

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE
CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**



**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN EN
EL HUMEDAL PAICAVÍ-TUCAPEL BAJO MEDIANTE
ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES
SATELITALES Y VALIDACIÓN EN TERRENO**

Trabajo de Titulación para
optar al Título de Ingeniera de
Ejecución en GESTIÓN y
CONTROL AMBIENTAL.

Alumno:
Javiera Ayala Galeas

Profesor guía:
Cristian Pereira



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Evaluación del impacto de la urbanización en el humedal Paicavi-Tucapel bajo mediante análisis multitemporal de imágenes satelitales y validación en terreno
Nombre del candidato(a): Javiera Fernanda Ayala Galeas

Carrera / Grado: Ingeniería de ejecución en gestión y control ambiental

Campus: Concepción Departamento: Química y Medioambiente

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Pereira Aburto, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12/01/2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12/01/2026 Firma :

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

La urbanización en áreas cercanas a humedales urbanos constituye una de las principales amenazas para estos ecosistemas en Chile, debido a la presión inmobiliaria, los cambios en el uso de suelo y las debilidades en la planificación territorial. El humedal Paicaví–Tucapel Bajo, ubicado en la ciudad de Concepción, representa un caso emblemático de esta problemática, al encontrarse inserto en un entorno urbano altamente intervenido y, a su vez, protegido por la Ley N° 21.202 de Humedales Urbanos.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar los cambios espaciales y temporales del humedal Paicaví asociados al proceso de urbanización, mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales entre los años 2013 y 2025, complementado con la identificación de presiones antrópicas y la revisión del marco normativo vigente. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales, procesadas en el software QGIS, aplicando los índices espectrales NDVI (vegetación), NDWI (humedad superficial) y NDBI (superficies edificadas), tanto al polígono del humedal como a una zona de influencia o buffer de 350 metros.

PALABRAS CLAVES: URBANIZACIÓN, HUMEDALES URBANOS, PRESIONES ANTRÓPICAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN..... 11

OBJETIVOS..... 12

 Objetivo general

 Objetivo específico

ALCANCE..... 13

LIMITACIONES..... 14

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTE..... 15

 1.1 Conceptos generales sobre humedales..... 15

 1.1.1 Definición de humedal 15

 1.1.2 Características de un humedal 15

 1.1.3 Importancia ecológica y servicios ecosistémicos..... 18

 1.1.4 Humedales urbanos y presiones antrópicas..... 19

 1.1.5 Índices espectrales (NDVI, NDWI, NDBI)..... 19

 2.1 Legislación y normativa 21

 2.1.1 Ley 21.202..... 21

 2.1.2 Convención Ramsar..... 22

 2.1.3 Plan regulador..... 22

 2.1.4 Ley 19.300..... 23

 2.1.5 SNAPSE..... 23

 2.1.6 ODS..... 23

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... 25

 3. Ubicación y características del humedal Paicaví..... 25

 3.1 La localización..... 25

 3.2 Red hidrográfica..... 25

 3.3 Geología..... 25

 3.4 Clima..... 27

 3.5 Biodiversidad presente — (Información de fuentes oficiales y observaciones propias)..... 28

 3.5.1 Fauna..... 28

3.5.2 Flora..... 33

CAPÍTULO 3 : ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DEL HUMEDAL PAICAVÍ.....37

4.1.Metodología del análisis satelital..... 37

4.2.Selección de imágenes y periodo (2013–2025)..... 38

4.3.Aplicación de índices NDVI , NDWI y NDBI..... 45

4.4.Resultados del análisis..... 50

4.5.Interpretación ambiental de los resultados..... 54

CAPÍTULO 4: IDENTIFICACIÓN DE PRESIONES ANTRÓPICAS Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN..... 64

5.1 Contexto urbano y territorial..... 64

5.2.Identificación de presiones antrópicas (urbanización, rellenos, contaminación, etc.)..... 66

5.3.Descripción de construcciones y proyectos en el entorno del humedal..... 67

5.4. Riesgo naturales del sistema del humedal..... 68

5.4.2 Terremoto..... 68

5.4.3 Licuefacción..... 68

5.5.Estado actual del humedal frente a la urbanización..... 69

5.6.Lineamientos o recomendaciones para su gestión y conservación..... 69

CONCLUSIONES..... 72

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 : Cartografía oficial del humedal paicaví. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de Chile

Figura 2-1. Humedal costero. Fuente: Conciencia Eco

Figura 2-2. Humedal estuarino. Fuente: Dumac

Figura 2-3. Humedal lacustre. Fuente: CODEF

Figura 2-4. Humedal ribereño. Fuente: Humedal los ríos.

Figura 2-5. Humedal palustre. Fuente: Humedal los ríos.

Figura 3-1. Unidades geológicas del Sistema Humedal Rocuant-Andalién, Vasco Da Gama, Paicaví, Tucapel bajo. Fuente. UrbanCost(2021) adaptada de SERNAGEOMIN (2003)

Figura 4-1 : Imagen satelital banda b4-b5, (24/05/2014). Fuente: USGS Earth Explorer.

Figura 4-2 : Imagen satelital banda b4-b5, (18/12/2014). Fuente: USGS Earth Explorer.

Figura 4-3 : Imagen satelital banda b5-b6,(22/04/2024). Fuente: USGS Earth Explorer.

Figura 4-4 : Imagen satelital banda b5-b6,(18/12/2014). Fuente: USGS Earth Explorer.

Figura 4-5 : Imagen satelital banda b5-b3, (22/04/2014). Fuente : USGS Earth Explorer.

Figura 4-6 : Imagen satelital banda b5-b3,(18/12/2014). Fuente: USGS Earth Explorer

Figura 4-7 : Polígono delimitado del humedal. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 4-8 : Zona buffer delimitada. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 4-9 : Imagen de NDWI calculado. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 4-10 : Imagen NDVI calculado. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 4-11 : Imagen calculo zona buffer NDVI. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 4-12 : Imagen calculo zona buffer NDWI. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 4-13 : Imagen calculo zona buffer NDBI. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Figura 5-1 : Expansión Urbana Área Metropolitana de Concepción. Fuente: Urbancost 2020 en base a imágenes GeoEye 2019

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1 : NDVI 1°S polígono. Fuente Elaboración propia.

Gráfico 1-2 : NDVI 2°s polígono. Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1-3 : NDWI 1°S polígono. Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1-4 : NDWI 2°S polígono. Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1-5 : NDBI 1°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1-6 : NDBI 2°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1-7 : NDWI 1°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1-8 : NDWI 2°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1-9 : NDVI 1°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1-10 : NDVI 2°S zona buffer. Fuente Elaboración propia.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Especies de Aves. Fuente: Sistemas de humedales del gobierno

Tabla 1-2 : Especies florales. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2-1 : Índices de teledetección. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-1 : Resultado NDVI Polígono. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2 : Resultado NDWI polígono. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3 : Resultados NDBI zona buffer. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-4 : Resultado para NDWI zona buffer. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-5 : Resultados para NDVI zona buffer. Fuente: Elaboración propia.

Sigla

NDVI	: Índice de vegetación de Diferencia Normalizada
NDBI	: Índice de Diferencia Normalizada Edificada
NDWI	: Índice de Agua de Diferencia Normalizada
USGS	: Servicio geológico de Estados Unidos
NIR	: Banda espectral del infrarrojo cercano caracterizada por una alta reflectancia de la vegetación sana
SWIR	: Banda espectral del infrarrojo de onda corta, sensible al contenido de humedad de la vegetación y del suelo
RED	: Banda espectral de rango visible asociada a la absorción de energía por la clorofila
GREEN	: Banda espectral asociada a la radiación reflejada por la vegetación
PRMC	: Plan Regulador Metropolitano de Concepción
PRC	: Plan Regulador Comunal
OGUC	: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción
SNAPSE	: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
ODS	: Objetivo de Desarrollo Sostenible
PIB	: Producto Interno Bruto
SEA	: Servicio de Evaluación Ambiental
DIA	: Declaración de Impacto Ambiental
MINVU	: Ministerio de Vivienda y Urbanismo
SEIA	: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SERNAGEOMIN	: Servicio Nacional de Geología y Minería

INTRODUCCIÓN

Los humedales urbanos constituyen ecosistemas de alta relevancia ambiental debido a los múltiples servicios ecosistémicos que proveen, tales como la regulación hídrica, el control de inundaciones, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad ambiental en entornos altamente intervenidos. No obstante, el acelerado proceso de urbanización experimentado en las ciudades chilenas durante las últimas décadas ha generado una presión creciente sobre estos sistemas, provocando su degradación, fragmentación y, en muchos casos, su pérdida parcial o total. En este contexto, los humedales urbanos del Gran Concepción han sido particularmente afectados por el crecimiento urbano no planificado, los rellenos, las modificaciones del régimen hidrológico y el cambio de uso de suelo. El presente Trabajo aborda esta problemática mediante la evaluación del impacto de la urbanización sobre el humedal Paicaví–Tucapel Bajo, integrando herramientas de análisis multitemporal de imágenes satelitales. A través del uso de índices espectrales asociados a la cobertura vegetal y a la humedad superficial, se analiza la evolución espacial del humedal en distintos períodos, permitiendo identificar tendencias de transformación y posibles procesos de degradación asociados al desarrollo urbano circundante.

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar los cambios espaciales y temporales del humedal asociados a la urbanización, mediante análisis multitemporales de imágenes satelitales.

Objetivo específico:

- **Analizar** los cambios espaciales y temporales del humedal Paicaví mediante el procesamiento de imágenes satelitales y la aplicación de índices de teledetección.
- **Identificar** las presiones antrópicas que afectan al humedal Paicaví y evaluar medidas de conservación.

ALCANCE

El presente proyecto tiene como alcance la evaluación del estado ambiental y dinámica temporal del humedal mediante análisis multitemporal, índices espectrales derivados de imágenes satelitales entre 2013 y 2025.

El análisis se enfoca en la identificación de tendencias temporales, variaciones estacionales y patrones generales asociados a la cobertura vegetal, la humedad superficial y la presencia de superficies urbanizadas.

El alcance del proyecto es de carácter descriptivo y analítico, orientado al monitoreo ambiental, sin considerar modelaciones predictivas, mediciones en terreno ni evaluaciones biológicas específicas. Los resultados obtenidos permiten generar un diagnóstico ambiental general, identificar presiones antrópicas potenciales y entregar antecedentes técnicos que pueden servir como insumo para la gestión, planificación territorial y conservación del humedal.

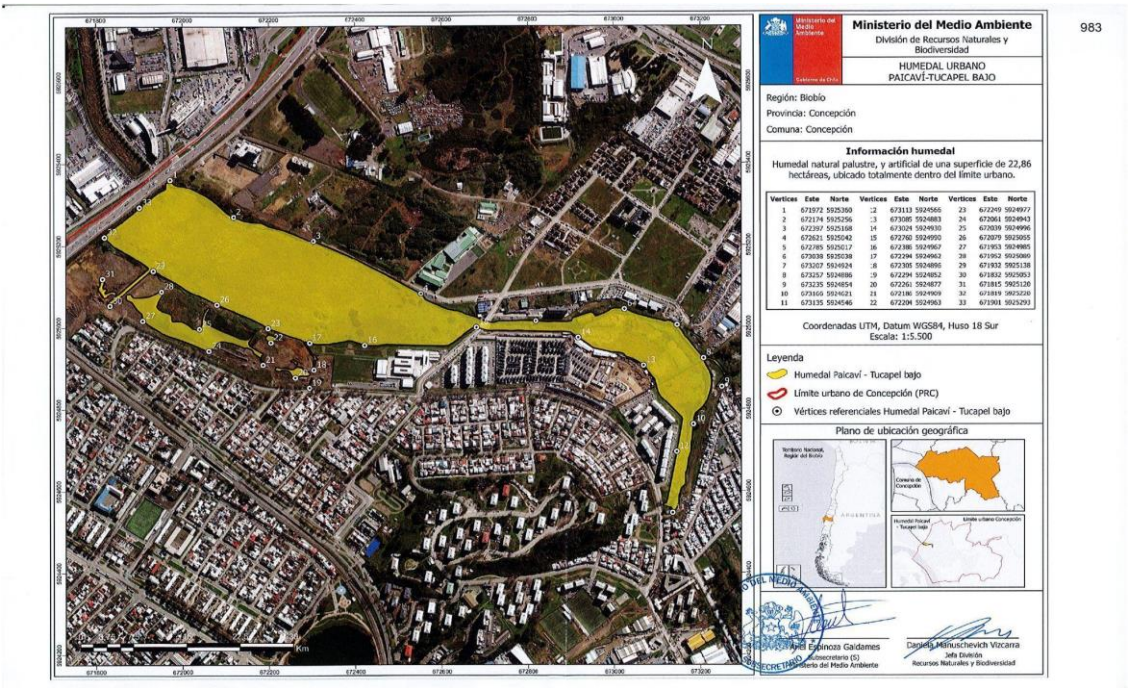


Figura 1-1 Cartografía del humedal paicaví Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

LIMITACIONES

Disponibilidad temporal de imágenes satelitales: El satélite seleccionado para el análisis (Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2) no cuenta con imágenes anteriores al año 2013, lo que impide evaluar los cambios ocurridos desde el año 2002, periodo originalmente considerado para este estudio. Esta limitación reduce la posibilidad de observar transformaciones tempranas asociadas a los primeros procesos de urbanización en el entorno del humedal, ya que solo es posible analizar el impacto desde el año 2013 en adelante. En consecuencia, el resultado de este trabajo va a reflejar tendencias recientes y no permite evidenciar la evolución de la urbanización en el ecosistema.

Resolución espacial: La precisión de los resultados dependerá de la calidad y resolución de las imágenes satelitales disponibles, lo que puede limitar la detección de cambios en áreas de menor tamaño.

Limitaciones metodológicas: El estudio no contempla análisis de laboratorio ni monitoreos hidrológicos o de biodiversidad, por lo que se enfoca en la dimensión espacial y visual de los cambios.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

1.1 Conceptos generales sobre humedales.

1.1.2 Definición de humedal: Los humedales son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, con agua estancada o corriente, dulce, salobre o salada, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros [17].

1.1.3 Características de un humedal:

Tipos de humedales:

En Chile están representados prácticamente todos los tipos de humedales clasificados por Ramsar, la excepción corresponde a los arrecifes de coral, de tundra y kársticos, pero si sistemas de aguas subterráneas (acuíferos).

Se reconocen cinco tipos de humedales principales:

- Marinos: Humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas, praderas de pastos marinos y arrecifes de coral.



Figura 2-1. Humedal costero. Fuente: Conciencia Eco

- Estuarinos: Incluidos deltas, marismas de marea y bajos intermareales de lodo y manglares.



Figura 2-2. Humedal estuarino. Fuente: Dumac

- Lacustres: Humedales asociados con lagos.



Figura 2-3. Humedal lacustre. Fuente: CODEF

- Ribereños: Humedales adyacentes a ríos y arroyos



Figura. 2-4. Humedal ribereño. Fuente: Humedal los ríos.

- Palustres: Pantanosos, marismas, pantanos y ciénagas.



Figura 2-5. Humedal palustre. Fuente: Humedal los ríos.

Humedales artificiales:

Estanques de cría de peces y camarones, granjas, tierras agrícolas de regadío que incluyen arrozales, depresiones inundadas salinas, represas, embalses, estanques de grava, piletas de tratamiento residuales y canales. [17]

1.1.4.Importancia ecológica y servicios ecosistémicos.

Son esenciales para la regulación de cuencas, conservación de especies endémicas y adaptación al cambio climático.

Los humedales prestan beneficios muy importantes, tales como : i) suministro de agua, ii) suministro de peces, iii) soporte de la agricultura, al mantener el balance de agua y retener nutrientes, iv) producción de madera, v) soporte a especies de vida salvaje, vi) oportunidades de recreación y turismo.

Los servicios ecosistémicos son aquellos prestados por los humedales, de forma natural. Estos pueden variar desde el control físico de los impactos ambientales hasta la alta significancia social y cultural.

Los servicios referenciados son los siguientes:

- Control de inundaciones
- Reposición de aguas subterráneas
- Estabilización de costas y protección contra tormentas
- Retención y exportación de sedimentos y nutrientes
- Depuración de aguas
- Reservorios de biodiversidad
- Productos de los humedales
- Valores culturales
- Recreación y turismo
- Mitigación del cambio climático y adaptación a él. [18]

Funciones ecológicas:

Los humedales cumplen funciones importantes para el ecosistema, tales como:

Almacenamiento de agua; protección contra tormentas y mitigación de crecidas; amortiguamiento de sequías; estabilización de costas y control de la erosión; recarga y descarga de acuíferos; depuración de aguas; retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes y estabilización de costas y control de erosión; recarga y descarga de acuíferos; depuración de aguas; retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes y estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvia y temperatura.[19]

1.1.5 .Humedales urbanos y presiones antrópicas.

Los humedales en Chile están bajo amenaza, pueden ser alterados significativamente por intervenciones antrópicas, como el cambio de uso de suelo, la degradación, la tala excesiva y la contaminación. Entre los cambios de uso de suelo destaca la transformación de humedales a praderas para la producción agropecuaria y el relleno de humedales para la construcción de viviendas, centros comerciales o infraestructura turística. [20]

- Cambios en el uso de suelo(Relleno, urbanización)
- Alteraciones hidrológicas
- Contaminación (Derrames)
- Fragmentación y pérdida de hábitat
- Introducción de especies exóticas
- Cambio climático

1.4. Índices espectrales

Los satélites pueden capturar diversos tipos de imágenes de alta calidad gracias a la variedad de sensores que incorporan. Estos sensores, diseñados para detectar diferentes frecuencias a lo largo del espectro electromagnético (EM), ofrecen una visión completa de las características y actividades de nuestro planeta.

La funcionalidad de los sensores se basa en las características de reflexión y absorción de diferentes materiales a distintas longitudes de onda. Por ejemplo, al observar una planta, se observa el color verde. Esto se debe a que la clorofila, el pigmento de las hojas, refleja las ondas de luz visible verde. Justo más allá del espectro de luz visible se encuentran las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). Las propiedades del agua, la tierra firme y las plantas sanas interactúan de forma diferente con cada una de estas longitudes de onda. Las plantas sanas reflejan el NIR y la luz visible verde, pero absorben el SWIR y la luz visible roja. Por otro lado, el agua absorbe estas cuatro longitudes de onda, lo que proporciona información útil para determinar los límites terrestres y los niveles de humedad. Se han desarrollado ecuaciones utilizando combinaciones de estas longitudes de onda.[5]

- NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es una métrica esencial para medir salud y vigor de la vegetación ya que se puede monitorear el crecimiento y el estrés de las plantas.

Para medir cómo refleja la luz la superficie, el índice de vegetación normalizada(NDVI) suele basarse en datos obtenidos mediante satélites. El NDVI funciona de acuerdo a esta fórmula:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

donde : NIR es la cantidad de luz infrarroja cercana reflejada por la superficie

RED es la cantidad de luz roja visible reflejada por la superficie.[7]

La fórmula del NDVI funciona comparando la cantidad de luz roja visible que absorbe una planta con la cantidad de luz infrarroja cercana que refleja. Las plantas tienen clorofila, que absorbe la luz roja (RED) y refleja la luz del infrarrojo cercano(NIR). Cuando las plantas sufren estrés, por ejemplo, cuando están demasiado secas o enfermas, reflejan menos luz infrarroja cercana y absorben más. Al medir la diferencia entre estos distintos tipos de luz absorbida y refleja, el NDVI nos muestra la salud de la vegetación en función de la cantidad de clorofila que tiene.[8]

- NDWI

El índice de agua de diferencia normalizada se utiliza para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite. Para ello, se reduce considerablemente la reflectancia del suelo y la vegetación, lo que permite que dichas masas de agua” destaquen” en la imagen [9].

Aprovechando las bandas espectrales NIR (Infrarrojo cercano) y GREEN (verde visible), el NDWI es capaz de realzar las masas de agua en una imagen de satélite. El inconveniente de este índice es que es sensible a las estructuras construidas, lo que puede llevar a una sobreestimación del tamaño de las masas de agua.

La fórmula del NDWI es la siguiente:

$$\text{NDWI} = (\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$$

Las longitudes de onda del verde visible maximizan la reflectancia habitual de la superficie del agua. Las longitudes de onda del infrarrojo cercano maximizan la alta reflectancia de la vegetación terrestre y las zonas del suelo, mientras que minimizan la baja reflectancia de las masas de agua.

El resultado de la fórmula NDWI son valores positivos para los elementos de agua y negativos (o cero) para suelo y la vegetación terrestre. [9]

- NDBI

El Índice de Diferencia Normalizada Edificada permite llevar a cabo la estimación de zonas con superficies edificadas o en desarrollo de construcción frente a las habituales zonas naturalizadas con vegetación o desnudas.

El cálculo del índice NDBI requiere de las bandas de análisis del infrarrojo a través de las bandas SWIR y NIR.

la fórmula es la siguiente:

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR}) [10].$$

2.1 Legislación y normativa

2.1.2 Ley 21.202

La presente ley tiene por objetivo proteger los humedales urbanos declarados como tal por el Ministerio de Medio Ambiente, sea por su propia iniciativa o a petición del municipio respectivo, en atención a la gran importancia que tienen para el medio ambiente.

A través de un reglamento expedido por el Ministerio del Medio Ambiente, suscrito también por el Ministerio de Obras Públicas, señalará los criterios mínimos para la

sustentabilidad de los humedales urbanos, a fin de resguardar sus características ecológicas y su funcionamiento, y de mantener el régimen hidrológico, tanto superficial como subterráneo.

Las municipalidades del país, deberán establecer en una Ordenanza General, los criterios para la protección, conservación y preservación de los humedales urbanos ubicados dentro de los límites de su comuna, utilizando los lineamientos del referido reglamento.[4].

2.1.3. Convención Ramsar

Como ya se ha mencionado, es un tratado intergubernamental, adoptado en 1971 en Irán (vigente desde 1975), que se aboca al uso racional y conservación de los humedales. Los países que se suscriben (actualmente alrededor de 150), pueden adherir aquellos humedales que cumplan con una serie de requisitos impuestos por la convención, recibiendo por parte de ésta apoyo técnico y económico para el conocimiento y preservación de los sitios Ramsar.[21].

2.1.4 Plan regulador

El Plan Regulador Metropolitano de Concepción (PRMC) considera 10 comunas; entre ellas Talcahuano, Concepción, Penco y Hualpén. La herramienta se encuentra vigente desde el año 2003 y ha sido objeto de 10 modificaciones. Actualmente está en proceso de sufrir su décimo primera (11°) modificación.[22]

El plan regulador comuna Concepción: Decreto Alc. N°148. Fecha promulgación 05.06.2004. Fecha publicación D.O. 22.04.2004.

El Plan Regulador de Concepción, definió a la superficie del Humedal Paicaví principalmente como una zona habitacional de expansión urbana HE3 de 14 ha, el cual comienza a intensificar su ocupación a partir del año 2015 y cuyas construcciones hoy ya se encuentran consolidadas con el condominio Valle Aníbal Pinto, las casas del Valle Aníbal Pinto y edificios de 5 pisos. Solo se planificaron 4,2 ha de áreas verdes y 7,13 ha de protección del curso de agua.

El rápido avance en la otorgación de permisos de edificación y densificación de la zona HE3, motivó un fuerte movimiento social a favor del Humedal Paicaví el cual se encuentra documentado en medios de prensa local con una fuerte participación de integrantes del Comité de Defensa del Humedal Paicaví, ante lo cual el municipio suspendió la otorgación

de permisos de edificación en 2019 hasta la modificación del Plan Regulador de Concepción.

Finalmente en Agosto de 2020 entró en vigencia la modificación número 14 del Plan Regulador de Concepción que permite planificar una porción del Humedal Paicaví como parque interlagunas de la ciudad, un espacio público abierto a la comunidad, considerando que es parte de un Sitio Prioritario, pudiéndose cambiar la zonificación según establece el artículo 2.1.18 de la OGUC, cambiando principalmente la Zona de Expansión Habitacional HE3 y la Zona de Corredor Urbano (CU1) [1]

2.1.5 Ley 19.300

“La ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, establece las líneas generales en materia ambiental, considerando los componentes aire, agua y suelo, bajo “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental.”[23]

2.1.6 SNAPSE

Corresponde al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las que pueden ser estatales (SNASPE) o privadas.”(Ley19300.1994) Humedales tipo lagos, pantanos se consideran y están adheridos a la protección de estas áreas.[24]

2.1.7 ODS

El 25 de septiembre de 2015 la Asamblea General de Naciones Unidas aprobó, por unanimidad, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: un plan de acción en favor de las personas, el planeta, la prosperidad y la paz universal. Cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas concretas a desarrollar con horizonte 2030. [6]

- ODS 11 : Ciudades y comunidades sostenibles: La expansión de las ciudades ha permitido un rápido progreso social y económico, alrededor del 60% del PIB se produce en las ciudades. No obstante, también trae consigo una serie de problemas incipientes que necesitan de inversión, como una adecuada gestión del suministro de los recursos naturales y del tratamiento de los residuos generados, cada vez más en aumento. Las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más

del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero, a pesar de abarcar menos del 2% de la superficie de la Tierra.[6]

Otros problemas derivan de la urbanización y el crecimiento de la población, que supera el ritmo de construcción de viviendas adecuadas y asequibles, lo que provoca el aumento de barrios marginales y asentamientos improvisados.[6]

- ODS 14: Vida submarina Consiste en : Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. [6]
- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres: “Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica” [6]

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

3. Ubicación y características del humedal Paicaví

3.1 La localización

Región del Biobío

La región del Biobío cuenta con una superficie de 23.890,2 km² y una población de 1.557.414 habitantes. Administrativamente está compuesta por 3 provincias (Arauco, Biobío, Concepción), las que están divididas en 33 comunas. La capital de esta región es la ciudad de Concepción y es donde se ubica el Humedal paicaví- tucapel bajo.

Este humedal es parte del sistema de humedales Rocuant-Andalién, Vasco da gama, tucapel bajo. [12]

3.2 Red hidrográfica

Cuenca del Río andalién

El río Andalién es el río de mayor importancia en el interfluvio Itata-Bio-bío. Tiene su desembocadura al norte de la del río Biobío, pero en otra rada. Al norte del Andalién se desarrollan pequeñas hoyas de los ríos Rafael y Lirquén, con 282 km² y 20 km².

El Río Andalién nace de la unión de los esteros Poñén, que viene de la línea de displuvio del norte y Curapalihue, que viene del Sur. Esta cuenca cubre 780 km² y su curso 36 km de longitud. Describe innumerables vueltas entre las cerrilladas de la cordillera costera, la última de las cuales es un arco abierto al sur que bordea la ciudad de Concepción, donde en plena llanura aluvial suele dividirse en dos o más brazos antes de vaciarse en un gran ensanchamiento de la costa sur de la bahía de Concepción. [25]

3.3 Geología : Según SERNAGEOMIN (2003) en el humedal paicaví- tucapel bajo se identificaron estas unidades geológicas, fundamentalmente de origen sedimentario, las cuales corresponden a :

- A) Secuencias sedimentarias del Eoceno(E1c): Secuencias sedimentarias continentales parálicas de periodo Paleógeno de la era Cenozoica, de la época del Eoceno. Se caracteriza principalmente por estar compuestas de areniscas, lutitas y mantos de carbón.[14]
- B) Rocas intrusivas del Carbonífero-Pérmico(CPg): Son rocas plutónicas como granitos, granodioritas, tonalitas, y dioritas de hornblenda y biotita, formadas por el enfriamiento del magma bajo tierra durante este periodo geológico. [15]

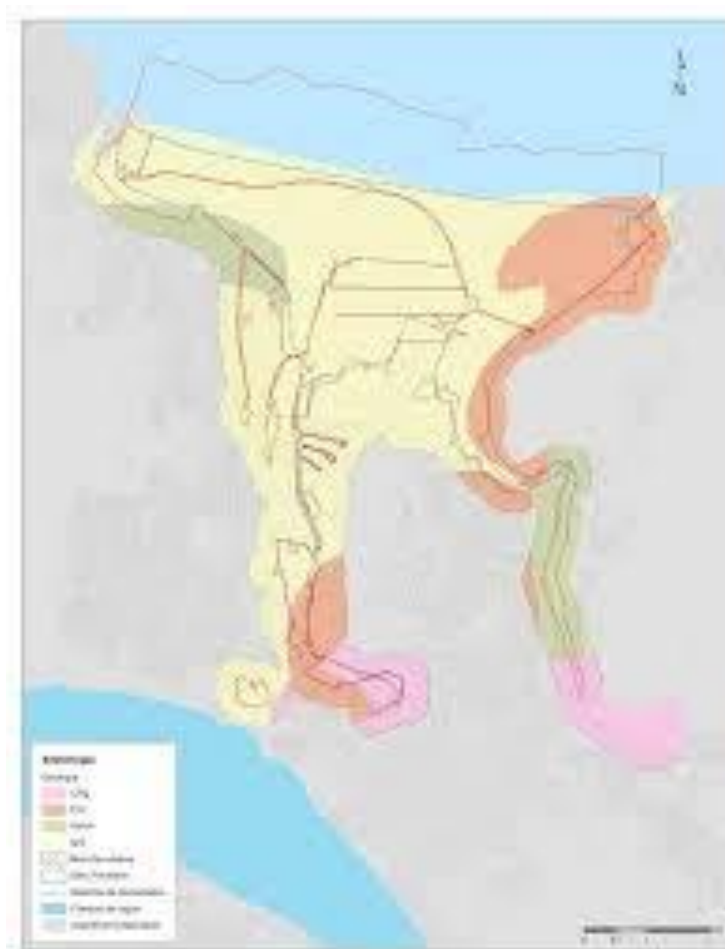


Figura 3-1. Unidades geológicas del Sistema Humedal Rocuant-Andalién, Vasco Da Gama, Paicaví, Tucapel bajo. Fuente. UrbanCost(2021) adaptada de SERNAGEOMIN (2003)

3.4 Clima

Este humedal continental tipo palustre posee un clima tipo mediterráneo templado con influencia oceánica(Csb), con veranos secos e inviernos húmedos. Las temperaturas y precipitaciones presentan un comportamiento estacional marcado; las temperaturas medias invernales rondan los 10°C, mientras que en época estival varían entre 16-20°C. Por su parte las precipitaciones tienen un comportamiento similar, donde la lluvia se concentra en invierno durante los meses de mayo-agosto con umbrales que pueden sobrepasar los 300mm mensuales, fuera de la época de invierno se presentan máximos secundarios en otoño y primavera, variables entre 60-180mm mensuales mientras que en verano las lluvias son episodios esporádicos [13].

3.5 .Biodiversidad presente — (Información de fuentes oficiales y observaciones propias).

3.5.1 Fauna

Principales especies que es posible encontrar en el humedal:

A) Aves:

Item	Nombre científico	Nombre común	Preocupación	Presencia registrada en terreno
1	<i>Fulica armillata</i>	Tagua	Sin preocupación	Sí
2	<i>Fulica leucoptera</i>	Tagua chica	Sin preocupación	Sí
3	<i>Fulica rufifrons</i>	Tagua de frente roja	Sin preocupación	Sí
4	<i>Laterallus jamaicensis</i>	Pidencito	Especie amenazada	No
5	<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	Pidén	Sin preocupación	Sí
6	<i>Sephanoides sephanoides</i>	Picaflor chico	Sin preocupación	No
7	<i>Eleanus leucurus</i>	Bailarín	Sin preocupación	Sí
8	<i>Ixobrychus involucris</i>	Huairavillo	Preocupación menor	Sí
9	<i>Falco</i>	Halcón	Preocupación	No

	<i>peregrinus</i>	peregrino	menor	
10	<i>Milvago chimango</i>	Tiuque	Sin preocupación	Sí
11	<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota dominicana	Sin preocupación	Sí
12	<i>Cathartes aura</i>	Jote de cabeza colorada	Sin preocupación	Sí
13	<i>Coragyps atratus</i>	Jote de cabeza negra	Sin preocupación	Sí
14	<i>Podilymbus podiceps</i>	Picurio	Sin preocupación	No
15	<i>Tachuris rubrigastra</i>	Siete colores	Sin preocupación	Sí
16	<i>Anairetes parulus</i>	Cachudito	Sin preocupación	Sí
17	<i>Xolmis pyrope</i>	Diucón	Sin preocupación	Sí
18	<i>Hymenops perspicillatus</i>	Runrun	Sin preocupación	No
19	<i>Agelasticus patagonicus</i>	Trile	Sin preocupación	Sí
20	<i>Sturnella loyca</i>	Loica	Sin preocupación	Sí
21	<i>Molothrus bonariensis</i>	Mirlo	Preocupación menor	Sí

22	<i>Curaeus curaeus</i>	Tordo	Sin preocupación	Sí
23	<i>Aphrastura spinicauda</i>	Rayadito	Sin preocupación	Sí
24	<i>Cinclodes patagonicus</i>	Churrete	Sin preocupación	Sí
25	<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral	Sin preocupación	No
26	<i>Phleocryptes melanops</i>	Trabajador	Sin preocupación	Sí
27	<i>Phytotoma rara</i>	Rara	Sin preocupación	Sí
28	<i>Notiochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de torso negro	Sin preocupación	Sí
29	<i>Turdus falcklandii</i>	Zorzal	Sin preocupación	Sí
30	<i>Diuca diuca</i>	Diuca	Sin preocupación	Sí
31	<i>Sicalis luteola</i>	Chirihue	Sin preocupación	Sí
32	<i>Cistothorus platensis</i>	Chercán de las vegas	Sin preocupación	No
33	<i>Zenaida auriculata</i>	Tortola	Sin preocupación	No
34	<i>Columbina picui</i>	Tortolita cuyana	Sin preocupación	Sí

35	<i>Tyto alba</i>	Lechuza de campanario	Sin preocupación	No
36	<i>Anasflavirostris</i>	Pato jergón chico	Sin preocupación	Sí
37	<i>Anas georgica</i>	Pato jergón Grande	Sin preocupación	Sí
38	<i>Anas sibilatrix</i>	Pato real	Sin preocupación	Sí
39	<i>Anas platalea</i>	Pato cuchara	Preocupación mayor	No
40	<i>Anas cyanoptera</i>	Pato colorado	Sin preocupación	No
41	<i>Cygnus melancoruphus</i>	Cisne de cuello negro	Preocupación mayor	No
42	<i>Gallinula melanops</i>	TagÜita	Sin preocupación	Sí
43	<i>Vanellus chilensis</i>	Queltehue	Sin preocupación	Sí
44	<i>Circus cinereus</i>	Vari	Sin preocupación	No
45	<i>Rollandia rolland</i>	Pimpollo	Sin preocupación	No
46	<i>Eleania albiceps</i>	Fiofio	Sin preocupación	Sí
47	<i>Zonotrichia capensis</i>	Chincol	Sin preocupación	Sí
48	<i>Troglodytes</i>	Chercán	Sin	Sí

	<i>aedon</i>		preocupación	
49	<i>Mimus thenca</i>	Tenca	Sin preocupación	Sí
50	<i>Glaucidium nana</i>	Chuncho	Sin preocupación	No
51	<i>Tachycineta</i>	Golondrina chilena	Sin preocupación	Sí
52	<i>Veniliornis lignarius</i>	Carpinterito	Sin preocupación	No
53	<i>Spinus barbatus</i>	Jilguero	Sin preocupación	Sí
54	<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico	Sin preocupación	Sí
55	<i>Plegadis chihi</i>	Cuervo de pantano	Sin preocupación	No
56	<i>Nnannopterum brasilianus</i>	Yeco	Sin preocupación	No
57	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	Sin preocupación	No

Tabla 1-1. Especies de Aves. Fuente: Sistemas de humedales del gobierno.

b)Anfibios: Ranita antifaz(*Batrachyla taeniata*)

c)Reptil: Lagarto chileno (*Liolaemus chiliensis*)

d)Roedor: Coipo(*Myocastor coypus*)

e)Insectos:

-Libelula roja (*Sympetrum striolatum*)

-Matapiojo azul(*Rhionaeschna diffinis*).

3.5.2 Flora

El humedal Paicaví - Tucapel Bajo presenta una vegetación hidrófita de gran extensión dominada principalmente por junquillos (*Juncus procerus*, *Juncus bufonius* y *Juncus planifolius*) y totoras (*Scirpus californicus*) acompañados de cortaderas (*Cyperus eragrotis*) y llantén de agua (*Alisma plantago-aquatica*), la última especie siendo un indicador de territorios inundados temporalmente.

La riqueza biológica del área tiene su máximo desarrollo en las zonas permanentemente inundadas, y a medida que se aleja de las aguas el número de especies hidrófilas y la densidad de sus poblaciones decrece, sin embargo, muchas de ellas, como juncos, totoras y cortaderas reaparecen en las zonas donde los rellenos depositados en el humedal están degradados y por tanto el humedal se está restaurando de manera natural. La vegetación hidrófita del humedal, además de actuar como refugio y fuente de alimento para numerosas especies, facilita la filtración y adsorción de los constituyentes del agua residual, permitiendo la transferencia de oxígeno al agua y limita.

Las totoras son macrófitas fitodepuradoras que se adaptan a las condiciones de humedad y sirve para mejorar los procesos de separación de partículas, asimilación de nutrientes y metales, purifica el agua mediante procesos aeróbicos de degradación y transporta grandes cantidades de oxígeno hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dicho microorganismo.[26]

Tabla elaborada en visita a terreno sobre la flora del humedal paicaví:

item	Nombre cientifico	Nombre común	Imagen
1	<i>Allium vineale</i>	Ajo silvestre	
2	<i>Galega officinalis</i>	Galega	

3	<i>Lotus corniculatus</i>	Cuernecillo	
4	<i>Verbena litoralis</i>	Verbena	
5	<i>Lupinus arboreus</i>	Chocho	

	<i>Fuchsia magellanuca</i>	Chilco	
	<i>Silybum marianum</i>	Cardo mariano	

Tabla 1-2. Especies florales. Fuente: Elaboración propia.

En términos de vegetación, si bien existen especies exóticas se destacan nativas como la *Sarcocornia fruticosa* (Sosa de mar) y *Spartina densiflora* (Llinto) en la marisma y vegetación ripariana y estuarina (ej. Bahía ambrosioides, *Gracilaria chilensis*, *Juncus capitatus*, *Juncus procerus*, *Polygonum persicaria*) .

Capítulo 3: Análisis espacial y temporal del humedal Paicaví

4.1. Metodología del análisis satelital

El análisis satelital se desarrolla mediante un enfoque multitemporal, con el fin de identificar y analizar los cambios espaciales y temporales asociados al proceso de urbanización.

Para llevar a cabo este análisis se realizaron los siguientes pasos:

1. Delimitación del área de estudio: Se define un polígono del humedal paicaví y su área de influencia basándose en la cartografía oficial de este y tomando como referencia las áreas verdes presentadas en la capa de OpenStreetMap de QGIS.
2. Selección de imágenes satelitales: Se seleccionan imágenes satelitales representativas entre 2013 y la actualidad en los meses de abril, mayo , junio y octubre, noviembre y diciembre, con una cobertura de nubes de un 20% y una resolución espacial adecuada para el análisis del humedal.
3. Aplicación de índices de teledetección: Se aplica índices de teledetección con el objetivo de evaluar los cambios en la cobertura vegetal, la presencia de cuerpos de agua y construcción dentro y fuera del humedal .
4. Análisis multitemporal: Se realiza un análisis comparativo entre las imágenes de distintos años para detectar la pérdida o modificación de cobertura vegetal y agua., y el cambio de uso de suelo del humedal.

4.2. Selección de imágenes y periodo (2013–2025).

Para el desarrollo del análisis multitemporal se utilizaron imágenes provenientes del satélite Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2 Level 2. Este satélite es utilizado a nivel global para monitoreos ambientales por su continuidad temporal, calidad radiométrica y adecuada resolución espacial para estudios ambientales ya que posee una resolución espacial de 30 metros en sus bandas multispectrales y captura estas imágenes cada 16 días lo que permite realizar comparaciones temporales consistentes.

Las imágenes fueron seleccionadas considerando un máximo de 20% de cobertura nubosa, con el fin de asegurar la calidad de los datos y minimizar las interferencias en el análisis de las imágenes. Así mismo, se seleccionaron imágenes de los meses abril, mayo, junio y octubre, noviembre y diciembre representativas de transiciones estacionales otoño-invierno y primavera-verano. Los periodos de transición permiten observar cómo responde el humedal a cambios climáticos naturales sin estar en los extremos (sequía o inundación máxima). Al analizar solo Verano se podría confundir la sequía estacional con pérdida del humedal y al escoger Invierno podría sobreestimar la cantidad de agua que posee el humedal.

Imágenes satelitales :

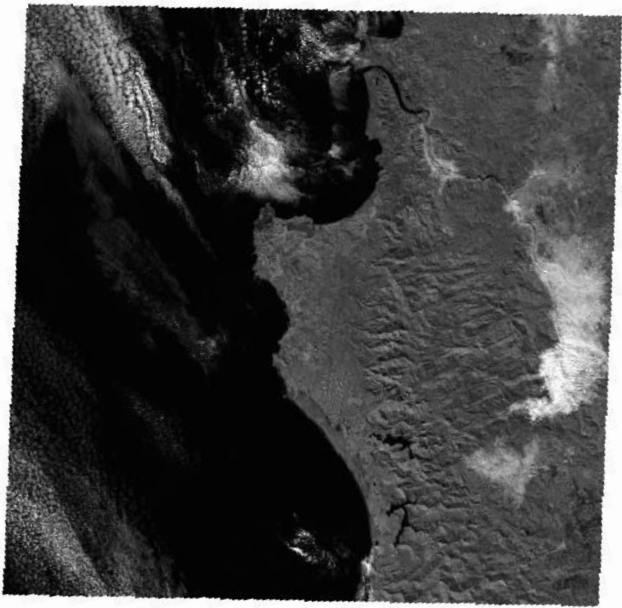


Figura 4-1 . Imagen satelital banda b4-b5, (24/05/2014). Fuente: Usgs EarthExplorer

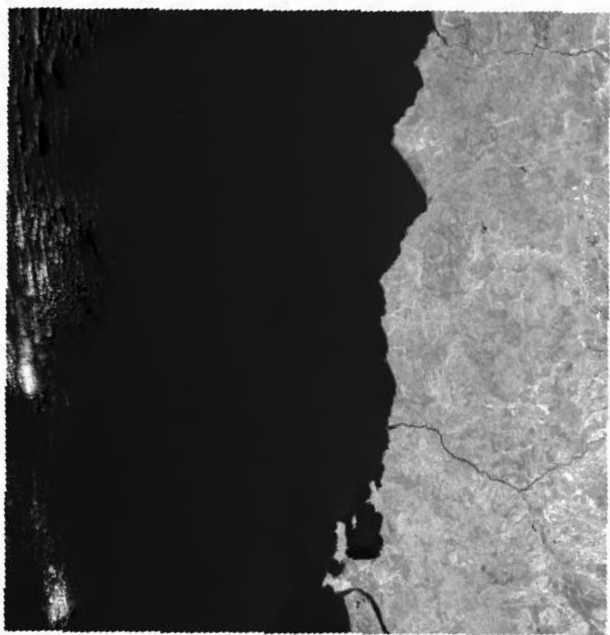


Figura 4-2. Imagen satelital banda b4- b5 (18/12/2014). Fuente: Usgs EarthExplorer



Figura 4-3. Imagen satelital banda b5-b6(22/04/2014). Fuente: Usgs EarthExplorer

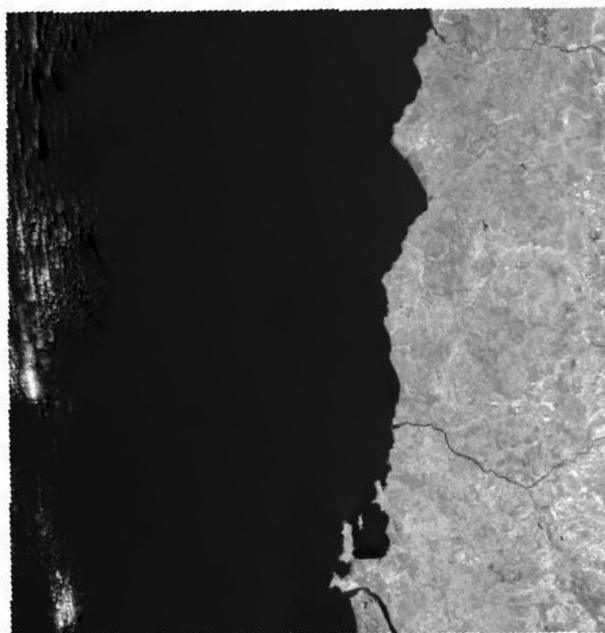


Figura 4-4. Imagen satelital b5-b6 (18/12/2014). Fuente: Usgs EarthExplorer

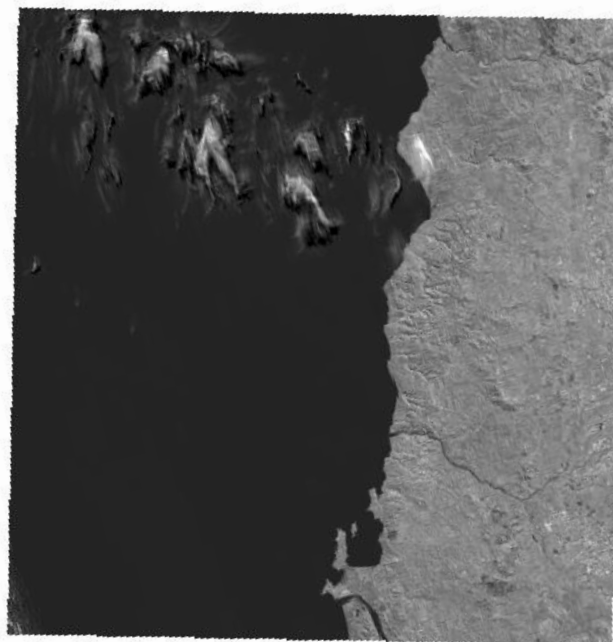


Figura 4-5. Imagen satelital b5-b3 (22/04/2014). Fuente: Usgs EarthExplorer



Figura 4-6. Imagen satelital b5-b3 (18/12/2014). Fuente: Usgs EarthExplorer

5.3. Aplicación de índices NDVI y NDWI.

Índice	Abreviación	Fórmula	Propósito	Bandas Landsat
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	NDVI	$(\text{NIR}-\text{Red})/(\text{NIR}+\text{Red})$	Vegetación	5 y 4 (Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2)
Índice Diferencial Normalizado de Agua	NDWI	$(\text{Green}-\text{NIR})/(\text{Green}+\text{NIR})$	Agua	3 y 5 (Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2)
Índice Normalizado de Diferencia de Edificación	NDBI	$(\text{SWIR}-\text{NIR})/(\text{SWIR}+\text{NIR})$	Urbanización	6 y 5 (Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2)

Tabla 2-1. Índices de teledetección. Fuente: Elaboración propia

Imágenes procesada en QGIS:



Figura 4-7. Polígono delimitado del humedal. Fuente: Elaboración propia, QGIS



Figura 4-8. Zona buffer delimitada. Fuente: QGIS

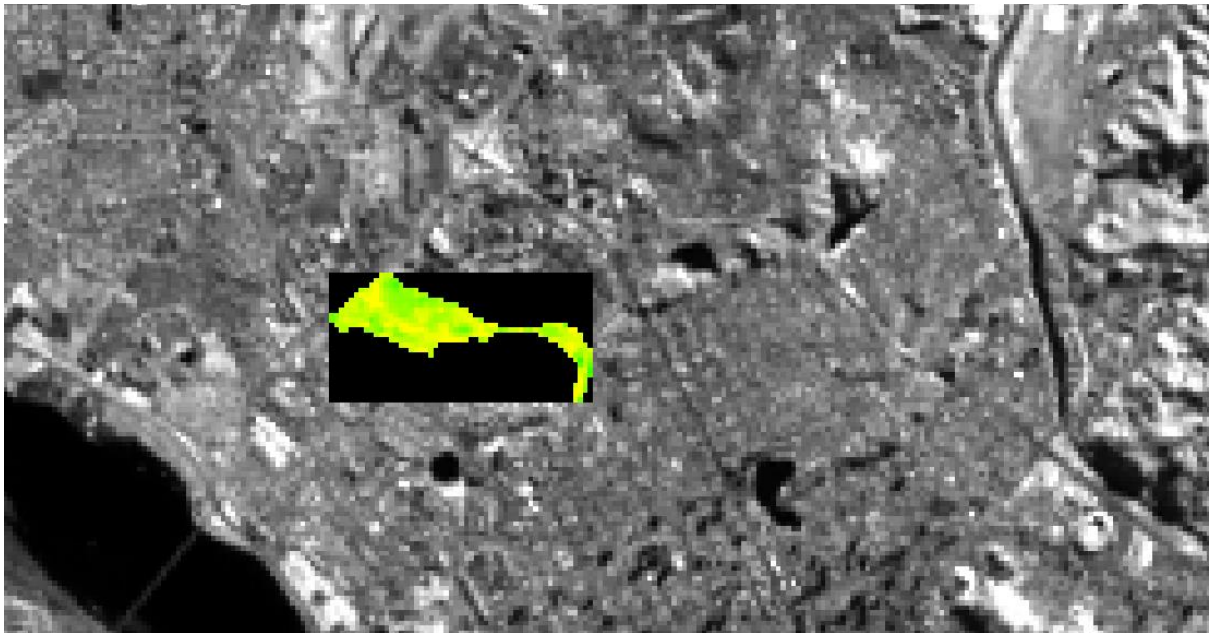


Figura 4-9. Imagen de NDWI calculado. Fuente: QGIS

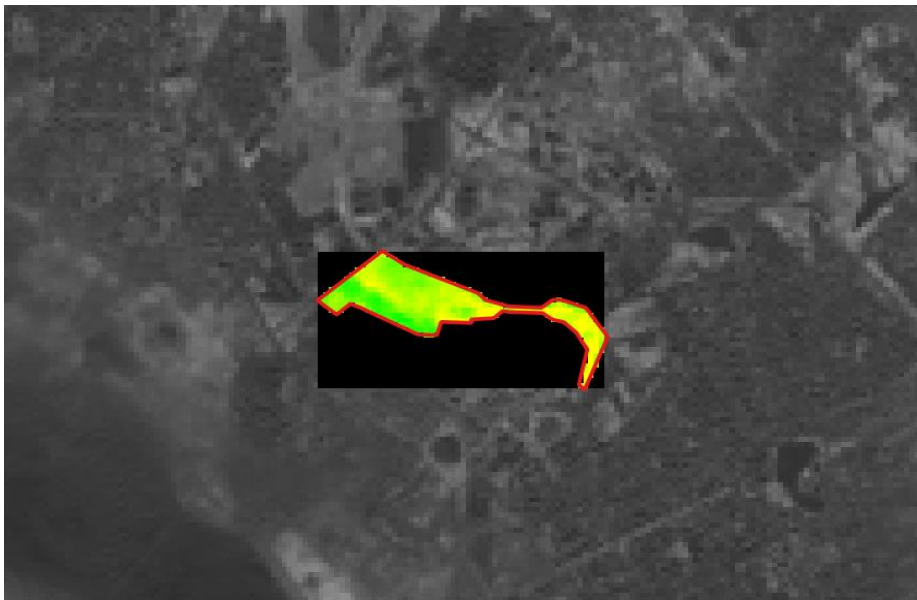


Figura 4-10. Imagen NDVI calculado. Fuente: Elaboración propia, QGIS

Procesamiento zona buffer

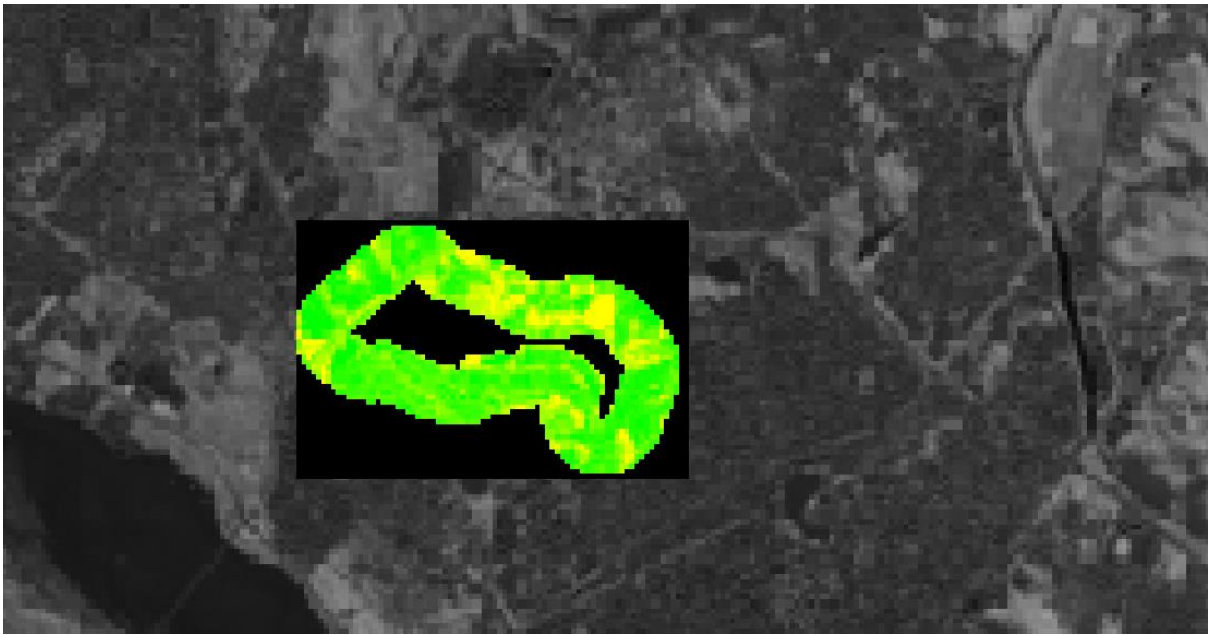


Figura 4-11. Imagen calculo zona buffer NDVI. Fuente: Elaboración propia, QGIS

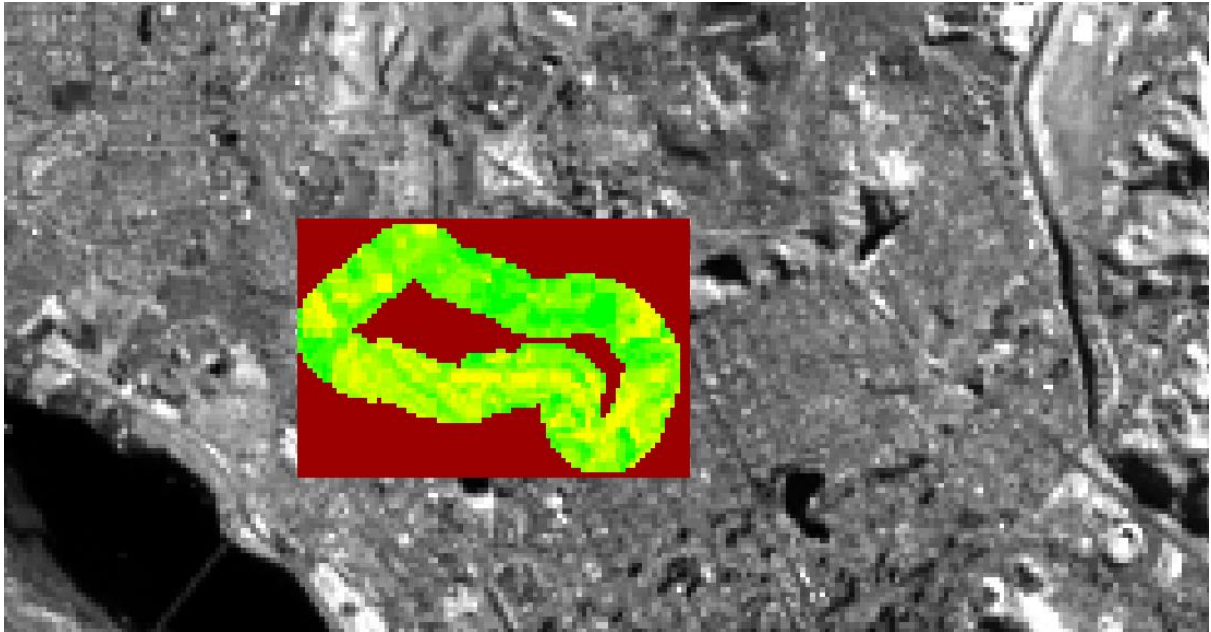


Figura 4-12. Imagen calculo ndwi zona buffer. Fuente: QGIS

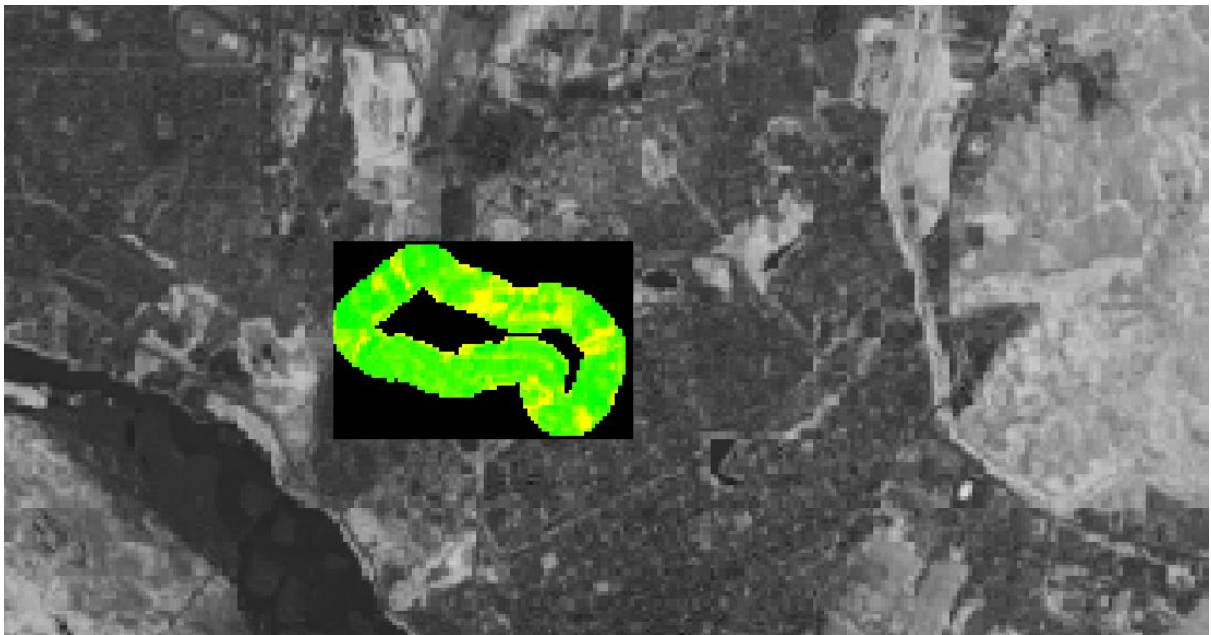


Figura 4-13. Imagen calculo NDBI zona buffer. Fuente: QGIS

4.4.Resultados del análisis multitemporal.

Año	NVDI 1°S	NDVI 2°S
2013	0.058	0.075
2014	0.064	0.071
2015	0.054	0.076
2016	0.029	0.068
2017	0.056	0.065
2018	0.061	0.075
2019	0.051	0.073
2020	0.063	0.070
2021	0.055	0.060
2022	0.059	0.086
2023	0.055	0.078
2024	0.053	0.080
2025	0,059	0,082

Tabla 3-1. Resultado NDVI Polígono. Fuente: Elaboración propia

Los valores del NDVI tienen un rango de -1,0 a 1,0.

- De -1 a -0,1: Los valores del NDVI negativos suelen indicar superficies sin vegetación, como agua libre, nieve o nubosidad espesa
- De 0 a 0,1 : Son típicos de suelos desnudos, zonas rocosas o desiertos, es decir, tierras con escasa o nula actividad.
- De 0,2 a 0,5 : Sugieren una vegetación escasa o con estrés. Los pastizales, arbustos, praderas y campos en sequía o entrando en letargo suelen estar en este rango.
- De 0,6 a 1: Indican una vegetación exuberante y sana, como densas cubiertas vegetales o bosques maduros.[9]

Año	NDWI (ABRIL- JUNIO)PRO MEDIO	NDWI OCTUBR E- DICIEMB RE PROM
2013	-0.059	-0.076
2014	-0.064	-0.074
2015	-0.053	-0.076
2016	-0.028	-0.071
2017	-0.059	-0.067
2018	-0.062	-0.076
2019	-0.053	-0.075
2020	-0.064	-0.073
2021	-0.056	-0.063
2022	-0.058	-0.085
2023	-0.055	-0.078
2024	-0.054	-0.080

2025	-0,060	-0,080
------	--------	--------

Tabla 3-2. Resultado NDWI polígono. Fuente: Elaboración propia.

Los valores del NDWI corresponden a los siguientes rangos:

- 0,2 a 1: Superficie del agua
- 0,0 a 0,2: Inundación, humedad
- -0,3 a 0,0 : Sequía moderada, superficies sin agua
- -1 a -0,3: Sequía, superficies sin agua [9]

Índice de teledetección para zona buffer

Resultado de la aplicación de índices de teledetección de zona buffer de 350 metros:

Año	NDBI 1°S	NDBI 2°S
2013	-0.002	-0.025
2014	-0.002	-0.012
2015	-0.003	-0.021
2016	-0.008	-0.008
2017	-0.008	-0.015
2018	-0.011	-0.021
2019	-0.009	-0.010
2020	0.002	-0.008
2021	-0.006	-0.006
2022	-0.001	-0.004
2023	-0.013	-0.016

2024	-0.012	-0.000
2025	-0,012	-0,011

Tabla 3-3. Resultados NDBI zona buffer.

Los valores del NDBI oscilan entre -1 y +1, donde los valores negativos representan áreas sin edificaciones y los valores positivos, áreas con alta densidad de edificaciones.[10]

Año	NDWI 1°S	NDWI 2°S
2013	0.068	-0.095
2014	-0.071	-0.084
2015	-0.063	-0.092
2016	-0.043	-0.081
2017	-0.073	-0.084
2018	-0.074	-0.091
2019	-0.063	-0.080
2020	-0.066	-0.080
2021	-0.066	-0.077
2022	-0.059	-0.076
2023	-0.064	-0.083
2024	-0.065	-0.078
2025	-0,066	-0,081

Tabla 3-4. Resultado para NDWI zona buffer

Año	NDVI 1°S	NDVI 2°S
2013	0.062	0.090
2014	0.064	0.073
2015	0.060	0.085
2016	0.044	0.071
2017	0.068	0.075
2018	0.069	0.085
2019	0.060	0.071
2020	0.058	0.069
2021	0.063	0.066
2022	0.055	0.066
2023	0.062	0.077
2024	0.062	0.068
2025	0,063	0,073

Tabla 3-5 . Resultados para NDVI zona buffer.

4.5.Interpretación ambiental de los resultados.

1) Análisis resultado polígono del humedal:

Los valores del NDVI tienen un rango de -1,0 a 1,0.

- De -1 a -0,1: Los valores del NDVI negativos suelen indicar superficies sin vegetación, como agua libre, nieve o nubosidad espesa
- De 0 a 0,1 : Son típicos de suelos desnudos, zonas rocosas o desiertos, es decir, tierras con escasa o nula actividad.

- De 0,2 a 0,5 : Sugieren una vegetación escasa o con estrés. Los pastizales, arbustos, praderas y campos en sequía o entrando en letargo suelen estar en este rango.
- De 0,6 a 1: Indican una vegetación exuberante y sana, como densas cubiertas vegetales o bosques maduros.

Gráficos a partir de resultados de los resultados:

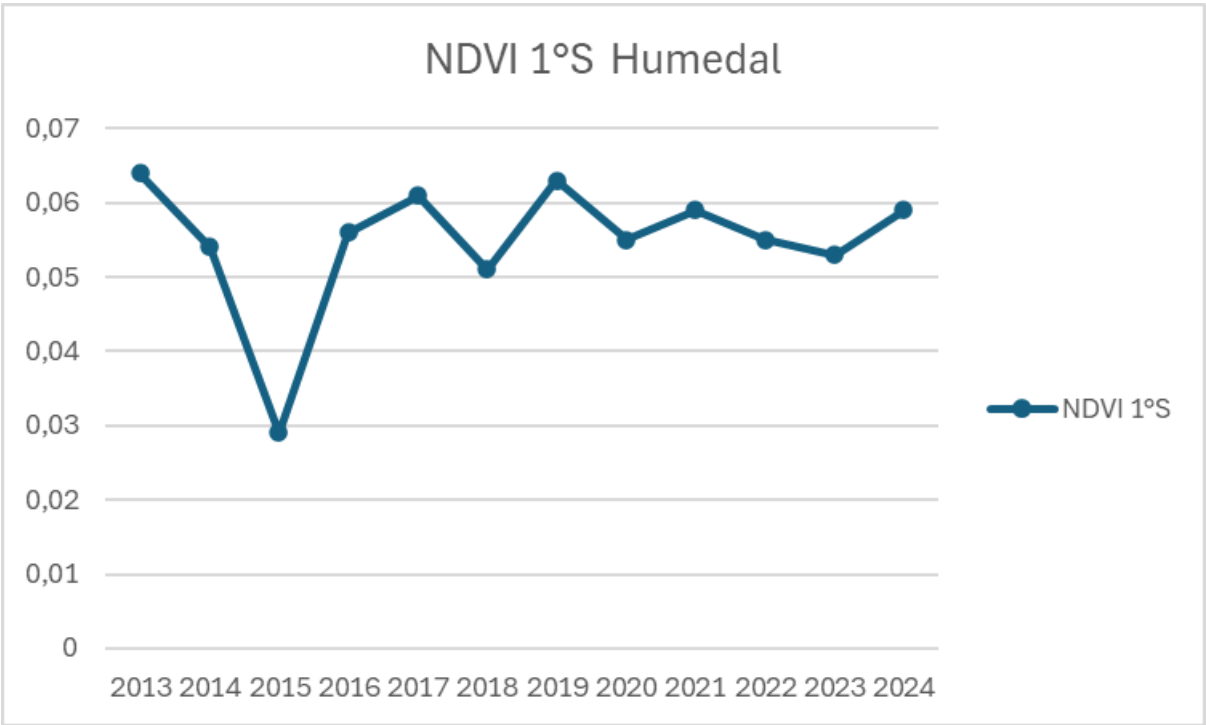


Gráfico 1-1. NDVI 1 °S polígono. Fuente Elaboración propia.

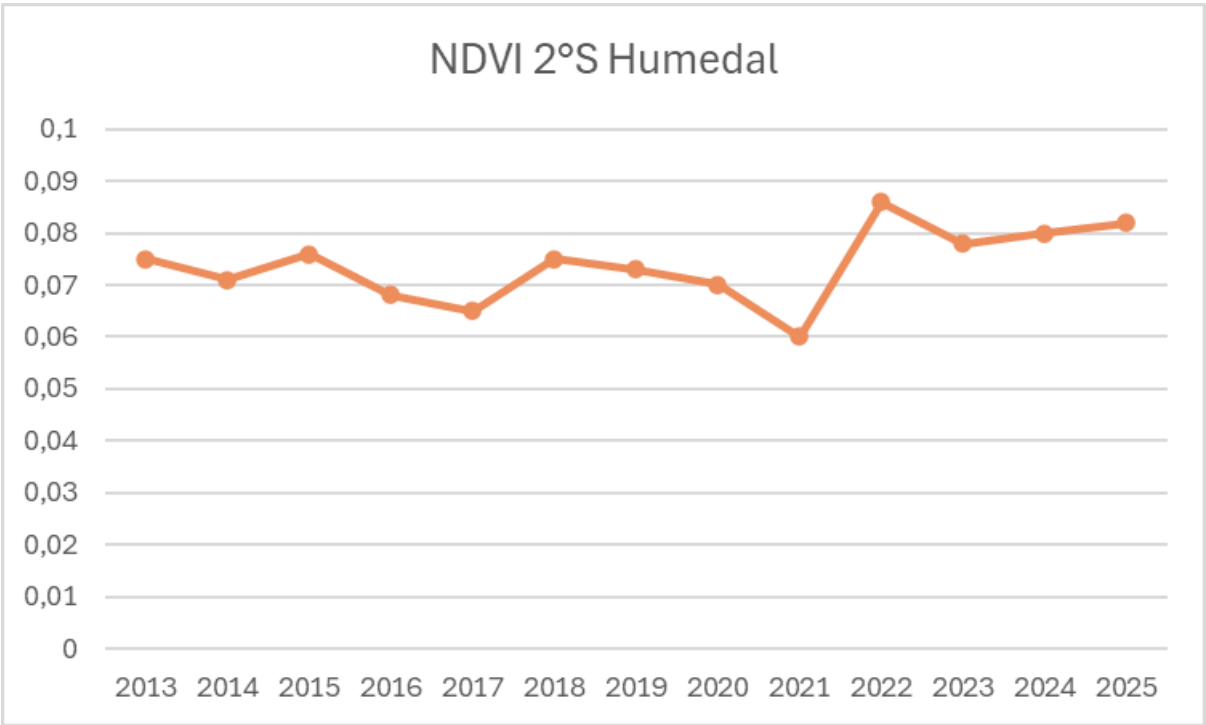


Gráfico 1-2. NDVI 2°s polígono. Fuente: Elaboración propia.

Los rangos para el primer semestre están en 0,029 - 0,064, los valores son bajos y estarían dentro del rango 0 - 0,1 lo que indica que hay cobertura vegetal escasa o superficies mixtas agua-vegetación, por lo tanto:

- No indica que existe vegetación sana ni densa
- No hay degradación
- Indica consistencia con el humedal ya que hay vegetación baja o emergente.
- Coinciden con un período de mayor precipitación y mayor saturación del suelo generado por una menor reflectancia en el infrarrojo cercano.

En el 2° S los valores son sistemáticamente mayor que en el 1°S lo que indica mayor desarrollo vegetacional estacional y condiciones climáticas más favorables. Aún así, no alcanza el umbral de vegetación escasa-moderada($\geq 0,2$).

En el año 2016 (1°S) se observa una disminución marcada del NDVI (0,029), lo que puede asociarse a:

- Condiciones climáticas adversas (Sequía, inundación prolongada)
- Disturbios puntuales en la cobertura vegetal.

NDWI:

Los valores del NDWI corresponden a los siguientes rangos:

- 0,2 a 1: Superficie del agua
- 0,0 a 0,2: Inundación, humedad
- -0,3 a 0,0 : Sequía moderada, superficies sin agua
- -1 a -0,3: Sequía, superficies sin agua

GRÁFICO NDWI POLÍGONO:

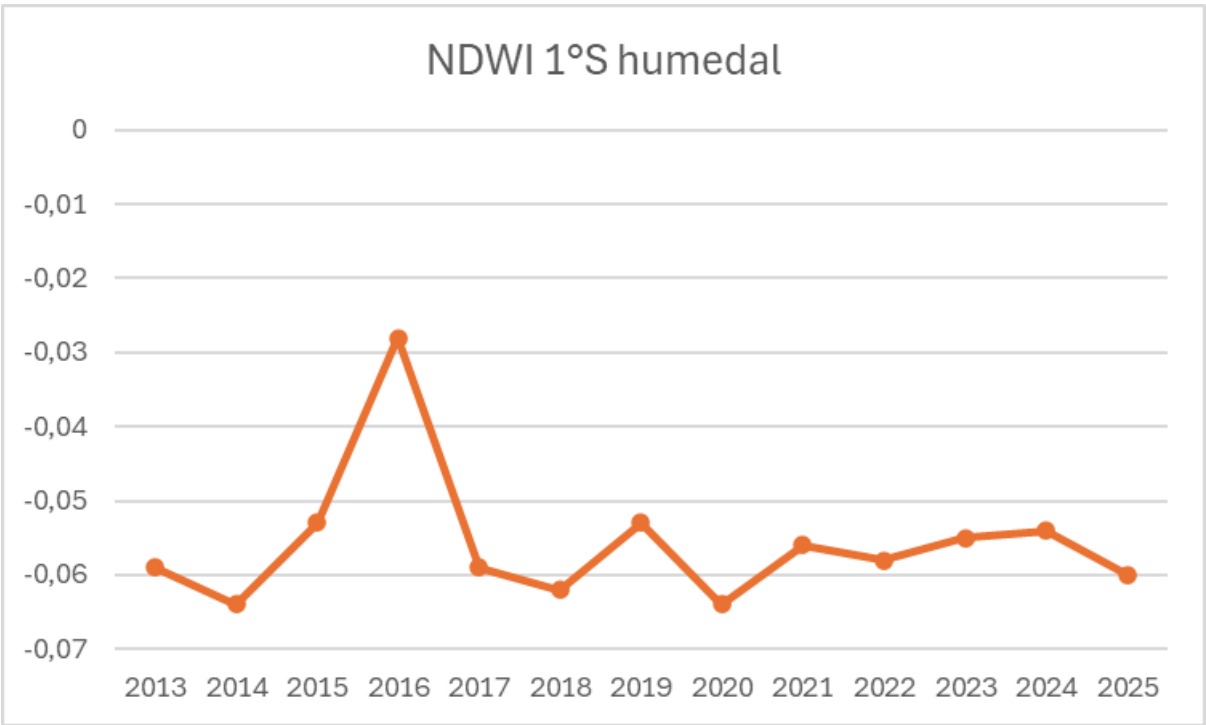


Gráfico 1-3. NDWI 1°S polígono. .Fuente: Elaboración propia

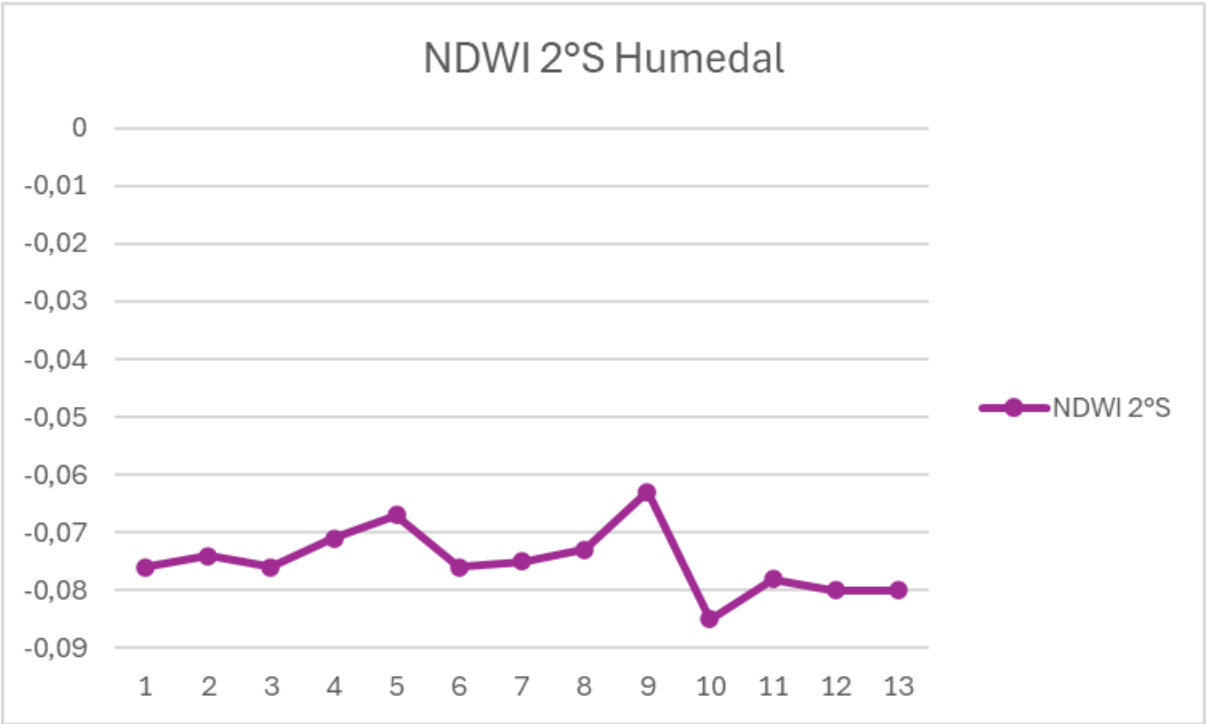


Gráfico 1-4. NDWI 2°S polígono. Fuente: Elaboración propia.

El NDWI del 1°S presenta valores negativos cercano a 0, -0,03 a -0,06, lo cual los resultados estarían dentro del rango -0,3 a 0,0 , lo que indica que el humedal no presenta una superficie de agua libre y extensa pero sí mantiene condiciones de humedad edáfica elevada.

En el 2°S los valores son más negativos que en el 1°S (-0,063 a -0,085), lo que refleja una disminución de la humedad superficial estacional, sin que ello implique un estado de sequía severa o pérdida funcional del humedal.

2) Análisis resultado zona buffer:

Los valores del NDBI oscilan entre -1 y +1, donde los valores negativos representan áreas sin edificaciones y los valores positivos, áreas con alta densidad de edificaciones.

-NDBI:

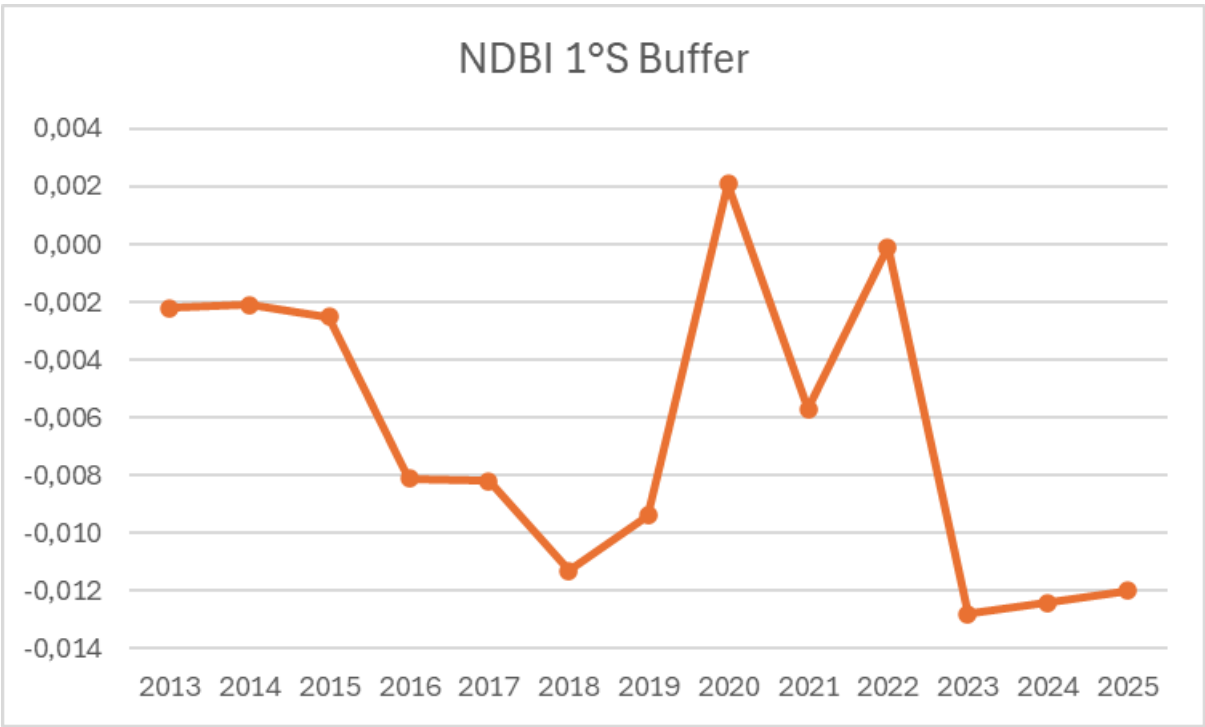


Gráfico 1-5. NDBI 1°S zona buffer.Fuente: Elaboración propia

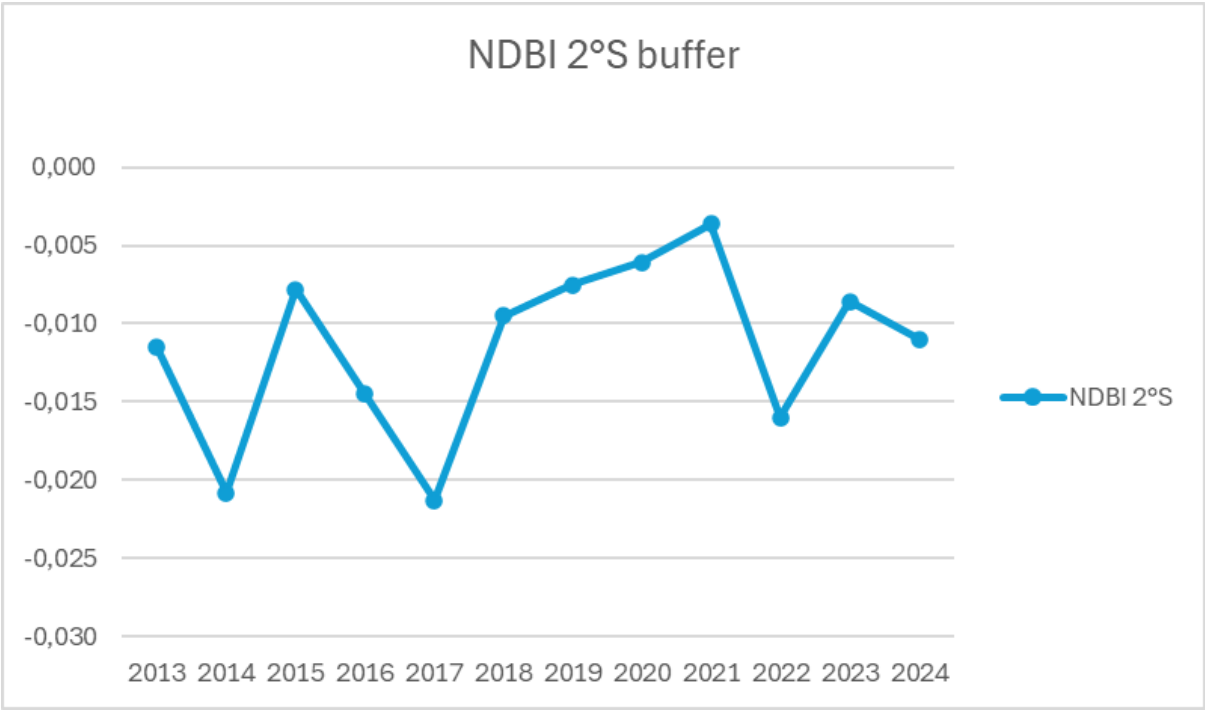


Gráfico 1- 6. NDBI 2°S zona buffer. Elaboración propia.

Los valores del 1°S se concentran principalmente en el rango negativo, con algunos valores cercano a 0. Esto indica:

- 1) Ausencia de áreas con alta densidad de edificaciones
- 2) Predominio de superficies no construidas, como :
 - Vegetación
 - Suelo desnudo
 - Infraestructura dispersa de baja densidad

En el 2°S todos los valores de NDBI son negativos, con rangos de -0,025 y -0,004. Esto confirma que:

- Hay ausencia de densidad edificada significativa
- Presión antrópica baja o constante.

El NDBI no mide “construcción” de forma directa, mide la diferencia espectral entre SWIR y NIR. Si la urbanización es dispersa el píxel de la imagen satelital no demuestra un resultado positivo ya que este solo lo hace cuando la urbanización(Alta reflectancia en SWIR y baja reflectancia del NIR) domina el píxel.

El rol de la humedad es fundamental ya que el agua y el suelo húmedo absorben SWIR lo que reduce artificialmente el NDBI, ya que a mayor influencia hídrica, más negativo es el NDBI.

-NDWI:

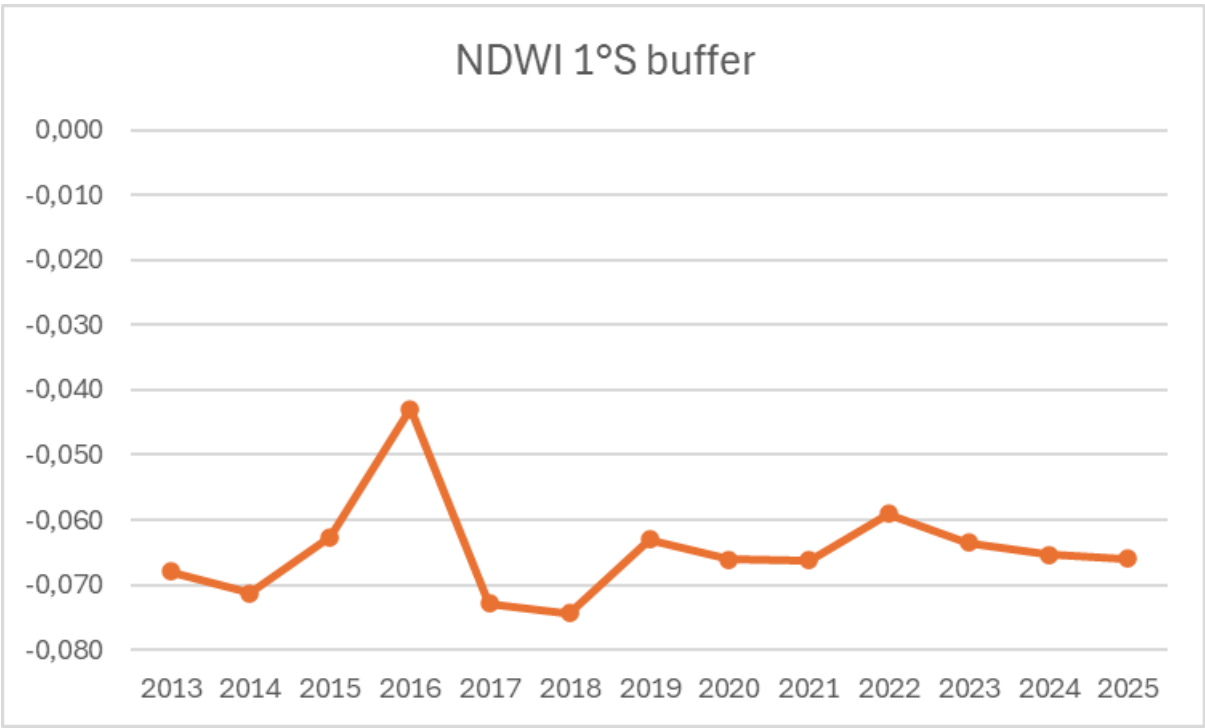


Gráfico1- 7. NDWI 1°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia.

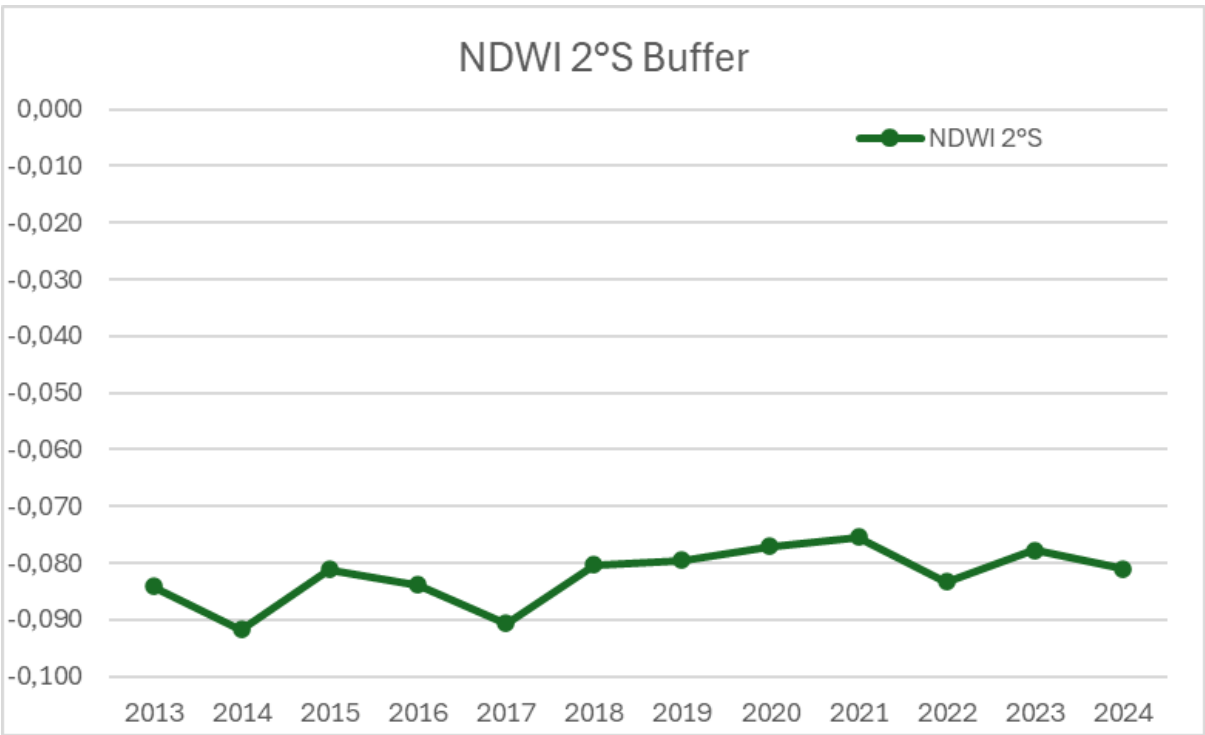


Gráfico 1-8. NDWI 2°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia

Los resultados del 1°S muestran que se ubican en el rango -0,3 a 0,0, lo que indica:

- Superficies sin agua libre
- Presencia de humedad edáfica limitada

Durante este periodo se puede interpretar que no se presentan condiciones de inundación, se mantiene predominantemente seco o con humedad superficial baja.

En el 2°S los valores se encuentran en el rango -0,3 a 0,0 (-0,076 a -0,095), valores más negativos que en el 1°S lo que refleja mayor sequedad superficial no alcanzando los rangos de sequía extrema. Se interpreta como una disminución estacional de la humedad, coherente con el régimen climático.

- NDVI:

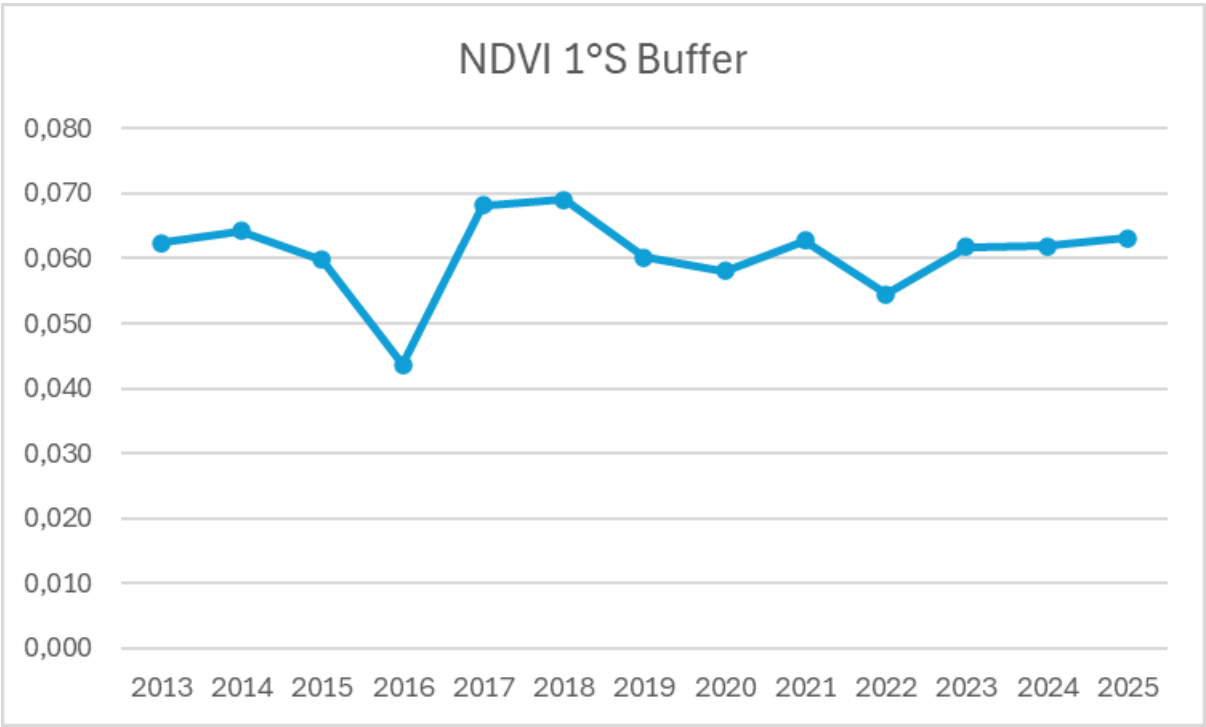


Gráfico 1-9. NDVI 1°S zona buffer. Fuente: Elaboración propia

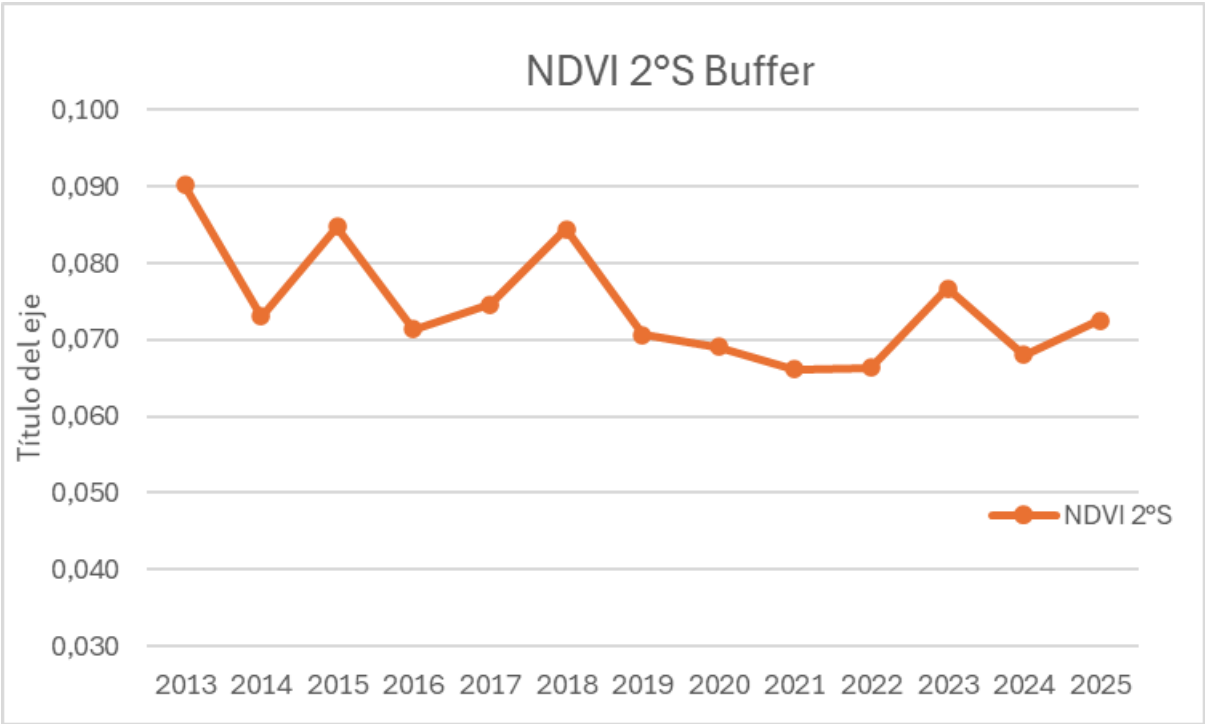


Gráfico 1-10 NDVI 2°S zona buffer. Fuente Elaboración propia.

Para el NDVI 1°S de la zona buffer se observan valores 0,044 a 0,069, ubicándose en el rango 0,0 - 0,1. Esto indica una vegetación escasa, predominio de suelo desnudo y superficies compactadas.

Se interpreta que durante este periodo de tiempo existe una cobertura vegetal muy limitada propia de áreas periurbanas con alta heterogeneidad de usos de suelo.

Para el 2°S se observan valores entre 0,066- 0,090, aumentando respecto al 1°S. Indica un incremento estacional vegetal y activación temporal de pastizales y áreas verdes urbanas. No alcanza un valor de vegetación escasa- moderada.

Capítulo 4: IDENTIFICACIÓN DE PRESIONES ANTRÓPICAS Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

5.1 Contexto urbano y territorial.

El humedal Paicaví se localiza en el área urbana de la ciudad de Concepción, uno de los principales centros urbanos del sur de Chile. El sostenido crecimiento urbano ha implicado una progresiva reducción de la superficie natural de los humedales, generando una presión constante sobre estos ecosistemas, que originalmente formaban parte del valle del río Biobío. En este contexto, Rojas et al. (2013c) señalan que entre los años 2000 y 2010 el 57 % del suelo del área de Concepción experimentó cambios en su uso, de los cuales un 47 % se asocia directamente a procesos de pérdida de biodiversidad.

Datos propios obtenidos a partir del análisis de imágenes satelitales GeoEye correspondientes al año 2019 evidencian que la urbanización en el área metropolitana de Concepción se ha incrementado de forma significativa en las últimas décadas, pasando de aproximadamente 11.000 hectáreas a más de 15.000 hectáreas construidas. Este crecimiento urbano se ha producido en desmedro directo de los humedales que conforman el sistema de estudio, observándose un marcado aumento de la urbanización en sectores como el entorno del Aeropuerto Carriel Sur y el área del casino Marina del Sol, dentro de la conurbación Talcahuano–Concepción.[1]

Este proceso de expansión urbana ha generado, además, que una parte importante de las nuevas áreas urbanizadas se encuentre expuesta a peligros naturales, tales como inundaciones y anegamientos, lo que refuerza la necesidad de conservar los humedales como infraestructura natural clave para aumentar la resiliencia territorial frente a eventos extremos cada vez más frecuentes. A ello se suma que una proporción significativa de las pérdidas recientes de ecosistemas, posteriores al año 2000, ha ocurrido durante la vigencia del Plan Regulador Metropolitano de Concepción (2003), lo que evidencia debilidades en la planificación territorial respecto de la protección de estos sistemas naturales.

En particular, el humedal Paicaví ha sido afectado por procesos de urbanización intensiva, especialmente en los sectores de Lorenzo Arenas y Paicaví, donde predominan usos habitacionales, comerciales y de equipamiento urbano. Estas intervenciones han generado

diversas amenazas para el ecosistema, tales como rellenos ilegales, acumulación de residuos, drenajes artificiales y modificaciones en su delimitación natural.

Actualmente, el humedal presenta una elevada vulnerabilidad ambiental producto de la presión inmobiliaria. Entre los años 2010 y 2019 se registraron 713 permisos de edificación, concentrándose los mayores niveles de urbanización durante los años 2014 y 2015. Asimismo, en los últimos tres años, los permisos se han emplazado directamente sobre el humedal Paicaví, reforzando un modelo de expansión urbana que avanza sobre estos ecosistemas. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de implementar modelos de desarrollo urbano más sustentables, que integren criterios de protección ambiental, tales como la incorporación de zonas de amortiguación entre el humedal y las áreas residenciales colindantes [1]



Figura 5-1 Expansión Urbana Área Metropolitana de Concepción. Fuente: Urbancost 2020 en base a imágenes GeoEye 2019

5.2. Identificación de presiones antrópicas (urbanización, rellenos, contaminación, etc.).

Amenazas que afectan el humedal:

- Basura y residuos sólidos
- Relleno de humedales urbanos
- Desarrollo de áreas residenciales
- Especies exóticas invasoras
- Drenaje de humedales urbanos
- Aguas servidas domiciliarias y urbanas
- Extracción de caudales

- Residuos industriales líquidos
- Desarrollo de áreas comerciales e industriales
- Alteración y cambio en la delimitación de ecosistemas.[26]

5.3 .Descripción de construcciones y proyectos en el entorno del humedal.

En el año 2022 se rechazó el proyecto Borde vista de la empresa Madesal que consistió en 200 departamentos distribuidos en 10 torres de 5 pisos y que además contemplaba 150 estacionamientos, en una superficie de 10.271m². Este proyecto que contaba con el permiso de edificación municipal fue rechazado en su DIA por afectar a la flora, fauna y por encontrarse dentro del Sitio Prioritario para la conservación y que una parte del proyecto estuviera dentro del polígono que el municipio solicitó al ministerio de medio ambiente declarar como humedal urbano.[SEA]

El proyecto Habitacional Social DS 49 MINVU, Parque Solidario, Sandra Oliva I y II corresponde a un proyecto nuevo y consiste en la construcción de 500 departamentos distribuidos en 3 condominios, 13 torres de 5 pisos cada una junto con 424 estacionamientos locales comerciales; en una superficie de 3,4ha, ubicada en el sector de Fundo Laguna Redonda al interior de un uso de suelo definido como habitaciones de expansión, por el Plan regulador Comunal de Concepción. Para la construcción de este proyecto habitacional se pretende rellenar y destruir las 3,4ha. [3]

El proyecto ingresó al SEA con una DIA pero agrupaciones ambientales solicitaran al SEA que el proyecto sea evaluado mediante un EIA ya que el Humedal Paicaví es parte de los sitios prioritarios de Conservación de la Biodiversidad.

El proyecto pretende beneficiar a 160 familias. Se estableció un pacto de retroventa, el que permite devolver el terreno si resulta imposible construir en el. [16]

Cabe mencionar que según la DIA, dispuesta en el SEA, el proyecto se emplaza en una zona que presenta amenazas y riesgos climáticos, esto “de acuerdo a lo dispuesto en la Guía Metodológica para la Consideración del Cambio Climático en el SEIA. Los riesgos identificados corresponden a: inundaciones, seguridad hídrica doméstica urbana y la pérdida de flora y fauna por cambios de precipitación y temperatura”, asegura el mismo informe.[2]

Condominio Fuentes de Aníbal Pinto I y II: El proyecto habitacional “Condominio Fuentes de Aníbal Pinto I y II”, corresponde a un proyecto nuevo y consiste en la construcción y habilitación de 350 departamentos distribuidos en 19 torres de 5

pisos cada una. Además, el proyecto contempla 356 estacionamientos vehiculares, espacios de equipamiento, áreas verdes, vialidad interna y obras de urbanización privadas. La superficie del proyecto corresponde a 2,2ha, ubicada en el sector de Fundo Laguna redonda.

Este proyecto esta ubicado en 2 de los paños derogados (L-3A y L-3B) en la primera declaratoria de humedal urbano del cuerpo de agua.[SEA]

Muchos humedales están en riesgo y una de las principales amenazas son la expansión urbana. Los rellenos para edificar pueden tener alto riesgo de inundaciones como se ha visto en sectores bajos de concepción.

El humedal ha sido de gran importancia en las últimas lluvias y por la expansión urbana en el área del humedal se pueden ver afectadas estas funciones ecosistémicas por proyectos que no tienen claro los impactos que puedan provocar.

5.4. Riesgos naturales del sistema del humedal

5.4.2 Terremoto:

Un terremoto se define como una vibración de la tierra causada por la liberación repentina de energía bajo la superficie, que generalmente responde al desplazamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla (Wincander y Monroe, 2000; Tarbuck y Lutgens, 2005).

Los efectos de un terremoto dependen de su magnitud, profundidad del foco, distancia a las zonas pobladas y densidad de la población, hora de ocurrencia y el tipo de construcciones en la zona afectada, sumado a la posibilidad de que el terremoto detone otros desastres colaterales como inundaciones, aludes, incendios, licuefacción de suelos o tsunamis [2]

5.4.3 Licuefacción:

La Licuefacción es un fenómeno originado por el reacomodamiento de las partículas sólidas como resultado de la exposición de suelos saturados y sin cohesión a las vibraciones de un terremoto (Matamoras,1994).

Durante un movimiento sísmico, el exceso de presión en los poros disminuye la tensión efectiva del suelo, cuando dicha presión iguala el confinamiento efectivo inicial, el suelo

comenzará a deformarse y cambiará su fase de sólido a un líquido pesado, perdiendo gran parte de su fuerza de soporte, por lo que cualquier estructura emplazada sobre el puede llegar a colapsar (Faculty of Societal Science, 2018).

El área estudiada se encuentra en zonas de peligro alto, con un 100% de la superficie del Sistema de Humedales en peligro alto, debido a la presencia de secuencias sedimentarias que contienen suelos arenosos y saturados de agua.[1]

5.4.4 .Estado actual del humedal frente a la urbanización

Considerando las tendencias de los últimos años, el humedal presenta un estado ambiental estable y funcional, sin evidencias de degradación reciente acelerada. Sin embargo, la persistencia de valores bajos de NDVI y la limitada humedad del entorno reflejan una capacidad de resiliencia restringida, altamente dependiente de la conservación de su régimen hidrológico y de la gestión de las áreas alrededor de humedal.

La urbanización, aunque no muestra una intensificación clara en el período reciente, continúa representando una amenaza latente, particularmente a través de procesos graduales de fragmentación, compactación de suelos y pérdida de conectividad ecológica. En este escenario, el humedal se mantiene en un equilibrio delicado, donde las medidas de planificación y protección van a ser clave para la conservación de este ecosistema.

5.5. Lineamientos o recomendaciones para su gestión y conservación

La conservación de humedales frente a la urbanización requiere de legislación, planificación territorial, participación ciudadana y restauración ecológica para convertir este ecosistema en una infraestructura que provea servicios clave para el control de inundaciones y educación ambiental

1. Gestión preventiva del entorno

- Promover el reconocimiento de humedal como un ecosistema funcional y valioso, utilizando los resultados de este estudio como insumo técnico de respaldo
- Gestionar la instalación de basureros en puntos estratégicos del humedal y su entorno inmediato, tales como accesos peatonales, áreas de uso recreativo y plazas asociadas.

-Prevenir la ejecución de rellenos ilegales y el drenaje artificial del cuerpo de agua, mediante fiscalización periódica y coordinación entre organismos competentes.

2. Restauración ecológica focalizada

-Incrementar la cobertura vegetal del humedal y su entorno mediante la revegetación con especies nativas adaptadas a condiciones de humedad, favoreciendo la recuperación de funciones ecológicas y la conectividad biológica.

-Impulsar jornadas periódicas de retiro de residuos sólidos en sectores accesibles del humedal, integrando a la comunidad local, organizaciones sociales y establecimientos educacionales.

- Favorecer la sustitución de áreas de suelo desnudo o césped de alto requerimiento hídrico por vegetación funcional como pastizales nativos, etc.

-Promover la restauración ecológica gradual de parques y plazas mediante el aumento de cobertura vegetal con especies nativas y renovación de los espacios de descanso integren criterios de sostenibilidad y bajo mantenimiento.

-

3. Monitoreo y alerta temprana

- Mantener un monitoreo periódico de NDVI, NDWI Y NDBI con énfasis en la detección de tendencias temprana de cambios en la cobertura vegetal, la humedad superficial y la expansión de superficies urbanizadas.

- Complementar el monitoreo remoto con inspecciones de terreno que permitan validar los resultados obtenidos mediante teledetección.

4. Educación ambiental

Es necesario que todos los niveles de la sociedad entiendan la importancia de los humedales, por eso se debe:

-Promover el reconocimiento del humedal como proveedor de servicios ecosistémicos, tales como regulación hídrica, biodiversidad y valor paisajísticos.

-Incentivar prácticas responsables en el uso del espacio como el manejo adecuado de residuos, el respeto por la vegetación y la tenencia responsable de las mascotas en la naturaleza

5. Desarrollo de políticas eficaces para los humedales

Uno de los principales factores que conducen a la pérdida de humedales es la existencia, dentro de las instituciones gubernamentales e intergubernamentales, de

políticas que favorecen su explotación y que coexisten, a menudo, con las estrategias de conservación de estas mismas instituciones. [11]

- Fortalecer la aplicación de instrumentos de planificación territorial que eviten nuevas intervenciones sobre el humedal y su entorno inmediato, incorporando zonas de amortiguación que reduzcan la presión antrópica directa.

- Actualizar y mejorar los instrumentos normativos y de planificación vigentes, incorporando criterios ecológicos y de resiliencia territorial que aseguren la conservación efectiva de los humedales urbanos.

Es importante mencionar que la restauración ecológica es el proceso que ayuda al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004), es fundamental considerar que este proceso es ecológico, cuya finalidad es recuperar las condiciones ambientales que prevalecieron en un sitio dado, y que por alguna causa se vieron afectados negativamente (Sol Sánchez et al., 2002), también la restauración apunta a un uso racional de humedal, tal cual queda establecido en la Ley de Humedales Urbanos, es decir mantener a largo plazo los beneficios/servicios de los ecosistemas a fin de asegurar el mantenimiento a largo plazo de la biodiversidad, el bienestar humano y la mitigación de la pobreza. También es importante recalcar que Chile en el marco del Convenio de la Diversidad Biológica se desarrolla el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 con metas, incluyendo en las metas 14 y 15, la restauración de los ecosistemas que sustentan los servicios ecosistémicos, con énfasis en aquellos relacionados con el agua, esenciales para la salud, la vida y el bienestar, junto con incrementar la resiliencia de los ecosistemas, a través de la restauración de al menos el 15 % de las tierras degradadas, contribuyendo a la adaptación y mitigación del cambio climático .

Conclusiones

El análisis multitemporal de imágenes satelitales permitió evaluar de manera objetiva el estado ambiental y la dinámica espacial del humedal Paicaví–Tucapel Bajo en un contexto de creciente urbanización. Los resultados obtenidos confirman que el uso de índices espectrales como NDVI, NDWI y NDBI constituye una herramienta eficaz para el monitoreo de humedales urbanos, especialmente en escenarios donde el acceso a mediciones continuas en terreno es limitado.

En términos de cobertura vegetal, los valores bajos y relativamente estables de NDVI registrados en el polígono del humedal durante el período 2013–2025 son consistentes con la naturaleza palustre del ecosistema, dominado por vegetación hidrófita de bajo porte. Estos valores no evidencian una pérdida abrupta de vegetación, pero sí reflejan un sistema con limitada capacidad de resiliencia, altamente dependiente de la mantención de su régimen hidrológico natural y de la ausencia de intervenciones antrópicas intensivas.

Respecto a la dinámica hídrica, los resultados del NDWI indican que el humedal no presenta grandes extensiones de agua libre, pero conserva condiciones de humedad edáfica permanente, fundamentales para su funcionamiento ecológico. Las variaciones estacionales observadas responden principalmente a factores climáticos, sin que se identifiquen, en el período analizado, señales claras de desecación total o colapso funcional del sistema.

Por otra parte, el análisis del NDBI en la zona buffer del humedal Paicaví evidencia valores predominantemente negativos en ambos períodos analizados, concentrándose en rangos cercanos a cero pero sin alcanzar valores positivos. Esta condición indica la ausencia de áreas con alta densidad de edificaciones y el predominio de superficies no construidas, tales como vegetación, suelo desnudo e infraestructura dispersa de baja densidad.

En el segundo periodo, la totalidad de los valores de NDBI se mantiene en rangos negativos, lo que confirma una presión antrópica baja o relativamente constante en el entorno inmediato del humedal. No obstante, la persistencia de valores cercanos a cero y la presencia de infraestructura dispersa indican que el humedal se encuentra en un contexto urbano incipiente, por lo que resulta relevante considerar estos antecedentes como una señal temprana de posibles procesos de expansión urbana, más que como evidencia de una presión urbana consolidada.

El estudio permitió reconocer que el sistema se encuentra expuesto a múltiples amenazas de origen antrópico, asociadas principalmente a la expansión urbana y a intervenciones indirectas sobre su entorno inmediato. Entre las presiones más relevantes se identifican la disposición de basura y residuos sólidos, los rellenos de humedales urbanos, el drenaje artificial, la descarga de aguas servidas domiciliarias y urbanas, la extracción de caudales, la presencia de especies exóticas invasoras y la alteración de la delimitación del ecosistema, las cuales generan efectos acumulativos sobre la funcionalidad ecológica del humedal.

La evaluación de riesgos naturales, como terremotos y licuefacción de suelos, permite concluir que la ocupación urbana del entorno del humedal incrementa la vulnerabilidad tanto del ecosistema como de las infraestructuras humanas, reforzando el rol del humedal como una infraestructura natural clave para la mitigación de riesgos y la regulación hídrica. En este sentido, los rellenos y la urbanización sobre suelos saturados representan no solo una amenaza ambiental, sino también un factor de riesgo territorial relevante.

Frente a estas presiones, las medidas de conservación evaluadas en el estudio se orientan a una gestión preventiva e integrada del humedal, destacando la necesidad de fortalecer la planificación territorial, prevenir rellenos y drenajes ilegales, promover la restauración ecológica focalizada con especies nativas y mantener un monitoreo continuo mediante índices de teledetección complementados con inspecciones en terreno. Asimismo, se reconoce la importancia de la educación ambiental, la participación ciudadana y el fortalecimiento de políticas públicas que aseguren una protección efectiva del humedal y su zona de amortiguación, en coherencia con la Ley de Humedales Urbanos y los compromisos internacionales asumidos por Chile en materia de biodiversidad y cambio climático.

En conjunto, los resultados confirman que, si bien el humedal Paicaví mantiene actualmente una funcionalidad ecológica básica, su conservación a largo plazo depende directamente de la reducción de las presiones antrópicas identificadas y de la implementación efectiva de medidas de gestión y restauración que permitan compatibilizar el desarrollo urbano con la protección de este ecosistema estratégico.

La integración de los resultados espaciales con el análisis normativo demuestra que, pese a la existencia de instrumentos legales como la Ley N° 21.202 y las modificaciones al Plan Regulador de Concepción, persisten brechas en la protección efectiva del humedal,

particularmente en lo relativo a la delimitación, fiscalización y establecimiento de zonas de amortiguación. Esto pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la gestión ambiental a escala local, incorporando criterios ecosistémicos en la planificación urbana.

Finalmente, se concluye que el humedal Paicaví–Tucapel Bajo mantiene actualmente una funcionalidad ecológica básica, pero se encuentra en un estado de alta vulnerabilidad frente al avance de la urbanización. En este contexto, se recomienda priorizar su conservación como infraestructura natural estratégica para el control de inundaciones, la biodiversidad urbana y la adaptación al cambio climático, promoviendo una planificación territorial integrada que compatibilice el desarrollo urbano con la protección de los ecosistemas. El presente estudio constituye un aporte técnico para la toma de decisiones en gestión ambiental y establece una base metodológica replicable para el monitoreo de otros humedales urbanos en Chile.

Referencias bibliográficas

- [1] Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Informe final proyecto GEF Humedales Urbanos en Chile*.
- [2] Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (8.^a ed.). Pearson Educación
- [3] Diario Concepción. (2024, 5 de diciembre). *Por 30 millones de dólares ingresan proyectos inmobiliarios en humedal Paicaví*.
- [4] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). *Ley N.º 21.202: Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos*.
- [5] ARLULA. (s. f.). (2023, 27 de septiembre). *A guide on NDVI, NDWI and derived bands*
- [6] Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. a.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*
- [7] EOS Data Analytics. (2025, 28 de mayo). *Índice de vegetación de diferencia normalizada*.
- [8] Saha, S., Zhang, Q., & Thapa, B. (2018). *NDVI, NDBI, NDWI calculation using Landsat 7 & 8*. ResearchGate.
- [9] EOS Data Analytics. (2021, 29 de septiembre). *NDWI: Normalized Difference Water Index*.
- [10] GIS & Beers. (2018, 05 de mayo). *Cálculo del índice NDBI en análisis urbanísticos*.
- [11] Ramsar Convention Bureau. (2000). *Medidas de conservación de humedales*. En *Manual de la Convención Ramsar*
- [12] Gobierno de Chile. (s. a.). *Región del Biobío*.
- [13] Ministerio del Medio Ambiente. (s. f.). *Sistema Nacional de Humedales Urbanos: Humedal Paicaví*.
- [14] Ministerio de Agricultura. (2024). *Recursos naturales de la provincia de Arauco*.
- [15] Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2003). *Mapa geológico de Chile: versión digital*.
- [16] BioBioChile. (2025, 5 de enero). *Acogen solicitud para proteger totalidad del humedal Paicaví en Concepción*.
- [17] Convención Ramsar sobre los Humedales. (s. f.). *¿Qué son los humedales?*
- [18] Flórez-Yepes, G. Y. (2015). *Servicios ecosistémicos y variables sociambientales determinantes en ecosistemas de humedales altoandinos: Sector El Ocho y páramo de Letras*.

- [19] Secretaría de la Convención de Ramsar.(2016) *Introducción a la Convención sobre los Humedales (Manual Ramsar 5ª ed.)*. Secretaría de la Convención de Ramsar.
- [20] Norambuena V., P., Orchard G., C., Vernal H., P., Molina G., C., & Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2022). *Guía de delimitación y caracterización de humedales urbanos de Chile (Proyecto GEF/SEC ID: 9766)*. Ministerio del Medio Ambiente.
- [21] VISSUAL Comunicación & Diseño (Productor). (2006). *Humedales de la República Argentina*. Casa Rosada.
- [22] Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020). *Resumen de información territorial del sistema Humedal Rocuant-Andalién-Vasco da Gama-Paicaví-Tucapel Bajo* (Proyecto GEF: Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile, hotspot de biodiversidad, a través del manejo adaptativo de los ecosistemas de borde costero).
- [23] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1994). *Ley N.º 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- [24] Vivanco Font, E. (2022). *Categorías de áreas silvestres protegidas* (Asesoría Técnica Parlamentaria Sup. N° 134230). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- [25] Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2004). *Cuenca del río Andalién*. Ministerio del Medio Ambiente
- [26] Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (s. a). *Detalle de solicitud de humedal urbano: Paicaví – Tucapel Bajo (Solicitud 1239)*. Sistema de Gestión de Humedales Urbanos.