área Metropolitana de Concepción* [Tesis presentada para obtener el grado académico de Magister en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2020/01/TESIS-JFD-1.pdf>
- Ffrench-Davis, R. (2019). *La Economía Chilena en Dictadura y en los Gobiernos Democráticos* [Noticias]. Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile. <https://econ.uchile.cl/es/noticia/columna-de-opinion-la-economia-chilena-en-dictadura-y-en-los-gobiernos-democraticos>
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J. B., Lovelock, C., Megoniga, J. P., Rahman, A., Saintilan, N., & Simard, M. (2019). *Carbono Azul Métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos* (UNESCO). <https://www.thebluecarboninitiative.org/manual-espanol>
- Convención para la protección de la flora, la fauna y las bellezas escénicas naturales de América, n° Decreto 531, 6 (1967). http://www.plataformacaldera.cl/biblioteca/589/articles-68652_documento.pdf

- Fundación Terram. (2020). *Efecto de mega puerto en San Antonio sobre humedal y lagunas inquieta a autoridades*. <https://www.terram.cl/2020/12/efecto-de-megapuerto-en-san-antonio-sobre-humedal-y-lagunas-inquieta-a-autoridades/>
- Galarza, R. (2020). Los Alcances de una Investigación. *CienciAmérica*, Vol. 9, 5.
- Girimonte, P., & García Front, J. (2020). El Índice NDVI y la Clasificación de Áreas Sembradas Aprendizaje automatico No Supervisado “K-Means”. *Revista de Investigación en Modelos Matematicos Aplicados a la Gestión y la Economía*, NO 1, 39–53.
- Gyanesh, C., Markham, B., & Helder, D. (2009). *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors*. NO 113, 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2013). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)-Report to the European Environment Agency* (Report N° 4; p. 34). University of Nottingham. https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/07/CICES-V43_Revised-Final_Report_29012013.pdf
- Hardy, E., & Anderson, J. (1973). *A Land Use Classification System for Use with Remote-Sensor Data*. 8. https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1007&context=lars_symp
- Henríquez, G., Garzón, M., Mejía, C., Torrenegra, Á., & Rada, J. (2019). *Medición de impactos socioambientales y responsabilidad social organizacional*. 17(4). <https://doi.org/10.15665/dem.v17i4.2111>
- Leiva, R. (1985). *Guía de manejo Santuario de La Naturaleza Laguna El Peral*. Conaf. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1382470047SNlagunaelperal.pdf
- Marquet, P., Santoro, C., Latorre, C., Standen, V., Abades, S., Rivadeneira, M., Arriaza, B., & Hochberg, M. (2012). *Emergence of social complexity among coastal hunter-gatherers in the Atacama Desert of northern Chile*. 1–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116724109>
- Martija, M. (2016). *Plan Comunal de Desarrollo Comuna de El Tabo-Programa Actualización Plan de Desarrollo Comunal de la Comuna de El Tabo*. <https://www.eltabo.cl/documentos/Pladeco.pdf>
- Martínez, E. (2005). *Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal*. 7.

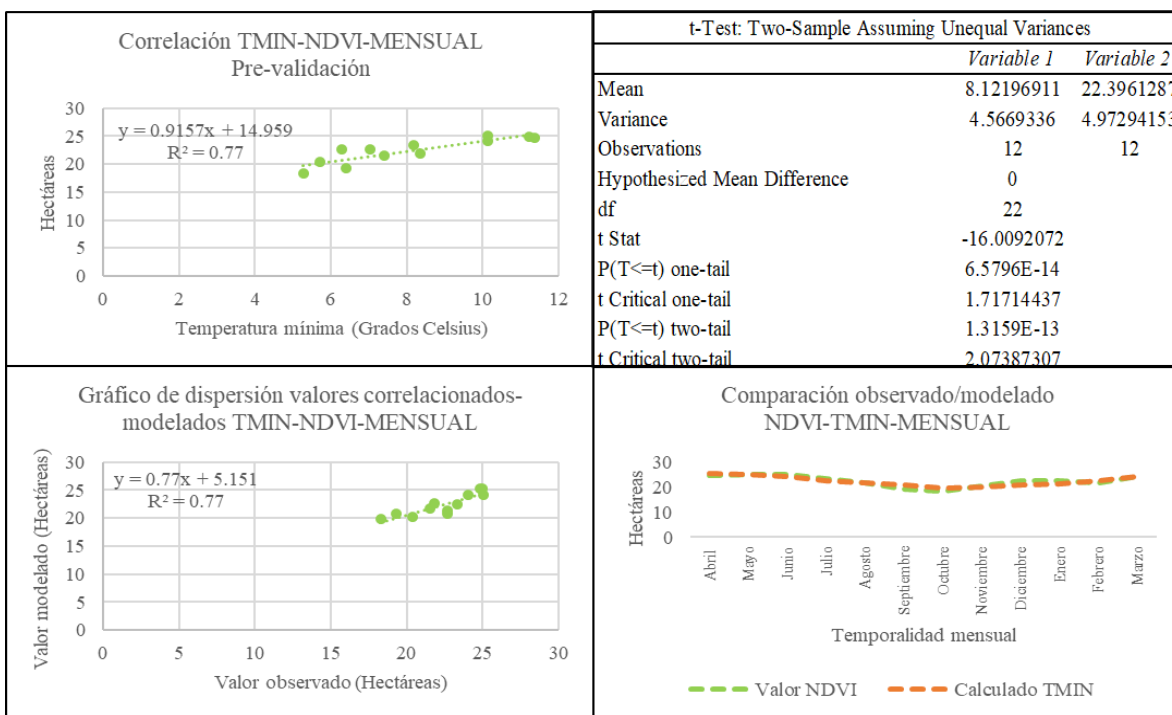
- Miranda, F. (2018). *Erosión de Suelos y Crisis Hídrica-Las sombras del modelo agroexportador del Palto* (pp. 9–36). Fundación Terram. https://www.terram.cl/descargar/naturaleza/agua/app_-_analisis_de_politicas_publicas/APP-70-Erosion-de-suelos-y-crisis-hidrica-las-sombras-del-modelo-agroexportador-de-palto.pdf
- Mitsch, W., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands* ((5a. ed)). Walley.
- MMA. (2011). *Diseño del Inventario Nacional de Humedales y el Seguimiento Ambiental. Informe final.* (p. 5) [Informe técnico]. <https://www.camara.cl/>
- Molfino, M. del R., & González, C. (2012). Acceso Abierto a la literatura científica y a los datos de investigación: Escenario de oportunidad para Latinoamérica. *Memoria Académica*, 13.
- MOP. (2020). *Mesa Nacional del Agua Primer Informe* (Exposición (1)). Ministerio de Obras Públicas. https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf
- Mundaca, R. (2017). Recuperar el agua para ir a una segunda reforma agraria. En *Reforma agraria. Aún creemos en los sueños*. <https://editorialauncreemos.cl/producto/reforma-agraria/>
- Muñoz, C., Fernández, A., & Downey, K. (Eds.). (2020). *Crisis hídrica: Un desafío de todos*. MOP. https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campa%C3%B1as/Plan-Sequia-2.0/Agua_Desafiodetodos_FINAL_1.pdf
- Norambuena, P., Orchard, C., Vernal, P., & Molina, C. (2022). *Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile*. EDÁFICA Suelos y Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente. https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_HUMEDALES_2022_BAJA.pdf
- Offer, R., & Karnieli, A. (2010). *Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs*. 533–544. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.11.006>
- Oyarce, B., Moller, A., Pereira, L., Carrión, S., & Carvajal, M. (2019). *Serie taller integrado de planificación en el litoral central / El Tabo—Las Cruces*. https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2020/01/Doc_trabajo_litoral_central_EL_TABO.pdf
- Paracuellos, M., Cardenete, J., & Robledano, F. (2007). *Ecología y conservación de los humedales litorales y sus aves en el sudeste ibérico*. 35.

- Pasqualotto, N., Delgado, J., Pezzola, A., Winschel, C., & Moreno, J. (2019). *Estimación del contenido de clorofila a nivel de cubierta (CCC) en cultivos: Comparativa de índices de vegetación y el producto de nivel 2A de Sentinel-2. 5.*
- Phakathi, M. (2010). *Comprender los beneficios de los humedales ayuda a comunidades a salvarlos.* <https://www.proquest.com/wire-feeds/comprender-los-beneficios-de-humedales-ayuda/docview/2432387613/se-2?accountid=8171>
- Pica, A., Martínez, C., Marinkovic, C., Esparza, C., Larraguibel, C., Morales, D., Torres, I., Mora, J., Fariña, J. M., Salcedo, J., Flores, L., Pérez, M., Contreras-López, M., Basii, N. B., Bambach, N., Melo, O., Winckler, P., Agredano, R., Vicuña, S., & Gelcich, S. (2019). *Determinación del Riesgo de los Impactos del Cambio Climático en las costas de Chile: Vol. NO 6* (Ministerio del Medio Ambiente). <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/2019-10-22-Informe-V02-CCCostas-Exposicio%CC%81n-Rev1.pdf>
- Rehren, A., Orellana, A., Arenas, F., & Hidalgo, R. (2018). La regionalización en un contexto de urbanización regional: Desde los desafíos a las propuestas de nuevos criterios de zonificación para el caso chileno. *Revista de Geografía Norte Grande*, 69, 191–209. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022018000100191>
- Rivera, C., & Riveros, G. (2017). *El Valor de Conservar la Biodiversidad del Santuario de la Naturaleza Laguna El Peral.* https://www.researchgate.net/publication/321274252_El_valor_de_Conservar_la_Biodiversidad_del_Santuario_de_la_Naturaleza_Laguna_El_Peral
- Rungruangsakorn, C. (2017). *Manual del Sistema de Certificación Ambiental Municipal* (pp. 11–154) [Manual]. Departamento de Gestión Ambiental Local División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana del Ministerio de Medio Ambiente. <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/MANUAL-SCAM-2017.pdf>
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (McGRAW-HILL). (6a. ed).
- Santander, V. (2003). *Evaluación Ambiental de los Humedales de la Comuna de El Tabo V Región de Valparaíso. Propuesta de Desarrollo Ecoturístico Para su Conservación Como Patrimonio Natural* [Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-6000/UCL6465_01.pdf

- Santibañez, F., Santibañez, P., Caroca, C., Morales, P., González, P., Gajardo, N., Perry, P., & Melillán, C. (2014). *Atlas del Cambio Climático en las Zonas de Régimen Árido y Semiárido*. https://issuu.com/agrimed_u.chile/docs/climate_change_atlas_smallsize
- Santillán, E., Gustavo, D.-V., José de Anda, S., & José de Jesús, D. (2013). *Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazones, Veracruz, México*. 15. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Schorr, B. (2018). *Unequal opportunities: Companies and the State in contention over mining in Chile*. 239–255. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432018005000601>
- Semeniuk, C. A., & Semeniuk, V. (1995). A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. *Kluwer Academic Publishers.*, 103–124.
- SMA. (2018). *Estrategia de Fiscalización Ambiental 2018-2023 División de Fiscalización* (División de Fiscalización) [Técnico]. Superintendencia del Medio Ambiente. <https://portal.sma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/11/Estrategia-de-Fiscalizacion-Ambiental-2018-2023.pdf>
- Song, Z., Sun, Y., Chen, P., & Jia, M. (2022). *Assessing the Ecosystem Health of Coastal Wetland Vegetation (Suaeda salsa) Using the Pressure State Response Model, a Case of the Liao River Estuary in China*. 15. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010546>
- Suárez, G. (2018). *Valoración Socio-Ecológica del Bosque en La Cordillera de Nahuelbuta. Comuna de Carahue, Novena Región de La Araucanía* [Tesis para optar al grado académico de licenciada en Geografía, Universidad Academia de Humanismo Cristiano]. <http://bibliotecadigital.academia.cl/xmlui/bitstream/handle/123456789/5403/TLGEO%2068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Swarnakar, A. K., Bajpai, S., & Ahmad, I. (2022). Various Types of Constructed Wetland for Wastewater Treatment- A Review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1032/1/012026>
- Sykas, D. (2020). *Spectral Indices with multispectral satellite data*. GU Geo University. <https://www.geo.university/pages/blog?p=spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>
- USAID. (1993). *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. <https://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/begin.htm#Contents>

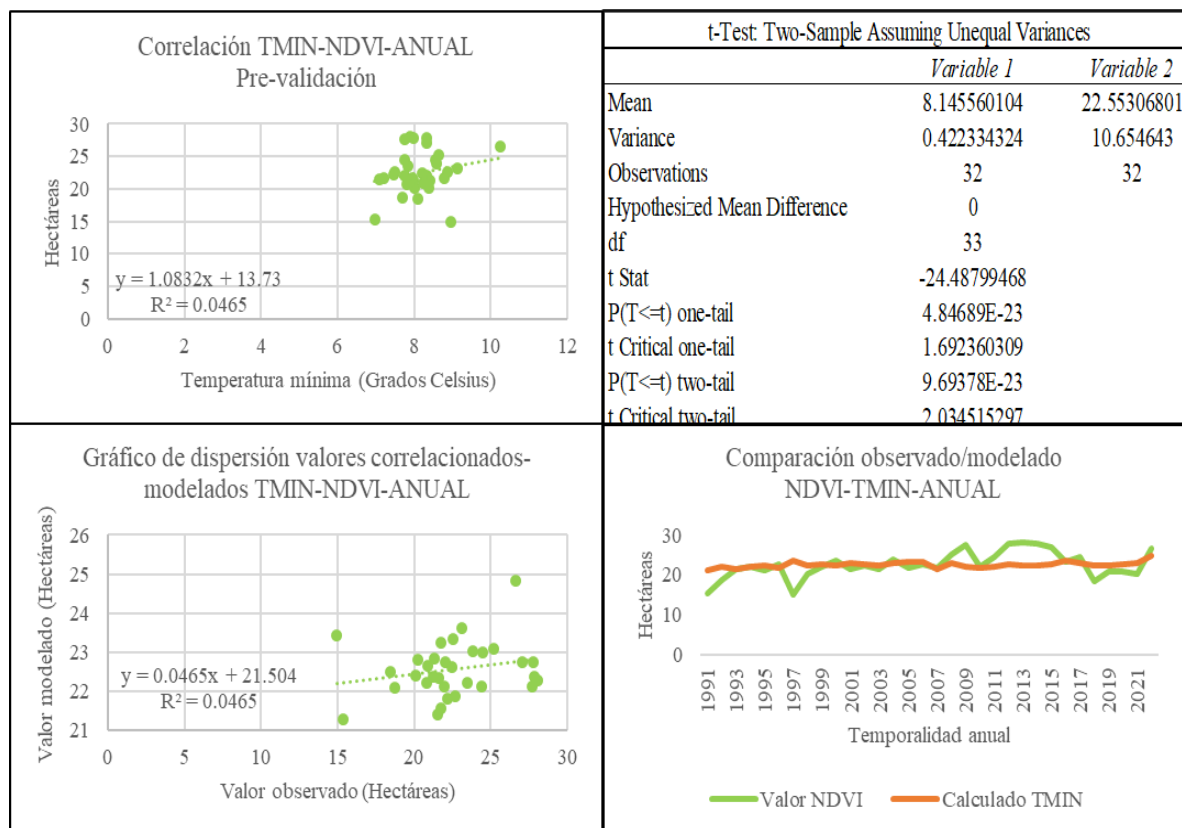
- USGS. (2019). *Landsat Enhanced Vegetation Index*. USGS. https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Vázquez, C. (2020). *Efectividad de la Convención de Ramsar para la conservación de humedales en el Caribe* [Tesina Maestra en Ecología Internacional, Université de Sherbrooke]. https://www.researchgate.net/publication/343385797_Efectividad_de_la_Convencion_de_Ramsar_para_la_conservacion_de_humedales_en_el_Caribe
- Vega, R., & Garcia, R. (2019). Inventario y diagnóstico de los humedales estacionales del Guadalquivir medio como bienes del patrimonio territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 40, 217–250. <http://dx.doi.org/10.5209/AGUC.69339>
- Venti, N. (2016). “*Humedales Región de Valparaíso*” *Inventario de humedales presentes en la región de Valparaíso Chile*. <https://www.camara.cl>
- Yong, Z., & Jingqing, G. (2000). *Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery*. No 3, 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160210144570>
- Zambrano-Bigiarini, M. (2019). Sequía y escasez hídrica en Chile: Parecidas, pero no iguales. *Blogs y opiniones*. <https://www.elmostrador.cl/destacado/2019/09/13/sequia-y-escasez-hidrica-en-chile-parecidas-pero-no-iguales/>

Anexo 3



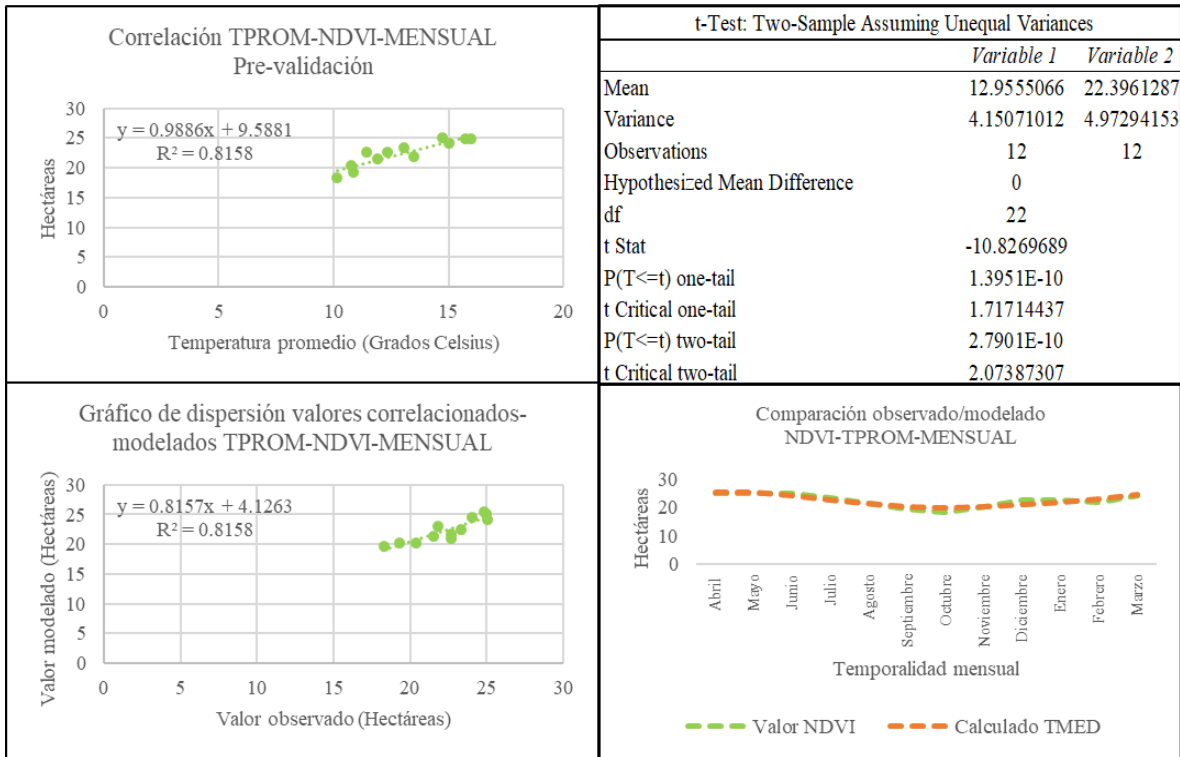
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 4



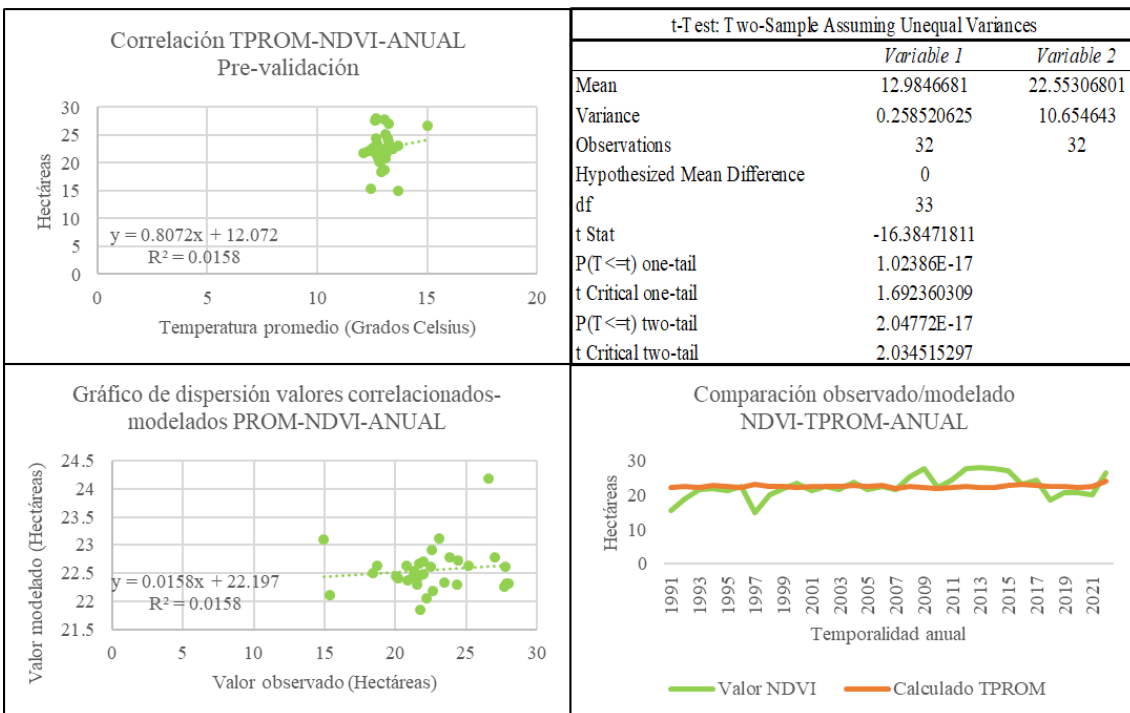
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 5



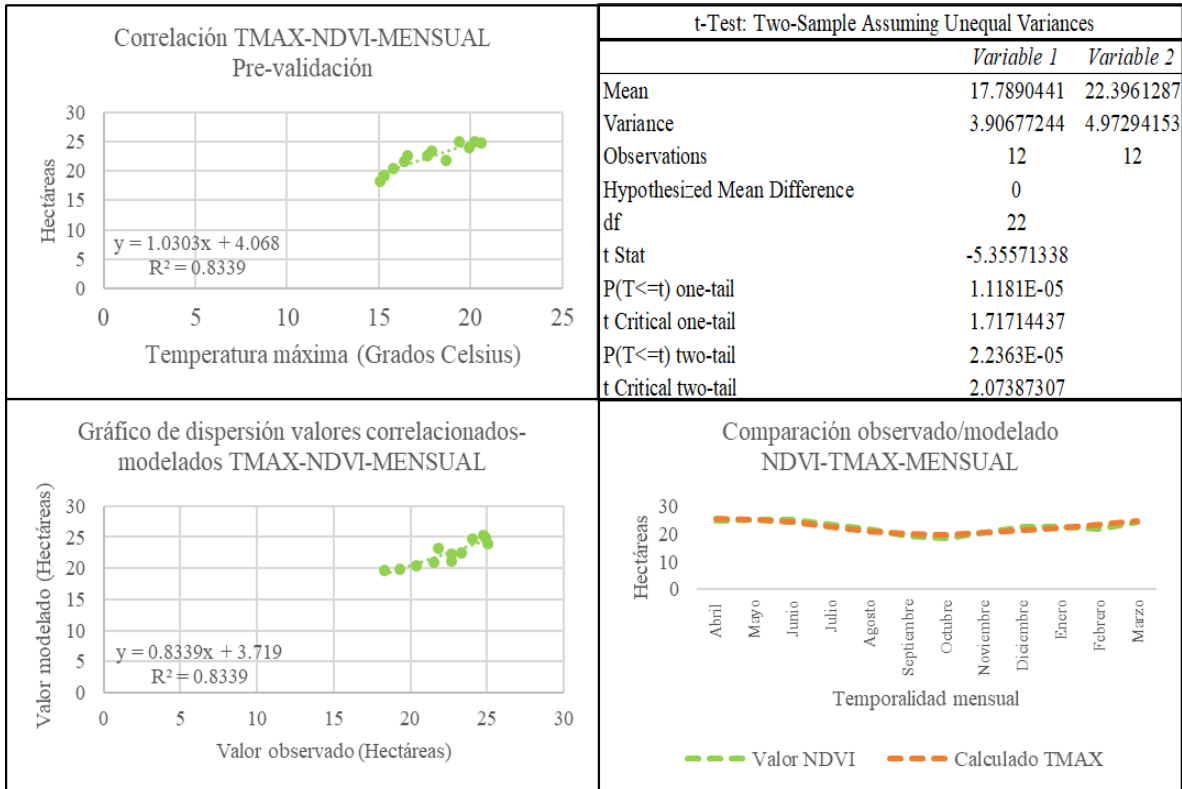
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 6



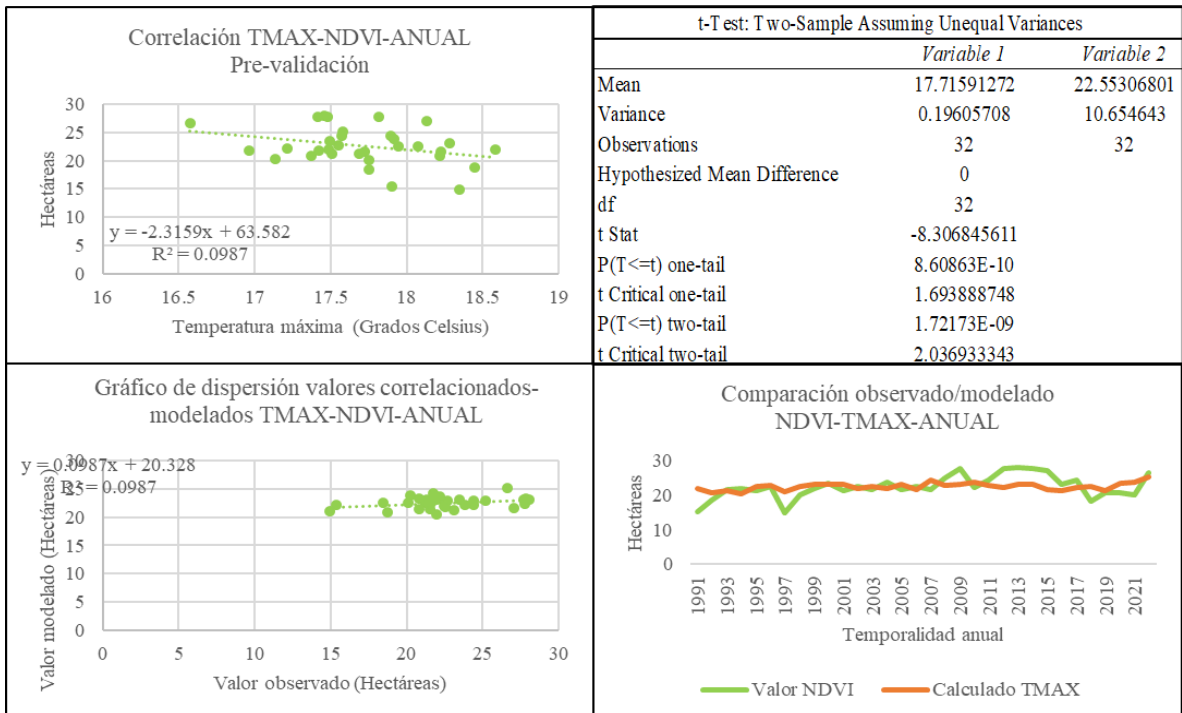
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 7



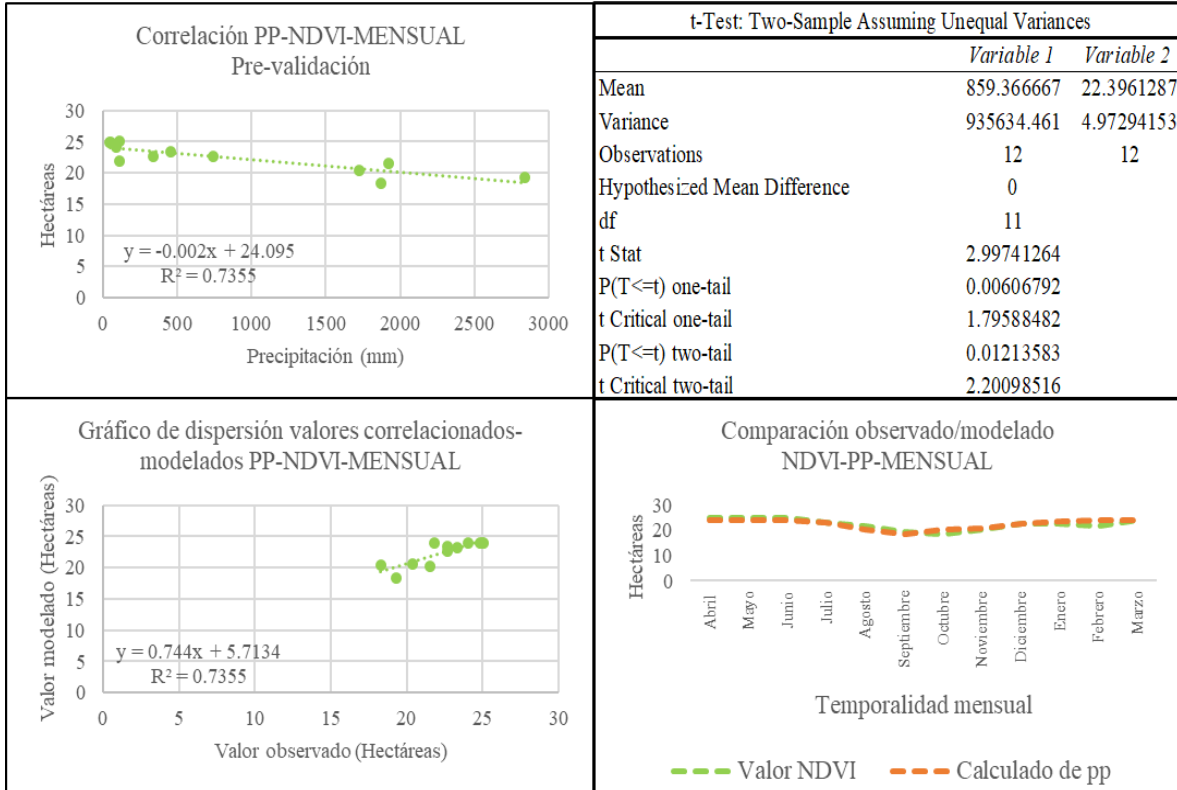
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 8



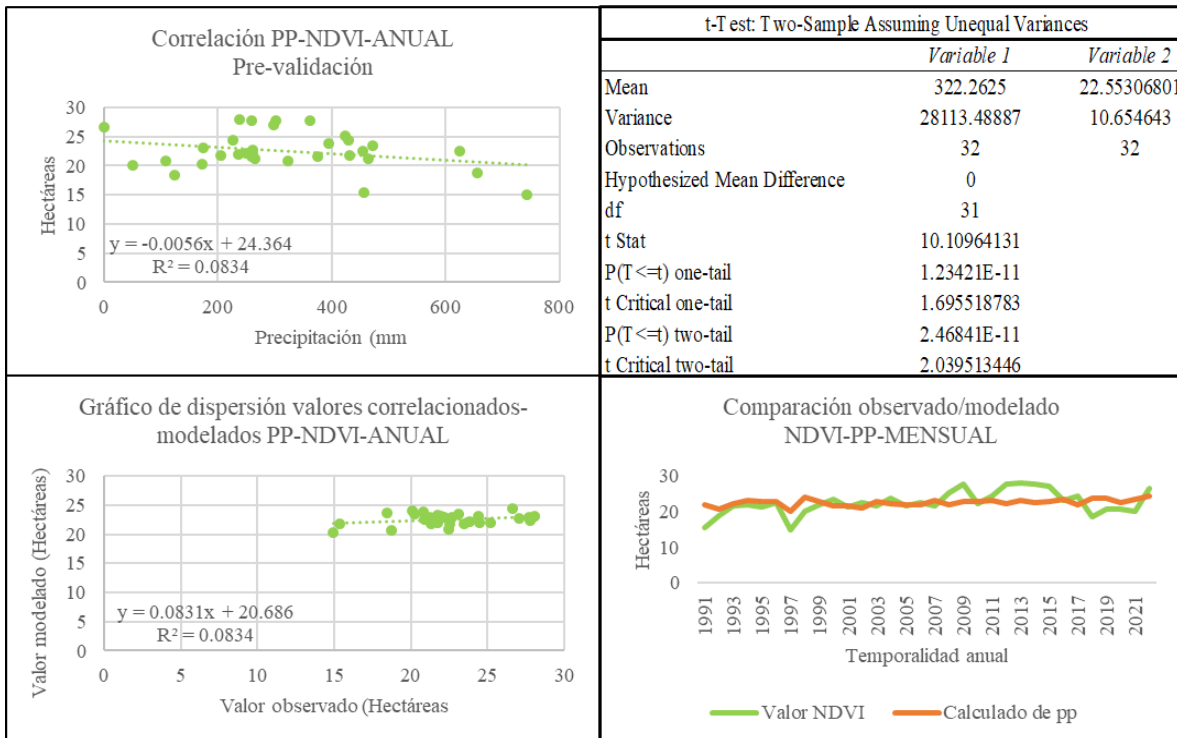
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 9



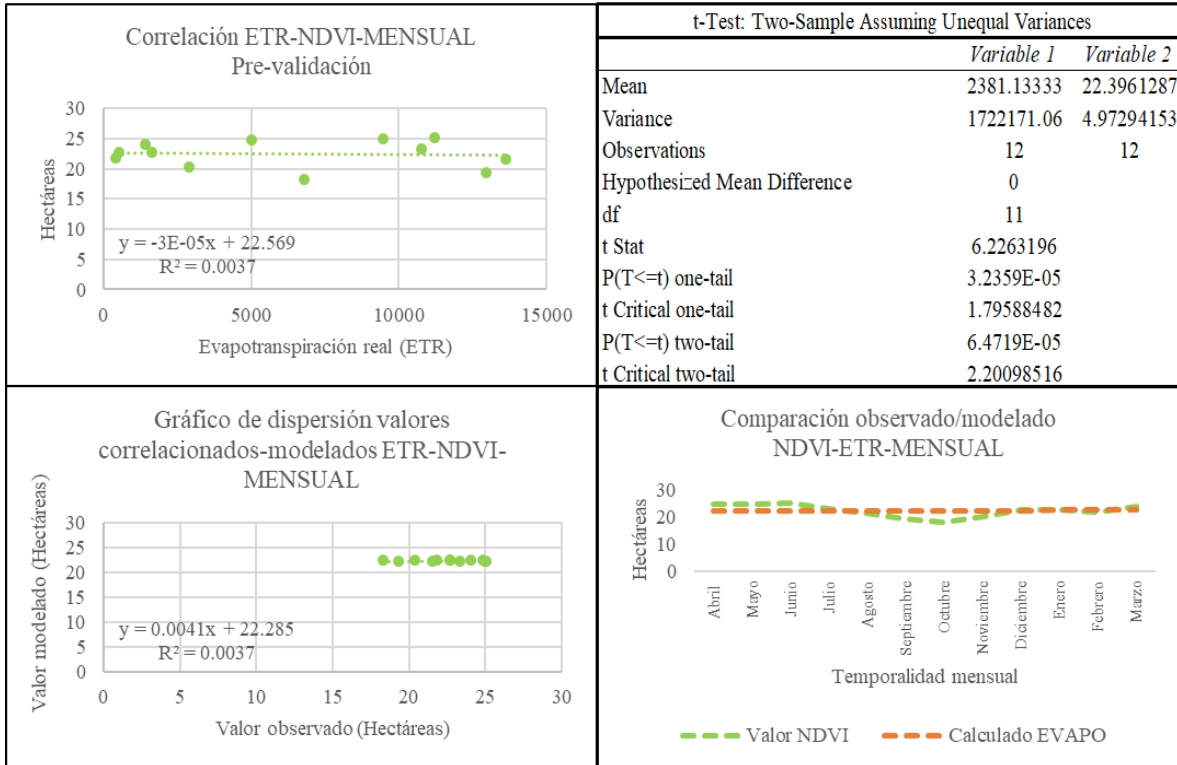
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 10



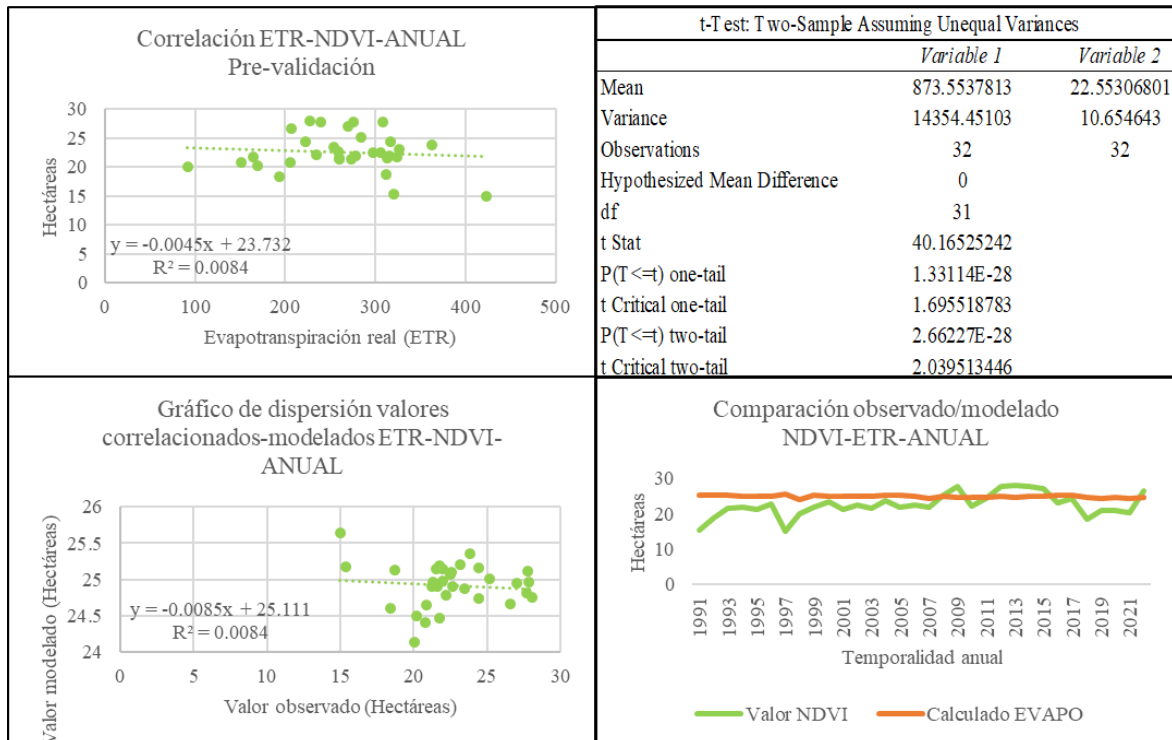
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 11



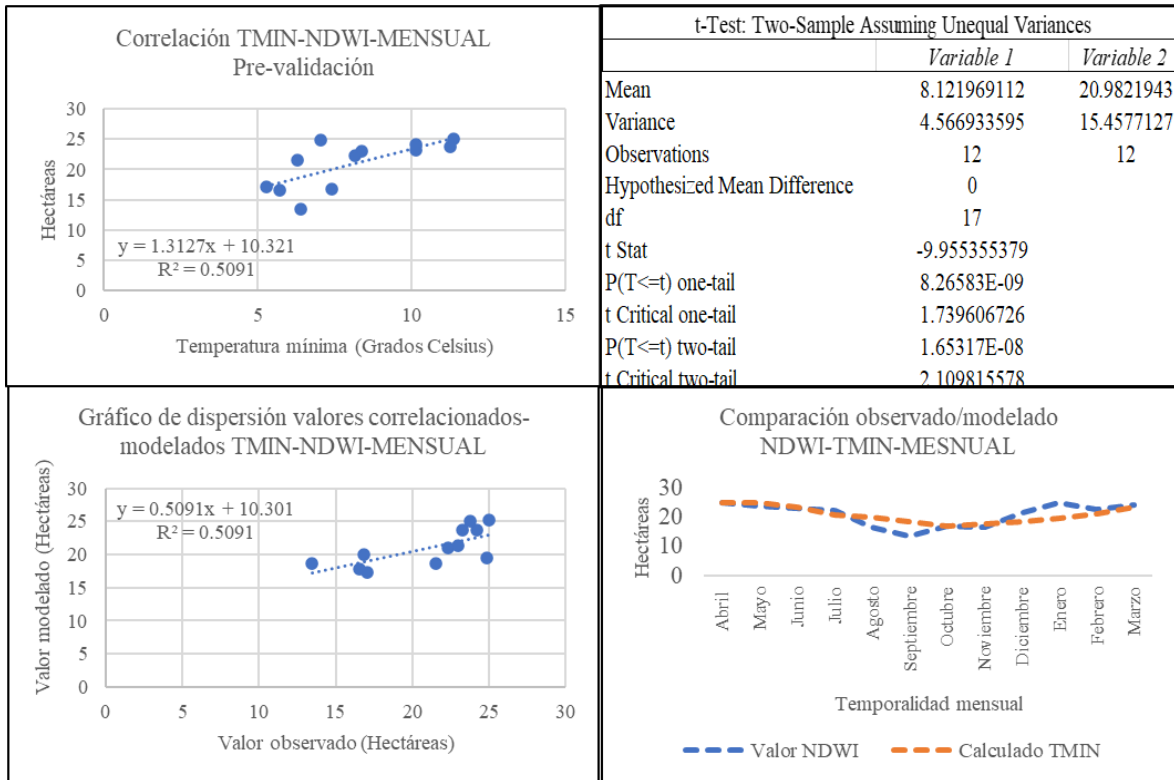
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 12



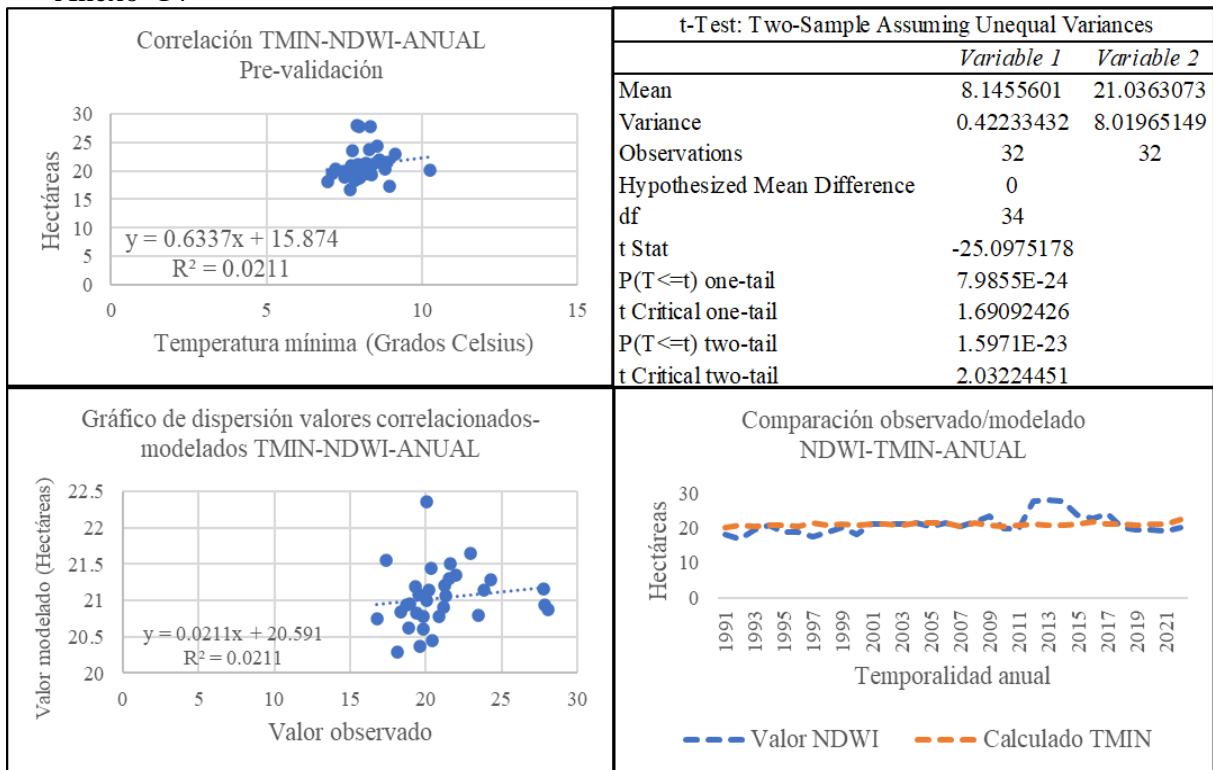
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 13



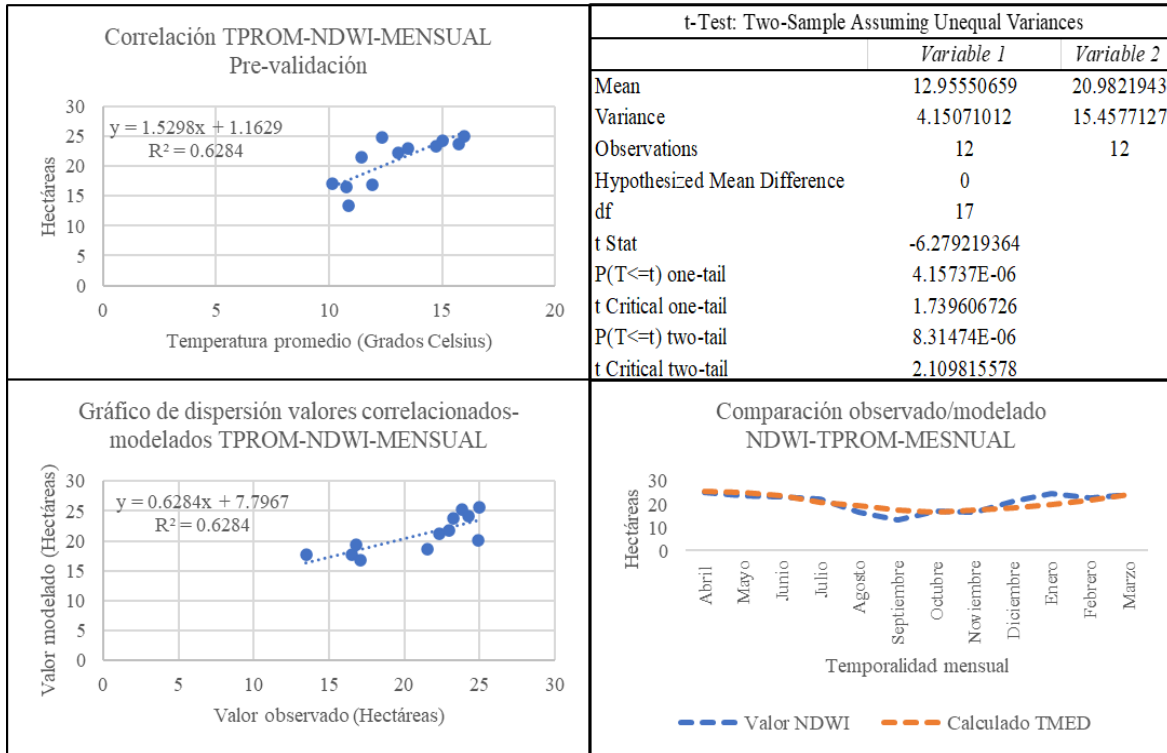
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 14



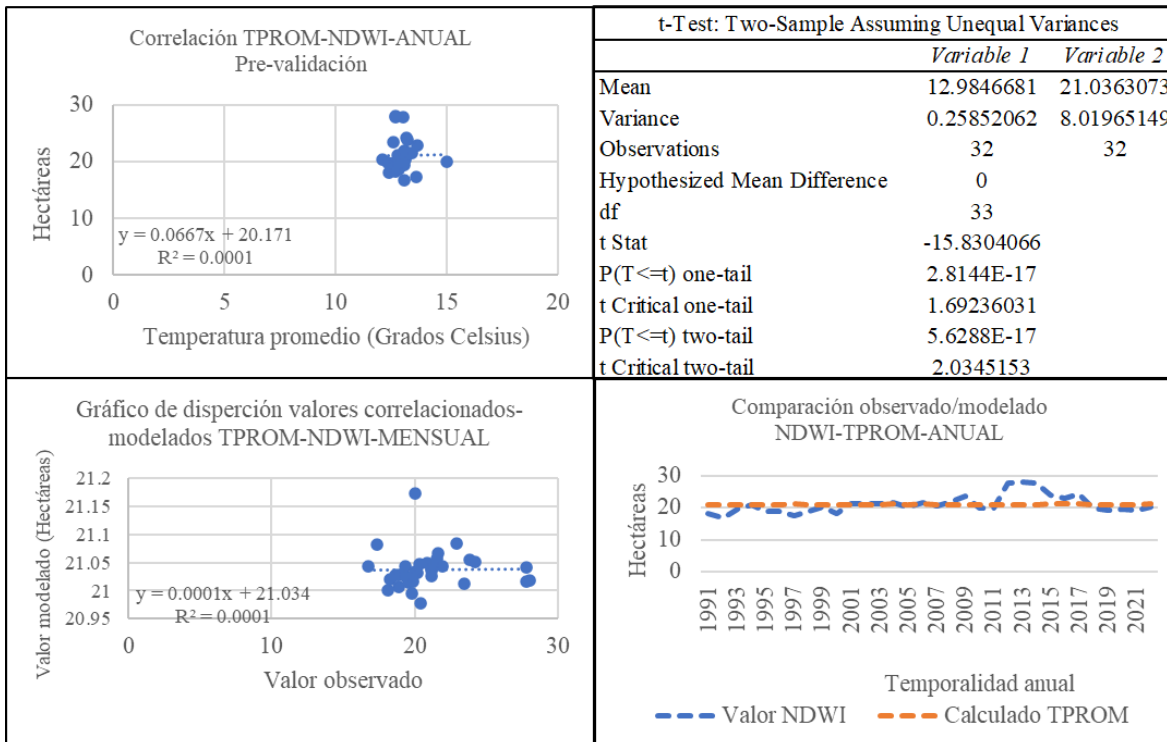
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 15



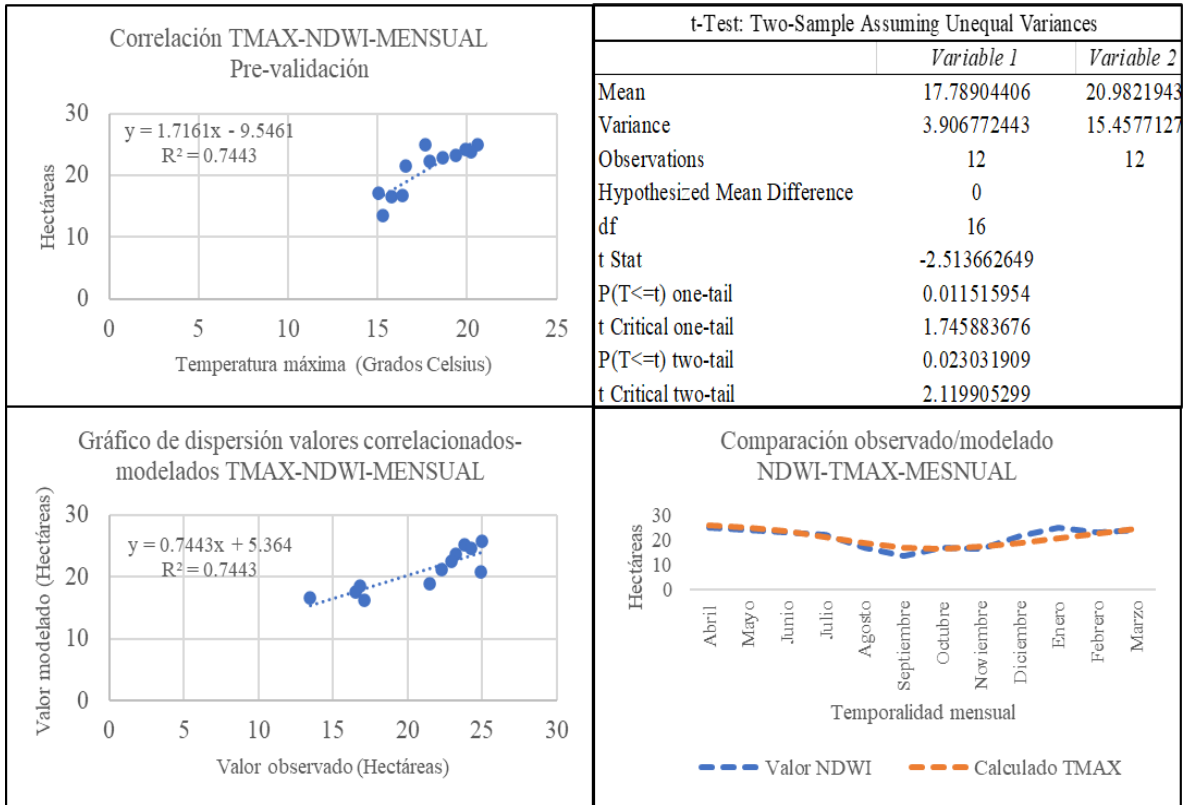
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 16



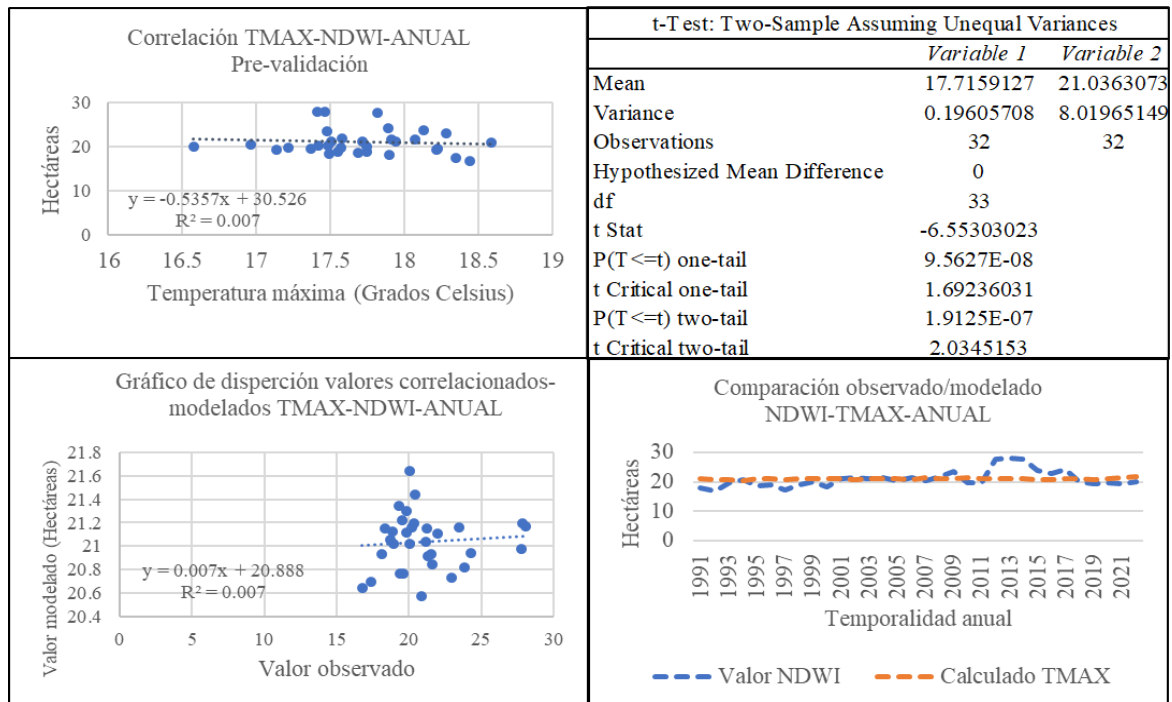
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 17



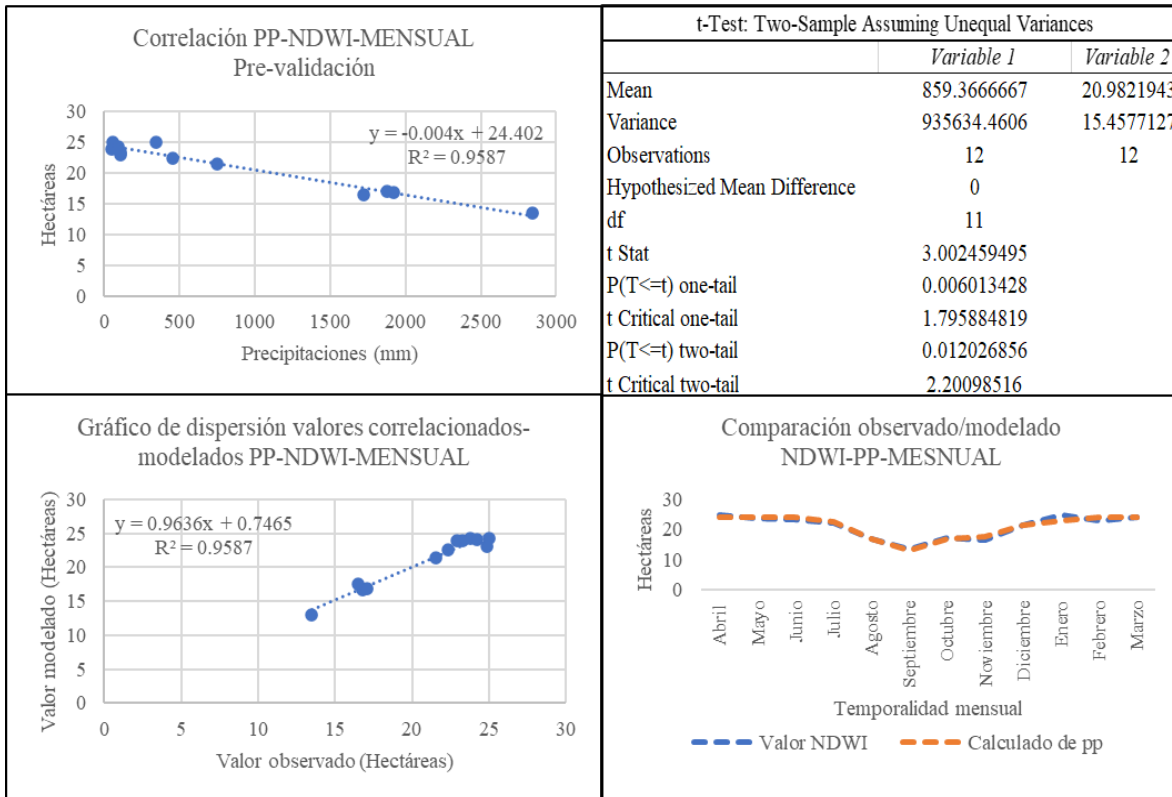
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 18



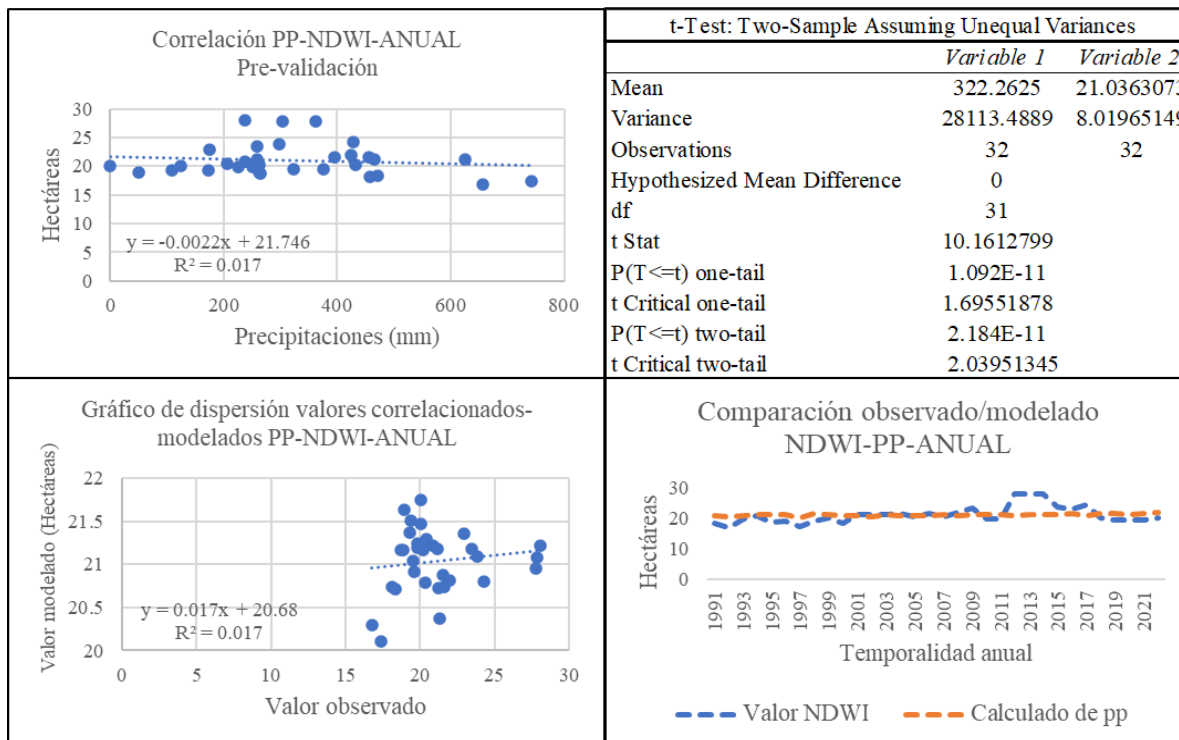
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 19



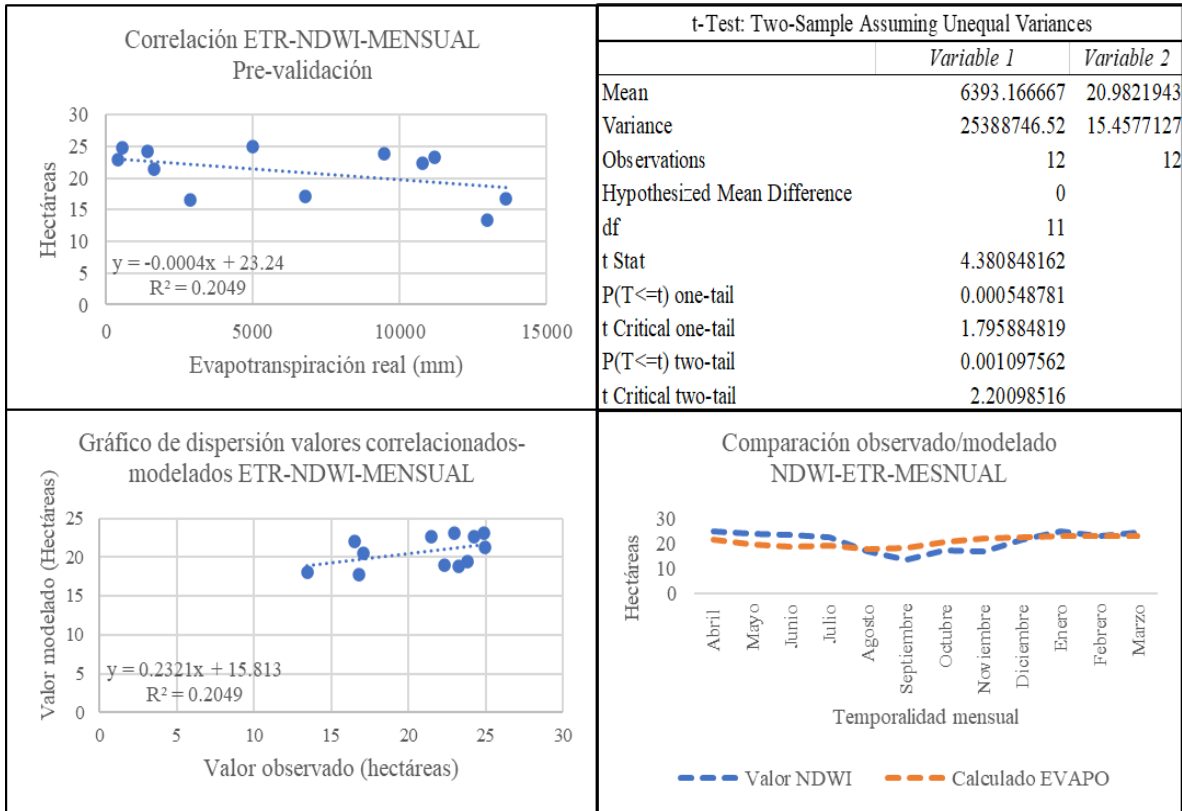
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 20



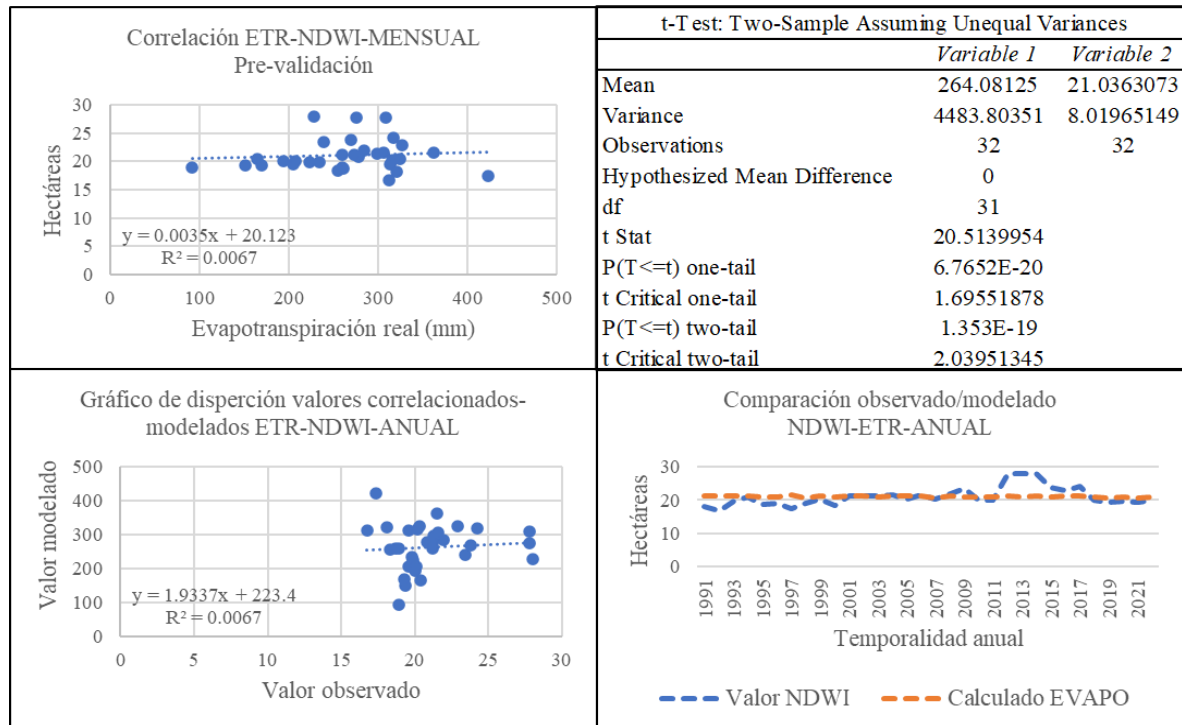
Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 21



Fuente: Elaboración propia 2022.

Anexo 22



Fuente: Elaboración propia 2022.