



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

**Mapeo y caracterización de Biodiversidad en los  
humedales Price y Lengua, Región del Biobío a través de  
Sistemas de información geográfica (SIG) y fuentes  
secundarias.**

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

Alumna:

Noemi Pérez Quintana.

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: Mapeo y caracterización de Biodiversidad en los humedales Lengua y Price, Región del Biobío a través de Sistemas de información geográfica (SIG) y fuentes secundarias \_\_\_\_\_

Nombre del candidato(a): Noemi Antonia Pérez Quintana \_\_\_\_\_

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Gestión y Control Ambiental \_\_\_\_\_

Campus: Concepcion Departamento: Química y Medio Ambiente \_\_\_\_\_

### 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**

*Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar la biodiversidad y evaluar el estado ecológico de los humedales urbanos Lenga y Price mediante el uso de datos de biodiversidad y análisis espacial. La caracterización biológica se realizó a partir de registros de presencia de especies obtenidos desde iNaturalist, considerando únicamente observaciones validadas. Dada la ausencia de datos confiables de abundancia, la diversidad fue evaluada mediante la riqueza específica de flora y fauna.*

*Las observaciones fueron procesadas en un entorno SIG, delimitándose al polígono de cada humedal y generando una lista única de especies. De manera complementaria, se identificaron especies de interés ecológico según criterios de origen biogeográfico y valor para la conservación. Asimismo, se analizaron índices espectrales derivados de imágenes satelitales, utilizando el polígono del humedal para el cálculo del NDVI y NDWI, y una zona buffer de 500 m para el NDBI, con el fin de evaluar la intervención urbana en el entorno.*

*Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre ambos humedales, destacando el mayor valor ecológico del humedal Lenga y una mayor presión antrópica en el entorno del humedal Price, lo que refuerza la necesidad de estrategias de gestión y conservación diferenciadas para estos ecosistemas.*

*Humedales urbanos; Caracterización de biodiversidad; Sistemas de información geográfica; Índices espectrales (NDVI, NDWI, NDBI); Análisis multitemporal.*

## ÍNDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
Objetivo General:	2
Objetivo Específicos:	2
1. HUMEDALES	4
1.1.  NORMATIVA APLICADA PARA HUMEDALES URBANOS	4
1.2.  TIPOS DE HUMEDALES	5
1.3.  CARACTERIZACION DE HUMEDALES	6
1.4.  HUMEDAL LENGA	7
1.5.  HUMEDAL PRICE	9
1.7.  IMPORTANCIA DE CARACTERIZAR LA BIODIVERSIDAD EN HUMEDALES URBANOS	11
1.8.  JUSTIFICACIÓN	13
1.9.  FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS	14
1.10.  EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS A PARTIR DE LOS ÍNDICES NDVI, NDBI Y NDWI	15
1.10.1.  Imágenes satelitales para el cálculo de índices	15
1.10.2.  Índice NDVI (Índice Diferencial de Vegetación Normalizada)	15
1.10.3.  Índice NDBI (Índice Diferencial de Desarrollo de Edificación)	15
1.10.4.  Índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizada)	15
2.  CARACTERIZACIÓN DE BIODIVERSIDAD DE LOS HUMEDALES URBANOS LENGA Y PRICE	17
2.1.  FUENTE DE DATOS DE BIODIVERSIDAD	17
2.2.  PROCESAMIENTO ESPACIAL Y FILTRADO EN QGIS	18
2.3.  CARACTERIZACIÓN DE FLORA Y FAUNA	18
2.3.1.  Resultados caracterización de flora y fauna	19
2.3.2.  Riqueza específica por humedal	19
2.3.3.  Especies de interés ecológico	20
2.5.  ESPECIES DESTACADAS HUMEDAL PRICE	21
2.5.1.  Flora Humedal Price	23
2.5.2.  Fauna Humedal Price	24
2.5.3.  Biodiversidad del humedal Price	24
2.6.  ESPECIES DESTACADAS HUMEDAL LENGA	25
2.6.1.  Flora Humedal Lengua	28
2.6.2.  Fauna Humedal Lengua	28
2.6.3.  Biodiversidad humedal Lengua	29

2.7.	COMPARACIÓN ENTRE LOS HUMEDALES URBANOS LENGA Y PRICE	29
3.	EVALUACIÓN DE PRESIONES ANTRÓPICAS	32
3.1.	INDICES PARA LA EVALUACION DE PRESIONES ANTRÓPICAS	32
3.1.1.	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	32
3.1.2.	Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI)	33
3.1.3.	Índice de Diferencia Normalizada de Construcción (NDBI)	33
3.2.	METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LOS INDICES	33
3.2.1.	Delimitación de polígonos para el cálculo de índices	34
3.3.	CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES	37
3.3.1.	Pauta para evaluar NDVI	37
3.3.2.	Pauta para evaluar NDWI	38
3.3.3.	Pauta para evaluar NDBI	39
3.3.4.	Criterios integrados de los índices	39
3.4.	EVALUACIÓN DE DIFERENCIA ESTACIONAL	39
3.5.	HUMEDAL PRICE	41
3.5.1.	Resultados NDVI	41
3.5.2.	Resultados NDWI	44
3.5.3.	Resultados NDBI	46
3.5.4.	Relación entre los índices NDVI, NDWI y NDBI	49
3.6.	HUMEDAL LENGA	51
3.6.1.	Resultados NDVI	51
3.6.2.	Resultados NDWI	53
3.6.3.	Resultados NDBI	56
3.6.4.	Relación entre los índices NDVI, NDWI y NDBI	58
3.7.	COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS INDICES DEL HUMEDAL PRICE Y LENGA.	59
	CONCLUSION Y RECOMENDACIONES	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Tipos de humedales según la Convención Ramsar y el MMA_____	6
Tabla 1-2. Humedales urbanos estudiados y sus características_____	11
Tabla 2-1. Cantidad de especies de flora y fauna por humedal_____	19
Tabla 2-2. Especies de interés ecológico registrada correspondiente a flora y fauna en el humedal Price_____	22
Tabla 2-3. Especies de interés ecológico registrada correspondiente a flora y fauna del humedal Lenga_____	25
Tabla 3-1. Criterios evaluación NDVI_____	37
Tabla 3-2. Criterios evaluación NDWI_____	38
Tabla 3-3. Criterios evaluación NDBI_____	39
Tabla 3-4. Valores NDVI invierno-verano_____	41
Tabla 3-5. Diferencia NDVI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional_____	42
Tabla 3-6. Valores NDWI invierno-verano_____	44
Tabla 3-7. Diferencia NDWI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional_____	45
Tabla 3-8. NDBI invierno-verano_____	47
Tabla 3-9. Diferencia NDBI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional_____	48
Tabla 3-10. NDVI invierno-verano_____	51
Tabla 3-11. Diferencia NDVI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional_____	52
Tabla 3-12. NDWI invierno-verano_____	53
Tabla 3-13. Diferencia NDWI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional_____	54
Tabla 3-14. NDBI invierno-verano_____	56

Tabla 3-15. Diferencia NDBI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional_____	57
--	----

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1-1. Mapa ubicación humedal Lenga_____	8
Figura 1-2. Delimitación geoespacial humedal Lenga_____	9
Figura 1-3. Mapa ubicación humedal Price_____	10
Figura 1-4. Delimitación geoespacial humedal Price_____	10
Figura 3-1. Polígono delimitado Humedal Price en QGIS_____	35
Figura 3-2. Polígono zona buffer Humedal Price delimitado en QGIS_____	36
Figura 3-3. Polígono delimitado humedal Lenga en QGIS_____	36
Figura 3-4. Polígono zona buffer Humedal Lenga delimitado en QGIS_____	37
Figura 3-5. Valores NDVI invierno-verano_____	42
Figura 3-6. Variación de NDVI según Amplitud Estacional_____	43
Figura 3-7. Valores NDWI invierno-verano_____	44
Figura 3-8. Variación de NDWI según Amplitud Estacional_____	45
Figura 3-9. Valores NDBI invierno-verano_____	47
Figura 3-10. Variación de NDBI según Amplitud Estacional_____	48
Figura 3-11. Valores NDVI invierno-verano_____	51
Figura 3-12. Variación de NDVI según Amplitud Estacional_____	52
Figura 3-13. Valores NDWI invierno-verano_____	54
Figura 3-14. Variación de NDWI según Amplitud Estacional_____	55
Figura 3-15. Valores NDBI invierno-verano_____	56
Figura 3-16. Variación de NDBI según Amplitud Estacional_____	57

## **SIGLA**

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

SAG: Servicio Agrícola y Ganadero

IUCN: Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza

CONAF: Corporación Nacional Forestal

SIMBIO: Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad

NDVI: Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada

NDWI: Índice de Diferencia de Agua Normalizada

NDBI: Índice de Diferencia de Construcción Normalizada

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio

USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos

## **SIMBOLOGIA**

km: kilómetro

m: metro

ha: hectárea

## **INTRODUCCION**

Los humedales son uno de los ecosistemas más valiosos y a la vez más amenazados del planeta. De acuerdo con la Convención Ramsar (1971), se entiende por humedal “todas aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, con agua estancada o corriente, dulce, salobre o salada”. Esta definición amplia reconoce la diversidad de cuerpos de agua y superficies húmedas que cumplen funciones ecológicas esenciales en los territorios.

En el caso de Chile, la Ley N.º 21.202, conocida como Ley de Protección de Humedales Urbanos, define los humedales como ecosistemas que se encuentran total o parcialmente dentro del límite urbano y que se caracterizan por la presencia de agua en forma permanente o temporal, sustentando comunidades de flora y fauna adaptadas a estas condiciones (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2020). Esta ley establece mecanismos de reconocimiento, gestión y protección con el fin de resguardar su integridad ecológica frente a presiones antrópicas.

Los humedales desempeñan múltiples roles ecológicos fundamentales para el equilibrio ambiental. Entre los más relevantes destacan la regulación hídrica, al actuar como zonas naturales de retención y recarga de aguas; la depuración de contaminantes, gracias a su capacidad para filtrar sedimentos y metales pesados; la provisión de hábitat para aves, anfibios, peces e invertebrados; y su función como sumideros de carbono, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático (Ramsar, 2018; MMA, 2020). En entornos urbanos, además, proveen espacios de recreación, educación ambiental y conectividad ecológica del territorio.

Pese a su importancia, la problemática asociada a los humedales urbanos se ha intensificado en las últimas décadas. La expansión inmobiliaria, la contaminación por escorrentías, la fragmentación del paisaje y la disposición de residuos han provocado una pérdida acelerada de estos ecosistemas, especialmente en ciudades intermedias y zonas costeras (MMA, 2023). Estudios nacionales estiman que más del 60 % de los humedales en áreas urbanas han sido degradados o reducidos significativamente debido a actividades antrópicas (Conaf, 2022).

La Región del Biobío posee una alta concentración de humedales costeros, estuarinos y lacustres, los cuales cumplen un rol ecológico de importancia estratégica. Su localización entre la costa, los valles y la cordillera de la Costa genera una diversidad de ambientes que

sustentan especies endémicas, migratorias y de valor para la conservación. El Catastro Nacional de Humedales identifica más de 200 humedales en la región, muchos de los cuales se encuentran insertos en zonas urbanas como Concepción, Hualpén, Coronel, Talcahuano y San Pedro de la Paz (MMA, 2023). No obstante, varios de estos ecosistemas carecen de estudios detallados sobre su biodiversidad, estado de conservación y presiones antrópicas.

Considerando esto, el presente estudio busca contextualizar el valor ecológico y territorial de los humedales, así como presentar la situación regional del Biobío, con el propósito de fundamentar la relevancia del estudio y la selección de los humedales analizados en esta investigación.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Mapear y caracterizar la biodiversidad de flora y fauna en los humedales Lenga y Price, ubicados en la Región del Biobío, mediante Sistemas de información geográfica (QGIS) y fuentes secundarias, para evidenciar su valor ecológico y presiones antrópicas.

### **Objetivo Específicos:**

1. Delimitar y georreferenciar los humedales Lenga y Price, integrando información de fuentes secundarias y oficiales en QGIS.
2. Caracterizar la biodiversidad de flora y fauna en los humedales estudiados.
3. Analizar el estado ecológico interno de los humedales Lenga y Price y las presiones antrópicas ejercidas desde su entorno inmediato, mediante el uso de índices espectrales derivados de imágenes satelitales.

**CAPITULO 1: HUMEDALES URBANOS**

## **1. HUMEDALES**

Los humedales son ecosistemas transicionales entre ambientes acuáticos y terrestres, caracterizados por la presencia de agua superficial o subterránea de manera permanente o temporal. Esta condición hídrica determina sus propiedades físicas, químicas y biológicas, permitiendo el desarrollo de vegetación hidrófita y comunidades de fauna adaptadas a condiciones de inundación o saturación del suelo.

Según la Convención Ramsar (1971), se consideran humedales “todas las extensiones de marismas, pantanos, turberas o superficies cubiertas de aguas, sean estas naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas”. En Chile, la Ley 21.202 y el Ministerio del Medio Ambiente los reconocen como ecosistemas esenciales para la biodiversidad, la regulación hídrica y el bienestar humano.

### **1.1. NORMATIVA APLICADA PARA HUMEDALES URBANOS**

La protección legal de los humedales urbanos en Chile se encuentra definida por la Ley 21.202, promulgada en el año 2020, la cual establece un marco regulatorio para su conservación dentro de las áreas urbanas mediante modificaciones a la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Esta normativa reconoce a los humedales urbanos como ecosistemas que cumplen funciones ecológicas esenciales y cuya definición se basa en los criterios hidrológicos, de suelo y de vegetación establecidos por la Convención Ramsar (Ramsar, 2018; Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2020a).

La Ley 21.202 habilita un procedimiento administrativo para la declaración oficial de humedal urbano, el cual puede ser solicitado tanto por los municipios como por el Ministerio del Medio Ambiente. El proceso técnico y los criterios utilizados en la delimitación están regulados por el Decreto Supremo N.º 15/2021, que establece la metodología para definir los atributos hidrológicos y de vegetación hidrófila, y por el Decreto Supremo N.º 16/2021, que detalla el procedimiento administrativo para la declaración (MMA, 2021a; MMA, 2021b).

Una vez declarado un humedal urbano, las intervenciones, proyectos o actividades que puedan generar impactos significativos deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, conforme a la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio

Ambiente. Esto incluye acciones como rellenos, drenajes, alteraciones hidrológicas o modificaciones sustantivas de la vegetación (Ministerio del Medio Ambiente, 2020a). Adicionalmente, la declaración obliga a los municipios a incorporar la delimitación y las medidas de protección del humedal en sus instrumentos de planificación territorial, lo que restringe cambios de uso de suelo y densificación urbana en áreas que podrían comprometer su integridad ecológica (MMA, 2020b).

La normativa también establece mecanismos de fiscalización por parte del Ministerio del Medio Ambiente y la Superintendencia del Medio Ambiente, a fin de garantizar el cumplimiento de las medidas de protección y evitar la degradación del ecosistema. En forma complementaria, normativas sectoriales como la Ley de Bosque Nativo y las normas de calidad de aguas pueden aplicarse según las características del humedal y sus funciones ecosistémicas (MMA, 2019). En conjunto, este marco regulatorio constituye una herramienta clave para la gestión y conservación de los humedales urbanos frente a presiones antrópicas crecientes.

## **1.2. TIPOS DE HUMEDALES**

Según su origen, dinámica hídrica y características ecológicas, los humedales pueden clasificarse de diversas maneras.

La Convención Ramsar distingue tres grandes grupos: humedales marinos y costeros, que incluyen marismas y pantanos salados, manglares, estuarios, lagunas costeras, praderas marinas y arrecifes de coral; humedales continentales, que abarcan ríos, lagos, lagunas, marismas, turberas, vegas y bofedales, además de manantiales, humedales subterráneos y planicies de inundación; y humedales artificiales, correspondientes a ecosistemas creados o modificados por el ser humano, como embalses, canales, pisciculturas, campos de arroz, lagunas de estabilización y plantas de tratamiento de aguas.

En Chile, el Ministerio del Medio Ambiente, a través del Inventario Nacional de Humedales y la Ley 21.202, reconoce principalmente los humedales costeros, lacustres, fluviales, palustres, estuarinos, marinos y altoandinos, además de turberas y bofedales, los cuales se caracterizan por la acumulación significativa de materia orgánica en el suelo, resultado de la descomposición lenta de restos vegetales en condiciones de saturación hídrica y bajos niveles de oxígeno.

Tabla 1-1. Tipos de humedales según la Convención Ramsar y el MMA

Convención Ramsar			Ministerio del Medio Ambiente
Humedales marinos y costeros	Humedales continentales	Humedales artificiales	
Marismas y pantanos salados Manglares Estuarios Lagunas costeras Praderas marinas Arrecifes de coral	Ríos Lagos Lagunas Marismas Turberas Vegas Bofedales Manantiales Humedales subterráneos Planicies de inundación	Embalses canales pisciculturas campos de arroz lagunas de estabilización plantas de tratamiento de aguas	Costeros Lacustres Fluviales Palustres Estuarinos Marinos Altoandinos Turberas Bofedales

### **1.3. CARACTERIZACION DE HUMEDALES**

La caracterización de un humedal requiere analizar un conjunto de atributos ecológicos, hidrológicos, geomorfológicos y biológicos que permiten comprender su estructura, funcionamiento y estado de conservación. Es fundamental considerar sus características hidrológicas, las cuales incluyen el régimen hídrico que puede ser: permanente, estacional o intermitentes. Las fuentes de agua que lo alimentan, tales como: precipitaciones, ríos, mareas o napas subterráneas, así como las fluctuaciones del nivel del agua y la conectividad hídrica con otros sistemas. Asimismo, se evalúan las características geomorfológicas, que abarcan el tipo de sustrato: si es arcilloso, arenoso, limoso o de turba, la topografía del entorno como depresiones o planicies de inundación, y los procesos predominantes de sedimentación, erosión o acumulación orgánica.

En relación con la vegetación, se identifica la presencia de plantas hidrófitas adaptadas a condiciones de inundación (juncos, totoras y espadañas), la zonación de comunidades emergentes, flotantes o sumergidas, la cobertura vegetal y las especies dominantes, además del nivel de intervención antrópica. La fauna asociada constituye otro componente clave, incluyendo aves acuáticas migratorias y residentes, anfibios, reptiles, mamíferos y

peces dependientes del humedal, así como invertebrados que cumplen funciones esenciales en la cadena trófica, junto con su respectivo estado de conservación.

A lo anterior se suma la evaluación de la calidad del agua, mediante parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez, conductividad y oxígeno disuelto, además de la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y la presencia de contaminantes asociados a actividades urbanas o industriales. También se consideran las funciones ecológicas del humedal, entre las que destacan la regulación hídrica a través de la retención y recarga de agua, la depuración natural de sedimentos y contaminantes, su capacidad de almacenamiento de carbono y su rol como hábitat esencial para la biodiversidad. Finalmente, se incorporan los aspectos socioambientales, que incluyen los usos del entorno (como recreación, educación ambiental o pesca), las presiones o amenazas derivadas de la urbanización, los rellenos y la contaminación, así como el valor cultural o patrimonial que estos ecosistemas puedan tener.

#### **1.4. HUMEDAL LENGA**

El Humedal Lenga se localiza en la comuna de Hualpén, Región del Biobío, en la zona centro-sur de Chile. Se ubica en el sector costero de la Península de Hualpén, adyacente a la bahía de San Vicente, aproximadamente a 10 km del centro urbano de Concepción. Según el Visor de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), el área presenta coordenadas aproximadas 36°45' S y 73°09' O (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2020a).

En términos de extensión, de acuerdo con el portal SIMBIO del MMA, el humedal Lenga tiene una superficie estimada de 710,966 ha.

Respecto a su clasificación ecológica, Lenga corresponde a un humedal costero-estuarino, influenciado por la desembocadura del estero Lenga y el intercambio hídrico con la Bahía de San Vicente. Su dinámica ambiental se caracteriza por la mezcla de aguas dulces y salobres, la presencia de planicies mareales y vegetación halófitas, lo que coincide con las categorías establecidas en la Guía para la delimitación y caracterización de humedales urbanos (MMA, 2020b).

En cuanto a su condición normativa, el humedal no cuenta actualmente con declaración oficial como Humedal Urbano bajo la Ley 21.202 (MMA, 2020a). Sin embargo, el sector ha sido identificado en instrumentos de gestión ambiental como área relevante para la biodiversidad y susceptible de protección futura.

La importancia ecológica del Humedal Lengua es ampliamente reconocida. Constituye hábitat para aves residentes y migratorias, entre ellas cisne de cuello negro (*Cygnus melanocoryphus*), garza chica (*Egretta thula*), pilpilén (*Haematopus palliatus*) y especies playeras migratorias como *Calidris* spp.. Además, mantiene conexión ecológica directa con el ecosistema costero y dunar de la Península de Hualpén, lo que refuerza su rol en la mantención de rutas tróficas y reproductivas (MMA, 2020b; CONAF, 2018).

Finalmente, el humedal enfrenta diversas presiones antrópicas, entre las que destacan la expansión urbana asociada al borde costero de Hualpén, la afluencia turística en sectores de playa y restaurantes, y la presencia de residuos sólidos y descargas de aguas superficiales de origen urbano. Dichas amenazas se relacionan con procesos ampliamente descritos para humedales urbanos costeros en Chile (MMA, 2020b).

A continuación, se muestra el mapa de la ubicación geográfica del Humedal Lengua y la delimitación según el portal SIMBIO del MMA, el cual se utilizó como fundamento para la delimitación del polígono utilizado en el Capítulo 3 del presente estudio.

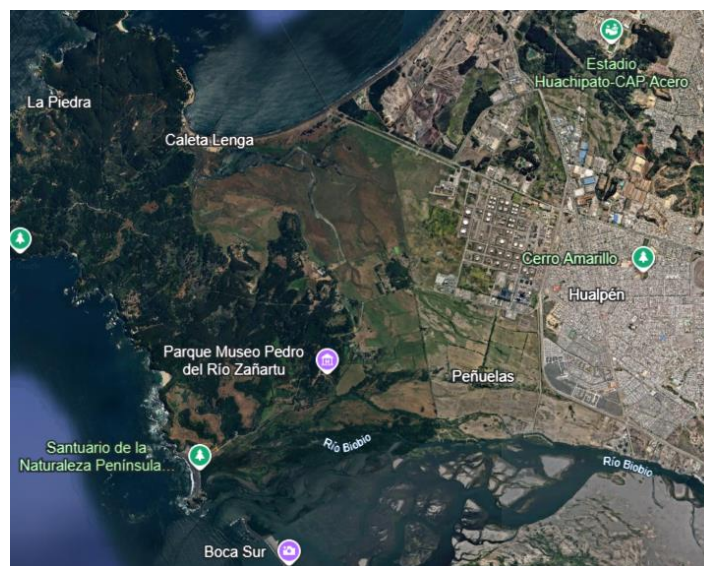


Figura 1-1. Mapa ubicación humedal Lengua

Fuente: Google Earth



Figura 1-2. Delimitación geoespacial humedal Lengua

Fuente: SIMBIO

### **1.5. HUMEDAL PRICE**

El humedal Price se localiza igualmente en la comuna de Hualpén, en el sector poniente, cercano al estuario del Biobío y a sistemas de dunas y planicies litorales. Sus coordenadas aproximadas son  $36^{\circ}47' S - 73^{\circ}09' O$ , a alrededor de 6–8 km del área central de Concepción. De acuerdo con el Diario Oficial del 9 de mayo de 2023 se publicó la declaratoria que lo reconoce como Humedal Urbano para efectos de la Ley N.º 21.202, con superficie aproximada de 21,9 (ha).

Este humedal corresponde a un ecosistema costero–palustre, caracterizado por suelos saturados, vegetación emergente y una dinámica hidrológica influenciada tanto por aguas superficiales como por procesos estuarinos. Se encuentra registrado en el Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2019).

Su relevancia ecológica radica en que forma parte del entramado de humedales del borde costero de Hualpén, contribuyendo a la conectividad ecológica entre sistemas estuarinos y otros humedales del sector. Alberga aves acuáticas residentes y migratorias, además de vegetación hidrófila como totora y junquillo. Entre sus principales presiones se incluyen rellenos, residuos, urbanización cercana y disturbios asociados al tránsito de personas y animales domésticos.

A continuación, se muestra el mapa de la ubicación geográfica del Humedal Price y la delimitación según el portal del Sistema de Humedales del MMA, el cual se utilizó como fundamento para la delimitación del polígono utilizado en el Capítulo 3 del presente estudio.



Figura 1-3. Mapa ubicación humedal Price

Fuente: Google Earth



Figura 1-4. Delimitación geoespacial humedal Price

Fuente: Sistema humedales del MMA

Se presenta una tabla resumen de los Humedales estudiados en el presente trabajo, indicando que ambos se encuentran en la comuna de Hualpén y la gran diferencia de hectáreas de los humedales anteriormente mencionados, su estado según la Ley 21.202 y sus principales presiones antrópicas.

Tabla 1-2. Humedales urbanos estudiados y sus características

Humedal	Comuna	Tipo	Superficie (ha)	Estado según la Ley N.º 21.202	Principales presiones antrópicas
Lenga	Hualpén	costero-estuarino	710,966	No reconocido	Expansión urbana asociada al borde costero de Hualpén Afluencia turística en sectores de playa y restaurantes Presencia de residuos sólidos y descargas de aguas superficiales de origen urbano
Price	Hualpén	costero-palustre	21,9	Reconocido	Rellenos Residuos Urbanización cercana Disturbios asociados al tránsito de personas Presencia de animales domésticos

### **1.7. IMPORTANCIA DE CARACTERIZAR LA BIODIVERSIDAD EN HUMEDALES URBANOS**

La caracterización de la biodiversidad en humedales urbanos constituye una herramienta esencial para evaluar su estado ecológico y comprender los procesos que sostienen su funcionamiento. Estos ecosistemas, al estar altamente influenciados por la matriz urbana, son particularmente sensibles a perturbaciones antrópicas, lo que vuelve indispensable identificar su composición de flora y fauna, así como la presencia de especies indicadoras, amenazadas o de valor ecológico (MMA, 2020; Ramsar, 2018). La presencia y abundancia

de aves acuáticas, anfibios, macroinvertebrados, plantas hidrófitas y macrofitas permite diagnosticar condiciones de conservación o estrés ecológico, dado que muchos de estos organismos responden rápidamente a cambios en calidad del agua, alteraciones hidrológicas y pérdida de hábitat (González et al., 2019).

Desde la gestión ambiental, la información sobre biodiversidad es clave para orientar decisiones de planificación, restauración y protección, especialmente bajo el marco de la Ley 21.202, que exige antecedentes técnicos para la delimitación, reconocimiento y manejo de humedales urbanos (Ministerio del Medio Ambiente, 2021). Conocer qué especies y comunidades ecológicas dependen del humedal permite definir zonas críticas, establecer prioridades de conservación y evaluar los impactos ambientales de proyectos urbanos, todo lo cual contribuye a mantener sus funciones ecosistémicas, tales como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la provisión de hábitat (MMA, 2020).

En el caso del Humedal Lengua, la caracterización de su biodiversidad es particularmente relevante debido a su alto uso recreativo y su conexión con el sistema estuarino del río Biobío. El humedal alberga aves migratorias, peces y comunidades vegetales de marisma que actúan como bioindicadores de salud ecológica. La presión turística, la presencia de infraestructura y los cambios en la calidad del agua hacen necesario contar con información actualizada para evaluar su resiliencia.

El Humedal Price, por su parte, cumple un rol ecológico fundamental como espacio de amortiguación entre la zona urbana de Hualpén y el sistema del Santuario de la Naturaleza Península de Hualpén. Su biodiversidad, compuesta por aves residentes y migratorias, anfibios y vegetación hidrófila, es particularmente sensible a la expansión urbana y a los cambios hidrológicos. La caracterización ecológica permite identificar cómo estas presiones podrían afectar su integridad y continuidad ecológica.

Finalmente, el Humedal Urbano Escuadrón–Laguna Quiñenco, presenta un mosaico de ambientes palustres, cuerpos de agua y zonas someras que sustentan una rica avifauna, además de especies ligadas a ambientes de agua dulce. Su biodiversidad es un elemento clave para la gestión municipal y regional, puesto que el humedal se encuentra rodeado de áreas industriales, residenciales y vías de transporte, lo que aumenta el riesgo de alteración. La caracterización sistemática permite identificar áreas prioritarias, evaluar impactos acumulativos y orientar estrategias de conservación basadas en evidencia.

En conjunto, la caracterización de biodiversidad en estos tres humedales no solo aporta información ecológica esencial, sino que también respalda su protección, manejo y toma de decisiones para su conservación en un territorio urbano dinámico como el Gran Concepción.

## **1.8. JUSTIFICACIÓN**

Los humedales urbanos representan ecosistemas de gran relevancia ecológica y social, al contribuir a la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la calidad de vida en entornos urbanos. Sin embargo, en la Región del Biobío existen numerosos humedales que, pese a su importancia, no cuentan con suficiente información ecológica y algunos no están reconocidos bajo la Ley N.º 21.202, lo que los hace más vulnerables a la degradación por expansión urbana, contaminación y ausencia de gestión territorial.

Frente a esta realidad, se vuelve necesario generar información técnica y cartográfica que respalde su valor ecológico y sirva como base para procesos de protección y reconocimiento. La caracterización de la flora y fauna permite evidenciar la biodiversidad presente y su función en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

El uso de herramientas SIG, como QGIS, junto con la recopilación de datos provenientes de plataformas oficiales (como CONAF, MMA) y ciudadanas (iNaturalist), facilita la construcción de un diagnóstico ambiental accesible, actual y visualmente comprensible. De esta manera, el estudio aporta tanto a la gestión ambiental local como a la sensibilización social sobre la conservación estos espacios, contribuyendo directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 11, 13 y 15.

En el marco del ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), estos ecosistemas funcionan como infraestructura natural que reduce riesgos de inundación, mejora la calidad ambiental y provee espacios verdes para la comunidad.

Respecto al ODS 13 (Acción por el clima), los humedales actúan como sumideros de carbono y fortalecen la adaptación frente a eventos climáticos extremos mediante su regulación hídrica.

Finalmente, en relación con el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), los humedales sostienen una alta biodiversidad y cumplen un rol clave en la conservación de especies y la mantención de procesos ecológicos esenciales en entornos urbanos.

Esta investigación busca fortalecer el conocimiento y la valoración de los humedales urbanos entregando evidencia científica.

## **1.9. FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS**

Para el análisis de biodiversidad y de presiones antrópicas en los humedales estudiados se emplearon diversas fuentes de información, tanto de ciencia ciudadana como de organismos oficiales y datos satelitales. A continuación, se describen las principales plataformas y documentos utilizados.

Se utiliza la plataforma iNaturalist como herramienta de ciencia ciudadana que proporciona registros georreferenciados de flora y fauna. Esta permite identificar especies reportadas por usuarios y verificadas por especialistas. Su uso facilita la construcción de un inventario preliminar para cada humedal, el cual complementa la información existente en otras fuentes oficiales.

A través del Catastro Nacional de Humedales se consultan los límites aproximados, la tipología y el contexto ecológico general de los humedales. Este instrumento permite contextualizar espacialmente cada área de estudio y validar su clasificación ecosistémica.

Las imágenes multitemporales del satélite Landsat son empleadas para el cálculo de índices espectrales (NDVI, NDWI y NDBI), con el fin de evaluar cambios en la cobertura vegetal, el contenido de humedad y la expansión urbana en el entorno de los humedales. Este insumo permite analizar tendencias y variaciones en las condiciones ambientales a lo largo del tiempo.

## **1.10. EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS A PARTIR DE LOS ÍNDICES NDVI, NDBI Y NDWI**

### **1.10.1. Imágenes satelitales para el cálculo de índices**

Las imágenes satelitales corresponden a registros multiespectrales obtenidos por los sensores Landsat 8 y Landsat 9, utilizados para el cálculo de índices espectrales orientados a la evaluación de la vegetación, la presencia de agua superficial y el grado de urbanización. Estas imágenes permiten analizar cambios espaciales y temporales en los humedales urbanos a partir de la reflectancia de la superficie terrestre, proporcionando información comparable en distintas estaciones del año y a lo largo de períodos prolongados. Su uso resulta especialmente relevante para el estudio de humedales costeros y periurbanos, al facilitar la identificación de dinámicas ecológicas y presiones antrópicas a escala temporal y territorial.

### **1.10.2. Índice NDVI (Índice Diferencial de Vegetación Normalizada)**

El índice NDVI se utilizará para medir el vigor y la densidad de vegetación. Si los valores son altos; significa que el humedal presenta una vegetación saludable. En cambio, si los valores son bajos; significaría que hay suelo desnudo, sin vegetación, áreas degradadas infraestructura o agua.

### **1.10.3. Índice NDBI (Índice Diferencial de Construcción Normalizada)**

El índice NDBI se utilizará para para detectar superficies construidas. Si los valores son altos; significaría que hay presencia de zonas urbanas, caminos o edificaciones. Este valor es útil para el análisis de la expansión urbana y fragmentación de los humedales.

### **1.10.4. Índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizada)**

El índice NDWI se utilizará para medir humedad superficial y cuerpos de agua en los humedales urbanos. Valores altos; significarían presencia de agua o humedad del suelo. Este índice indicara la retracción o expansión del espejo de agua y la humedad en transiciones vegetales; con relación a flora como totoras, junquillo y praderas húmedas.

**CAPITULO 2: CARACTERIZACION DE FLORA Y FAUNA**

## **2. CARACTERIZACIÓN DE BIODIVERSIDAD DE LOS HUMEDALES URBANOS LENGA Y PRICE**

El presente capítulo describe los procedimientos metodológicos utilizados para la caracterización de la biodiversidad de los humedales Lengua y Price. Se detallan las fuentes de información empleadas, los criterios de selección y depuración de los datos, así como las herramientas y procesos de análisis espacial aplicados para asegurar la coherencia y validez de los resultados obtenidos.

Dado que el estudio se basa en registros de presencia de especies provenientes de una plataforma de ciencia ciudadana, se adoptó un enfoque metodológico orientado a la evaluación de la diversidad biológica mediante la riqueza específica. En este contexto, el capítulo expone de manera sistemática el proceso seguido desde la obtención de los datos hasta la generación de los insumos finales utilizados en el análisis, considerando las limitaciones propias de este tipo de información y las decisiones metodológicas adoptadas para abordarlas.

### **2.1. FUENTE DE DATOS DE BIODIVERSIDAD**

La caracterización de la biodiversidad de los humedales Lengua y Price se realizó a partir de datos de presencia de especies obtenidos desde la plataforma iNaturalist, una base de datos de ciencia ciudadana que recopila observaciones georreferenciadas de organismos registradas por usuarios y validadas colaborativamente por la comunidad científica. Para el presente estudio, el proceso de descarga y filtrado de datos en iNaturalist consideró observaciones correspondientes a los siguientes grupos taxonómicos: aves, anfibios, reptiles, mamíferos, arácnidos, insectos y plantas, abarcando los principales componentes de la flora y fauna asociados a los humedales.

Se consideraron exclusivamente registros con nivel de calidad “Research Grade”, lo que asegura un mayor grado de confiabilidad en la identificación taxonómica. Cada observación incluye información básica como el nombre científico, la localización geográfica y la fecha de registro. Dado que los datos de iNaturalist corresponden a observaciones oportunistas y no a muestreos estandarizados, estos registros no permiten

obtener valores reales ni comparables de abundancia por especie. En consecuencia, la información fue utilizada bajo un enfoque de presencia de especies, adecuado para la caracterización general de la biodiversidad.

## **2.2. PROCESAMIENTO ESPACIAL Y FILTRADO EN QGIS**

El procesamiento espacial de las observaciones biológicas se realizó utilizando el software QGIS, con el objetivo de asegurar la correspondencia espacial entre los registros de biodiversidad y los límites de los humedales estudiados, así como de depurar los datos para su análisis posterior.

Las observaciones descargadas desde iNaturalist fueron importadas a QGIS y analizadas en un sistema de coordenadas común. Posteriormente, se realizó un proceso de delimitación espacial, seleccionando únicamente aquellas observaciones que intersectan el polígono de cada humedal, excluyendo registros localizados fuera del área de estudio. Este procedimiento garantizó que los datos analizados correspondieran efectivamente a los humedales Lenga y Price.

De manera complementaria, se mantuvo el filtro de calidad aplicado previamente, considerando solo registros con categoría Research Grade. El conjunto de observaciones resultante constituyó una capa depurada de registros biológicos, sobre la cual se realizaron los análisis posteriores.

## **2.3. CARACTERIZACIÓN DE FLORA Y FAUNA**

A partir de la capa depurada de observaciones, se generó una lista única de especies, eliminando los registros repetidos por nombre científico (`scientific_name`), de modo que cada especie estuviera representada por una sola fila. Este procedimiento permitió evitar la sobreestimación de la diversidad asociada a múltiples observaciones de una misma especie y trabajar bajo un enfoque de presencia/ausencia.

Posteriormente, las especies fueron clasificadas en flora y fauna según su grupo taxonómico, considerando los reinos Plantae y Animalia, respectivamente. Esta clasificación permitió calcular la riqueza específica total y la riqueza específica diferenciada por grupo biológico en cada humedal.

Finalmente, la lista consolidada de especies fue exportada a formato Excel, lo que facilitó el cálculo de la riqueza específica y la presentación de los resultados en una tabla resumen.

### 2.3.1. Resultados caracterización de flora y fauna

Se presentan los resultados obtenidos a partir de la caracterización de la biodiversidad de los humedales Lengua y Price, basada en el análisis de la riqueza específica de flora y fauna. Los resultados se exponen de manera descriptiva, considerando la riqueza total de especies y su distribución por grupo biológico en cada humedal, a partir de los registros validados y delimitados espacialmente según los criterios metodológicos establecidos.

### 2.3.2. Riqueza específica por humedal

La riqueza específica fue calculada a partir de una tabla de especies únicas, organizada por humedal y grupo biológico, a partir de registros validados de iNaturalist y filtrados en QGIS

Tabla 2-1. Cantidad de especies de flora y fauna por humedal

Humedal	Fauna	Flora	Total
Price	35	24	59
Lengua	112	91	203
Total	147	115	262

La caracterización de la biodiversidad de los humedales Lengua y Price permitió identificar diferencias claras en la riqueza específica total y por grupo biológico. En el humedal Lengua se registró una riqueza total de 203 especies, de las cuales 112 correspondieron a

fauna (Animalia) y 91 a flora (Plantae). En contraste, el humedal Price presentó una riqueza total de 59 especies, con 35 especies de fauna y 24 especies de flora.

Considerando ambos humedales en conjunto, se identificaron 262 especies, de las cuales 147 correspondieron a fauna y 115 a flora. En ambos humedales, la riqueza de fauna fue superior a la de flora, representando el mayor número de especies registradas.

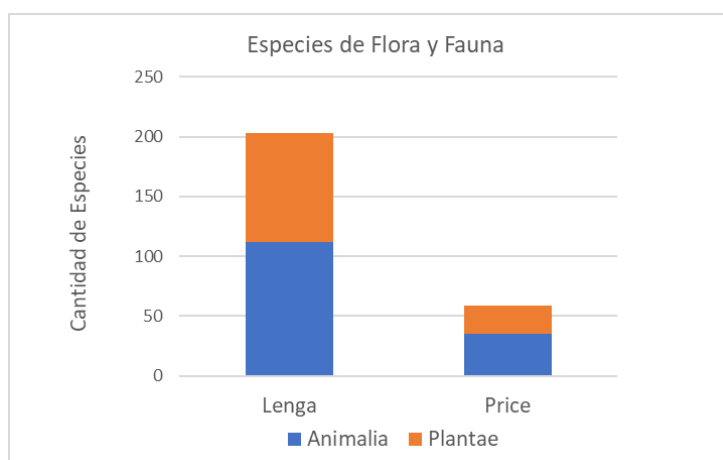


Gráfico 2-1. Cantidad de Especies de Flora y Fauna por humedal

### 2.3.3. Especies de interés ecológico

Con el fin de complementar el análisis cuantitativo de la riqueza específica, se identificaron especies de interés ecológico presentes en los humedales Lenga y Price. La selección se realizó a partir de criterios ecológicos y de conservación para destacar especies relevantes para la comprensión del estado ecológico y el valor biológico de los humedales. Se consideraron especies nativas representativas de ambientes de humedal, especies con categoría de conservación, especies endémicas, especies introducidas y especies migratorias. Este enfoque permite incorporar una dimensión cualitativa al análisis, resaltando la importancia ecológica y de conservación de determinadas especies más allá del número total de especies registradas.

#### 2.3.3.1. Criterios de selección

a. Especies nativas representativas de humedales:

Son propias de los ecosistemas locales que presentan una estrecha asociación con ambientes húmedos y ribereños, cumpliendo funciones ecológicas clave y actuando como indicadores de la integridad del ecosistema.

b. Especies con categoría de conservación:

Cuentan con una categoría de conservación reconocida a nivel nacional o global, lo que las convierte en elementos prioritarios para la gestión y conservación de los humedales.

c. Especies endémicas:

Su distribución geográfica se encuentra restringida a un área determinada, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a la pérdida o degradación del hábitat.

d. Especies introducidas:

Especies no nativas presentes en los humedales, tienen un potencial impacto sobre la biodiversidad nativa y el funcionamiento del ecosistema.

e. Especies migratorias:

Estas utilizan los humedales de manera temporal durante sus ciclos migratorios, destacando el rol de estos ecosistemas como áreas de descanso, alimentación o reproducción a escala regional o continental.

Las fuentes de información para la caracterización de las especies se obtuvieron de fuentes oficiales como MMA, SAG, IUCN, CONAF.

## **2.5. ESPECIES DESTACADAS HUMEDAL PRICE**

La presencia de estas especies de interés ecológico aporta antecedentes relevantes para la interpretación del estado de conservación y las presiones antrópicas que afectan al ecosistema del humedal

Tabla 2-2. Especies de interés ecológico registrada correspondiente a flora y fauna en el humedal Price

Nombre científico	Grupo	Criterio de interés	Descripción
<i>Carex chilensis</i>	Flora	Endémica	Planta herbácea, típica de orillas de cuerpos de agua, estabiliza el suelo y retiene sedimentos
<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	Flora	Nativa	Arbusto, provee cobertura y refugio para fauna
<i>Alisma lanceolatum</i>	Flora	Nativa	Hidrofita, indicadora de ambientes palustres
<i>Lemna minuta</i>	Flora	Nativa	Macrofita, clave en la dinámica trófica y en la oxigenación superficial
<i>Phleocryptes melanops</i> (Siete colores)	Fauna	Nativa	Asociada a juncales, indicador de integridad ecológica
<i>Pardirallus sanguinolentus</i> (Piden)	Fauna	Nativa	Sensible a la pérdida de cobertura vegetal
<i>Anas georgica</i> (Pato jergon grande)	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Myocastor coypus</i> (Coipo)	Fauna	Nativa	Mamífero semiacuático, modifica la vegetación palustre
<i>Phytotoma rara</i> (Rara)	Fauna	Conservación / Endémica	Ave en estado “vulnerable”; afectada por pérdida de hábitat. Asociada a matorrales y bordes de humedales.
<i>Callisphyrus macropus</i>	Fauna	Nativa / Conservación	Escarabajo sensible a fragmentación
<i>Eriopsis chilensis</i> (chinita)	Fauna	Endémica	Controlador biológico
<i>Rhyephene humeralis</i> (Burrito)	Fauna	Endémica	Coleóptero descomponedor de materia vegetal
<i>Liolaemus tenuis</i>	Fauna	Endémica	Regulador de poblaciones de insectos y presa, presa y aves y depredadores
<i>Chilesia rudis</i> (cuncuna colorada-mariposa)	Fauna	Endémica	Larva; herbívora, parte de la cadena trófica. Mariposa / polilla; polinizadora.
<i>Vinca major</i>	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa
<i>Veronica persica</i>	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa
<i>Ranunculus repens</i>	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa
<i>Conium maculatum</i>	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa

Salix caprea	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa
Salix babylonica	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa
Zantedeschia aethiopica	Flora	Introducida	Intervención antrópica, modificación del régimen hídrico y reemplazo de vegetación nativa
Eschscholzia californica	Flora	Introducida	Alto potencial de expansión afectando la estructura del ecosistema
Echium plantagineum	Flora	Introducida	Alto potencial de expansión afectando la estructura del ecosistema
Lupinus arboreus	Flora	Introducida	Alto potencial de expansión desplazando flora nativa
Ardea alga (Garza grande)	Fauna	Migratoria	Ave acuática con movimientos estacionales
Cinclodes fuscus	Fauna	Migratoria	Ave con desplazamientos latitudinales
Leistes loyca	Fauna	Migratoria	Ave de migración parcial, frecuentemente en ambientes abiertos y humedales
Spinus barbatus (jilgero)	Fauna	Migratoria	Movimientos estacionales asociados a disponibilidad de recursos

### 2.5.1. Flora Humedal Price

Entre las especies nativas representativas, destaca *Carex chilensis*, especie típica de ambientes palustres que cumple un rol fundamental en la estabilización de suelos y en la retención de sedimentos. Asimismo, *Muehlenbeckia hastulata* y *Alisma lanceolatum* se asocian a bordes de humedal y zonas inundables, aportando estructura vegetal y microhábitats para la fauna. La presencia de *Lemna minuta*, macrófita flotante, es relevante en la dinámica trófica del humedal, al influir en procesos de oxigenación superficial y disponibilidad de nutrientes.

En contraste, se registra un número significativo de especies exóticas e introducidas, tales como *Vinca major*, *Veronica persica*, *Ranunculus repens*, *Zantedeschia aethiopica*, *Conium maculatum*, *Salix caprea* y *Salix babylonica*. Estas especies se encuentran comúnmente asociadas a ambientes alterados y bordes urbanos, y su presencia indica procesos de intervención antrópica, modificación del régimen hidrológico y reemplazo de la vegetación nativa.

Algunas especies introducidas, como *Echium plantagineum*, *Eschscholzia californica* y *Lupinus arboreus*, presentan un alto potencial de expansión, lo que puede afectar la

composición y funcionalidad del ecosistema, particularmente en sectores con disturbio recurrente.

### 2.5.2. Fauna Humedal Price

Entre las especies nativas representativas, se identifican *Phleocryptes melanops*, ave especialista de juncales y vegetación palustre, cuya presencia sugiere la existencia de sectores con estructura vegetal adecuada. De igual forma, *Pardirallus sanguinolentus* y *Anas georgica* evidencian la importancia del humedal como área de refugio, alimentación y reproducción para aves acuáticas residentes.

La presencia de *Myocastor coypus*, mamífero semiacuático nativo, destaca por su rol como ingeniero ecosistémico, ya que modifica la vegetación y estructura del humedal mediante sus hábitos alimenticios y de desplazamiento. No obstante, en contextos urbanos su abundancia puede generar efectos negativos localizados sobre la vegetación palustre.

Respecto a las especies con categoría de conservación, se registra *Phytotoma rara*, ave endémica de Chile clasificada como Vulnerable a nivel nacional. Su presencia reviste especial importancia para la conservación, dado que esta especie se ve afectada por la pérdida y fragmentación de hábitat, siendo los humedales urbanos remanentes áreas clave para su persistencia.

Asimismo, se identifican especies migratorias o de movimientos estacionales, como *Ardea alba*, *Cinclodes fuscus*, *Spinus barbatus* y *Leistes loyca*, lo que refuerza el rol del humedal Price como sitio de uso temporal dentro de redes ecológicas de mayor escala.

### 2.5.3. Biodiversidad del humedal Price

En conjunto, la composición de flora y fauna del humedal Price refleja un ecosistema urbano sometido a múltiples presiones antrópicas, pero que aún mantiene elementos de alto valor ecológico y de conservación. La coexistencia de especies nativas especialistas, especies endémicas y especies introducidas evidencia un estado de transición ecológica, en el cual la conservación y manejo adecuado del humedal resulta fundamental para preservar su funcionalidad y biodiversidad.

## 2.6. ESPECIES DESTACADAS HUMEDAL LENGA

La presencia de estas especies de interés ecológico aporta antecedentes relevantes para la interpretación del estado de conservación y las presiones antrópicas que afectan al ecosistema del humedal

Tabla 2-3. Especies de interés ecológico registrada correspondiente a flora y fauna del humedal Lengua

Nombre científico	Grupo	Criterio de interés	Descripción
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Schoenoplectus pungens</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Salicornia neei</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Carex brongniartii</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Carex fuscua</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Carex bonariensis</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Carex bracteosa</i>	Flora	Nativa	Contribuyen a la estabilización del sustrato, regulación hídrica y refugio para fauna acuática
<i>Equisetum giganteum</i>	Flora	Nativa	Indicadoras de condiciones palustres por presencia en sectores inundados
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Flora	Nativa	Indicadoras de condiciones palustres por presencia en sectores inundados
<i>Azolla filiculoides</i>	Flora	Nativa	Indicadoras de condiciones palustres por presencia en sectores inundados
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Flora	Nativa	Indicadoras de condiciones palustres por presencia en sectores inundados
<i>Anas georgica</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Anas flavirostris</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Mareca sibilatrix</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Spatula cyanoptera</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Spatula platalea</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales

<i>Fulica armillata</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Podilymbus podiceps</i>	Fauna	Nativa	Ave acuática, residente de humedales
<i>Phleocryptes melanops</i>	Fauna	Nativa	Ave especialista, evidencia presencia de juncales y vegetación palustre
<i>Tachuris rubrigastra</i>	Fauna	Nativa	Ave especialista, evidencia presencia de juncales y vegetación palustre
<i>Cygnus melancoryphus</i>	Fauna	Nativa	Ave especialista, evidencia presencia de juncales y vegetación palustre. Indicador clave de salud ecosistémica
<i>Phoenicopterus chilensis</i>	Fauna	Conservación	Estado: “Casi amenazada” y protegida a nacional
<i>Calyptocephalella gayi</i>	Fauna	Conservación / Endémica	Estado: “Vulnerable” anfibio dependiente de ambientes acuáticos bien conservados
<i>Pitavia punctata</i>	Flora	Conservación / Endémica	Estado: “Vulnerable”
<i>Lapageria rosea</i>	Flora	Conservación / Endémica	Emblemática de la flora chilena con valor de conservación y cultural
<i>Puya chilensis</i>	Flora	Endémica	Bromeliácea endémica de Chile, propia de matorrales y laderas rocosas, relevante como recurso para polinizadores.
<i>Fuchsia magellanica</i>	Flora	Endémica	Arbusto asociado a ambientes ribereños y húmedos, importante para aves e insectos polinizadores.
<i>Peumus boldus</i>	Flora	Endémica	Árbol del bosque esclerófilo, característico de quebradas y sectores con mayor humedad
<i>Lithraea caustica</i>	Flora	Endémica	Árbol de matorral y bosque esclerófilo de Chile central, indicador de ambientes mediterráneos
<i>Alstroemeria ligtu</i>	Flora	Endémica	Hierba de praderas y claros de matorral, con alto valor florístico
<i>Alstroemeria hookeri</i>	Flora	Endémica	Especie herbácea del centro-sur de Chile, presente en suelos abiertos y bien drenados
<i>Phycella australis</i>	Flora	Endémica	Asociada a praderas húmedas y sectores abiertos
<i>Jovellana violacea</i>	Flora	Endémica	Hierba de ambientes húmedos y sombríos, como bordes de bosque y quebradas
<i>Herbertia lahue</i>	Flora	Endémica	De praderas húmedas del sur de Chile, con floración estacional
<i>Arachnitis uniflora</i>	Flora	Endémica	Planta de bosques húmedos, indicadora de ecosistemas poco alterados.
<i>Liolaemus chiliensis</i>	Fauna	Endémica	Presentan una distribución restringida y alta sensibilidad a la fragmentación del hábitat
<i>Liolaemus lemniscatus</i>	Fauna	Endémica	Presentan una distribución restringida y alta sensibilidad a la fragmentación del hábitat
<i>Rhyephenes humeralis</i>	Fauna	Endémica	Presentan una distribución restringida y alta sensibilidad a la fragmentación del hábitat

<i>Chilesia rudis</i>	Fauna	Endémica	Presentan una distribución restringida y alta sensibilidad a la fragmentación del hábitat
<i>Eucalyptus globulus</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Eucalyptus nitens</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Vinca major</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Echium plantagineum</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Lupinus arboreus</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Geranium molle</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Sherardia arvensis</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Trifolium campestre</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Trifolium angustifolium</i>	Flora	Introducida	Colonizan sectores disturbados y bordes de humedal desplazando a la vegetación nativa
<i>Bombus terrestris</i>	Fauna	Introducida	Invasor e impactos documentados sobre polinizadores e insectos nativos
<i>Harmonia axyridis</i>	Fauna	Introducida	Invasor e impactos documentados sobre polinizadores e insectos nativos
<i>Passer domesticus</i>	Fauna	Introducida	Ave adaptada a entornos antropizados
<i>Numenius hudsonicus</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave
<i>Tringa melanoleuca</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave
<i>Tringa flavipes</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave
<i>Rynchops niger</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave
<i>Thalasseus elegans</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave
<i>Leucophaeus pipixcan</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave
<i>Plegadis chihi.</i>	Fauna	Migratorias	Utilizan el humedal de manera estacional, siendo un sitio clave

### 2.6.1. Flora Humedal Lenga

El catastro de flora del humedal Lenga evidencia una alta diversidad de especies vegetales, asociadas principalmente a ambientes palustres, marismas costeras, bordes inundables y sectores de transición con matorral y bosque esclerófilo. Predominan especies nativas, incluyendo un número relevante de endémicas de Chile, junto con la presencia de especies exóticas e introducidas.

Entre las especies características del humedal y sus bordes destacan macrófitas y plantas higrófilas como *Schoenoplectus californicus*, *Schoenoplectus pungens*, *Salicornia neei*, *Carex brongniartii*, *Carex fuscua*, *Carex bonariensis* y *Carex bracteosa*, las cuales cumplen un rol fundamental en la regulación hídrica, estabilización del sustrato y provisión de hábitat para fauna acuática y semiacuática.

Asimismo, se registran especies nativas de alto valor ecológico como *Equisetum giganteum*, *Myriophyllum aquaticum*, *Azolla filiculoides*, *Hydrocotyle ranunculoides* y *Ficinia nodosa*, indicadoras de condiciones de inundación permanente o estacional. La presencia de flora endémica como *Puya chilensis*, *Peumus boldus*, *Lithraea caustica*, *Alstroemeria ligtu*, *Alstroemeria hookeri*, *Phycella australis*, *Herbertia lahue* y *Arachnitis uniflora* refuerza la relevancia del humedal Lenga como sitio de conservación de la biodiversidad regional.

Por otro lado, se identifican especies exóticas e introducidas como *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, *Zantedeschia aethiopica*, *Vinca major*, *Echium plantagineum*, *Lupinus arboreus*, *Trifolium campestre* y *Trifolium angustifolium*, cuya presencia se asocia principalmente a sectores alterados y bordes del humedal, representando un factor de presión sobre la vegetación nativa.

### 2.6.2. Fauna Humedal Lenga

El registro de fauna del humedal Lenga muestra una alta riqueza de especies, con un claro predominio del grupo de las aves, seguido por insectos, reptiles y anfibios. El catastro de especies de interés ecológico refleja la función del humedal como sitio de alimentación, reproducción y descanso, tanto para especies residentes como migratorias.

Entre las aves acuáticas y asociadas a humedales destacan especies nativas como *Anas georgica*, *Anas flavirostris*, *Mareca sibilatrix*, *Spatula cyanoptera*, *Spatula platalea*, *Fulica armillata*, *Podilymbus podiceps* y *Cygnus melancoryphus*, las cuales utilizan el humedal

de manera permanente. Asimismo, especies como *Phleocryptes melanops* y *Tachuris rubrigastra* evidencian la presencia de vegetación palustre bien estructurada.

El humedal Lenga cumple además un rol clave para aves migratorias, registrándose especies como *Numenius hudsonicus*, *Tringa melanoleuca*, *Tringa flavipes*, *Rynchops niger*, *Thalasseus elegans*, *Leucophaeus pipixcan* y *Plegadis chihi*, lo que confirma su importancia dentro de las rutas migratorias del Pacífico sudoriental.

Desde una perspectiva de conservación, destaca la presencia de *Phoenicopterus chilensis*, especie clasificada como Casi Amenazada, y *Calyptocephalella gayi*, anfibio endémico de Chile clasificado como Vulnerable, ambas altamente dependientes de humedales bien conservados. También se registran reptiles como *Liolaemus chiliensis* y *Liolaemus lemniscatus*, así como una elevada diversidad de insectos nativos, particularmente polinizadores.

Finalmente, se identifican especies exóticas e invasoras como *Bombus terrestris*, *Harmonia axyridis* y *Passer domesticus*, asociadas a ambientes urbanos y perturbados, las cuales representan una potencial amenaza para la fauna nativa del humedal.

### 2.6.3. Biodiversidad humedal Lenga

En conjunto, la flora y fauna del humedal Lenga evidencian un ecosistema de alta diversidad biológica y elevado valor de conservación, caracterizado por la coexistencia de especies nativas especialistas, endémicas y migratorias, junto con un número considerable de especies introducidas. Esta composición refleja tanto la importancia ecológica del humedal como las presiones antrópicas a las que se encuentra sometido, reforzando la necesidad de estrategias de conservación y manejo integrales.

## 2.7. COMPARACIÓN ENTRE LOS HUMEDALES URBANOS LENGAY PRICE

El análisis comparativo de la biodiversidad de especies destacadas por ser de interés ecológico registrada en los humedales Lenga y Price evidencia diferencias significativas en la composición de flora y fauna, las cuales se explican principalmente por el grado de

conectividad ecológica, la extensión del humedal, el nivel de intervención antrópica y el contexto paisajístico en el que se insertan.

En términos de flora, el humedal Lenga presenta una mayor diversidad de especies nativas y endémicas, particularmente asociadas a ambientes palustres y marismas costeras, tales como *Schoenoplectus californicus*, *Salicornia neei*, *Carex* spp. y *Ficinia nodosa*. Esta composición refleja una estructura vegetal más compleja y continua, favorecida por su mayor extensión y conectividad con sistemas costeros y cuerpos de agua adyacentes. En contraste, el humedal Price muestra una flora con mayor presencia relativa de especies introducidas y exóticas, especialmente en sus bordes, lo que se asocia a un mayor grado de fragmentación y presión urbana.

Respecto a la fauna, ambos humedales cumplen un rol relevante como hábitat para aves acuáticas y terrestres; sin embargo, el humedal Lenga destaca por albergar una mayor riqueza de aves migratorias y especies de interés para la conservación, incluyendo registros de *Phoenicopterus chilensis*, *Numenius hudsonicus* y *Tringa* spp., lo que lo posiciona como un sitio clave dentro de las rutas migratorias del Pacífico sudoriental. Por su parte, el humedal Price presenta una fauna más representativa de ambientes urbanos, con predominio de especies generalistas y una menor proporción de especies migratorias de largo alcance.

En relación con la presencia de especies introducidas en ambos humedales; su incidencia es más evidente en el humedal Price, donde especies como *Harmonia axyridis*, *Bombus terrestris* y flora ornamental o asilvestrada reflejan una mayor influencia antrópica directa. En el humedal Lenga, si bien se detectan especies invasoras, estas coexisten con una matriz ecológica más robusta, lo que atenúa parcialmente sus efectos.

En conjunto, los resultados indican que el humedal Lenga conserva una mayor integridad ecológica, expresada en una mayor diversidad nativa, presencia de especies endémicas y migratorias, y una estructura vegetal más funcional. El humedal Price, en cambio, cumple un rol relevante a escala local como refugio de biodiversidad urbana, aunque con una mayor susceptibilidad a procesos de degradación. Estas diferencias evidencian la necesidad de estrategias de gestión diferenciadas, acordes a las características ecológicas y presiones específicas de cada humedal.

**CAPITULO 3: EVALUACION DE PRESIONES ANTROPICAS**

### **3. EVALUACIÓN DE PRESIONES ANTRÓPICAS**

Se evalúa la presión que ejerce la actividad humana sobre los humedales urbanos Lenga y Price para esto se requiere información espacial y temporal consistente que permita detectar cambios en la vegetación, el régimen hídrico y la presión antrópica. En este contexto, las imágenes satelitales Landsat 8 y Landsat 9, desarrolladas por la NASA y el USGS, constituyen una fuente de datos ampliamente validada para el estudio multitemporal de ecosistemas urbanos y periurbanos, debido a su continuidad histórica, resolución espacial adecuada y acceso abierto.

Las imágenes Landsat 8–9 utilizadas en este estudio corresponden a productos Level-2, los cuales entregan valores de reflectancia de superficie corregidos atmosféricamente, condición indispensable para la comparación temporal de índices espectrales. Estas imágenes fueron procesadas en el software de código abierto QGIS, herramienta que permite la gestión, análisis y visualización de información geoespacial, así como el cálculo de índices espectrales a partir de imágenes multibanda.

QGIS permite trabajar directamente con las bandas espectrales de Landsat mediante la carga individual de cada banda multiespectral correspondiente. Cada banda representa la respuesta espectral de la superficie terrestre en un rango específico del espectro electromagnético, lo que permite discriminar distintos tipos de cobertura del suelo.

En el entorno de QGIS, las bandas Landsat son integradas como capas ráster y procesadas mediante la herramienta Calculadora Raster, que posibilita la aplicación de expresiones matemáticas píxel a píxel. Este enfoque es particularmente adecuado para el cálculo de índices normalizados, ya que cada valor resultante representa el comportamiento espectral de un píxel de  $30 \times 30$  m, lo que permite obtener métricas espaciales y estadísticas a escala de humedal.

#### **3.1. INDICES PARA LA EVALUACION DE PRESIONES ANTRÓPICAS**

##### **3.1.1. Índice Diferencial de Vegetacion Normalizada (NDVI)**

Calculado a partir de las bandas Roja (B4) e Infrarrojo Cercano (B5), el NDVI permite

evaluar el vigor y la densidad de la cobertura vegetal. En humedales urbanos, este índice es particularmente útil para detectar cambios en la vegetación hidrófila, pérdida de cobertura vegetal y alteraciones asociadas a la intervención humana.

### 3.1.2. Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI)

Calculado utilizando las bandas Verde (B3) e Infrarrojo Cercano (B5), el NDWI permite estimar la presencia y disponibilidad relativa de agua superficial y humedad del suelo. En el contexto de humedales urbanos, este índice es clave para identificar variaciones estacionales en el pulso hidrológico y posibles alteraciones asociadas a drenajes, rellenos o modificaciones en la conectividad hídrica.

### 3.1.3. Índice Diferencial de Construcción Normalizada (NDBI)

Derivado de las bandas Infrarrojo de Onda Corta (B6) e Infrarrojo Cercano (B5), el NDBI permite identificar superficies construidas y áreas impermeabilizadas. Su aplicación en humedales urbanos resulta fundamental para evaluar la presión antrópica en el entorno inmediato del humedal y su evolución temporal.

## **3.2. METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LOS INDICES**

El estudio a partir de los índices se hará en un periodo de doce años; del 2014 al 2025. Se utilizarán seis imágenes satelitales por año considerando imágenes con una cobertura de nubes menor o igual a un 30%, priorizando las que se observen más despejadas en la zona donde se encuentra el humedal, por lo que a pesar de que los humedales se encuentran en áreas cercanas, ambos en la comuna de Hualpén, se descargaron imágenes/datos para cada humedal.

Las seis imágenes por año se seleccionaron considerando dos estaciones del año, tres imágenes de verano y tres de invierno por año.

Se obtiene un mínimo que corresponde al píxel con el valor más bajo del índice, un máximo correspondiente al píxel con el valor más alto y un valor promedio que es la media

de todos los valores de los píxeles dentro del área, este valor resume la evolución general del humedal.

La evaluación de los índices NDVI, NDWI y NDBI se realizó considerando tanto sus valores promedio como su comportamiento temporal y estacional. Los resultados interpretados se definieron en función de la literatura y el contexto de humedales urbanos, permitiendo identificar cambios en el vigor vegetal, la dinámica hídrica y la presión antrópica.

### 3.2.1. Delimitación de polígonos para el cálculo de índices

Los polígonos utilizados para conseguir los valores de los índices están basados en la limitación espacial definida en el portal SIMBIO.

Con el fin de evaluar la influencia del entorno inmediato sobre el estado ecológico de los humedales, se definió una zona buffer de 500(m) alrededor del perímetro de cada humedal. Esta zona de influencia permitió incorporar el área de transición entre el humedal y la zona circundante, donde se concentran procesos antrópicos que pueden afectar indirectamente su funcionamiento ecológico, tales como la urbanización, la presencia de infraestructura y los cambios en el uso de suelo.

La zona buffer de 500(m) fue utilizada exclusivamente para el cálculo del Índice Normalizado de Diferencia de Construcción (NDBI), con el objetivo de caracterizar el grado de artificialización y presión antrópica presente en el entorno del humedal. Este enfoque permitió evaluar la influencia del desarrollo urbano y de superficies construidas adyacentes, sin incorporar el área del humedal propiamente tal.

En contraste, el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y del Índice Normalizado de Diferencia de Agua (NDWI) se realizó utilizando un polígono que considera únicamente el área del humedal, dado que estos índices están directamente asociados a la cobertura vegetal y a la presencia de agua superficial dentro del ecosistema. Este criterio permitió una evaluación más precisa de las condiciones ecológicas internas del humedal, evitando la influencia de áreas externas que podrían distorsionar la interpretación de estos índices.

La aplicación diferenciada del buffer y del polígono del humedal en el análisis de los índices espectrales permitió integrar información sobre el estado interno del humedal y las presiones externas de su entorno inmediato, aportando una visión más integral de su condición ecológica.

### 3.2.1.1. Polígonos utilizados para el humedal Price

- a. Polígono Humedal Price utilizado para el cálculo de NDVI y NDWI.



Figura 3-1. Polígono delimitado Humedal Price en QGIS

Fuente: Open Street Maps delimitado con QGIS

- b. Polígono Humedal Price utilizado para el cálculo de NDBI, corresponde al buffer de 500(m) alrededor del humedal.

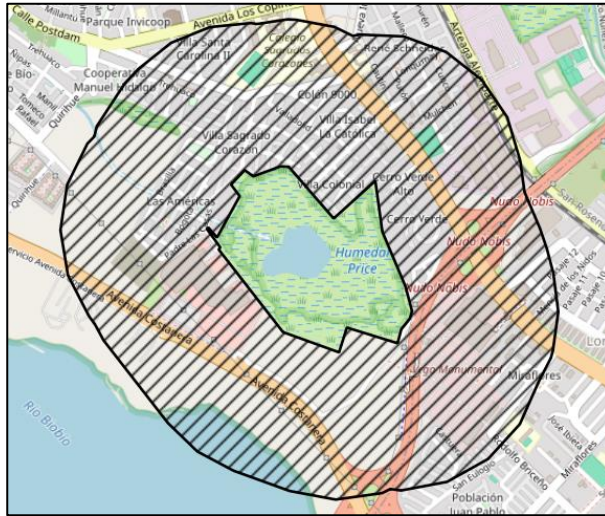


Figura 3-2. Polígono zona buffer Humedal Price delimitado en QGIS

Fuente: Open Street Maps delimitado con QGIS

### 3.2.1.2. Polígonos utilizados para el humedal Lengá

- a. Polígono Humedal Lengá utilizado para el cálculo de NDVI y NDWI.



Figura 3-3. Polígono delimitado humedal Lengá en QGIS

Fuente: Open Street Maps delimitado con QGIS

- b. Polígono Humedal Lengua utilizado para el cálculo de NDBI, corresponde al buffer de 500(m) alrededor del humedal.

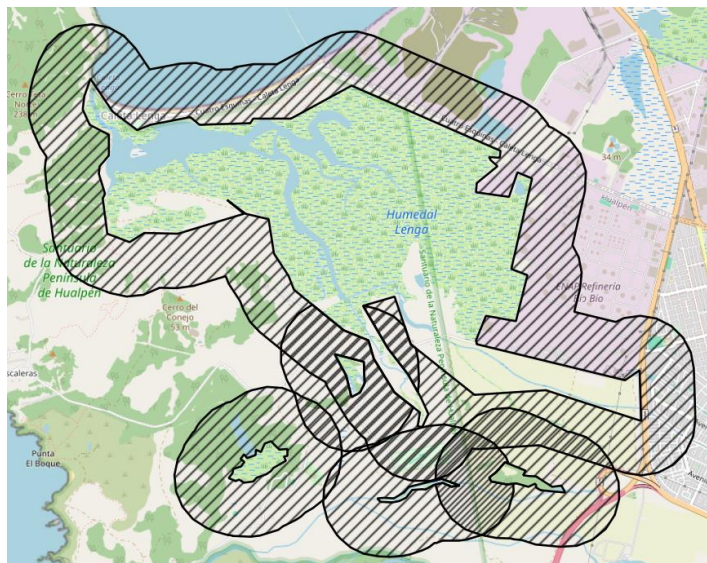


Figura 3-4. Polígono zona buffer Humedal Lengua delimitado en QGIS

Fuente: Open Street Maps delimitado con QGIS

### **3.3. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES**

#### **3.3.1. Pauta para evaluar NDVI**

Tabla 3-1. Criterios evaluación NDVI

NDVI		
Promedio bajo	<0.2	Superficies degradadas, rellenos, infraestructura o vegetación estresada
Promedio medio	0.2 a 0.4	Vegetación emergente, pero con presión antrópica
Promedio alto	>0.4	Vegetación palustre densa, sitio conservado

### 3.3.1.1. Interpretación del índice NDVI

- a. Si hay una disminución del NDVI promedio en el tiempo significa una degradación progresiva en la vegetación.
- b. Si hay una reducción de la diferencia estacional significa que hay pérdida en el pulso fenológico natural.

### 3.3.2. Pauta para evaluar NDWI

Tabla 3-2. Criterios evaluación NDWI

NDWI		
Promedio positivo	>0	Presencia de agua permanente
Promedio ligeramente negativo	-0.1 a 0	Humedal funcional con vegetación emergente
Promedio muy negativo	< -0.2	Deseccación, rellenos, drenajes o pérdida de conectividad hídrica

### 3.3.2.1. Interpretación del índice NDWI

- a. Si NDWI promedio en invierno es más negativo en comparación a otros inviernos significa que hay una menor recarga hídrica.
- b. Si la diferencia de NDWI (entre verano e invierno) es cada vez más positivo en el tiempo significa que hay una pérdida del pulso hidrológico estacional.

### 3.3.3. Pauta para evaluar NDBI

Tabla 3-3. Criterios evaluación NDBI

NDBI	
Promedio negativo	Predominio natural de vegetación y agua
Promedio cercano a 0	Zona de transición urbano-natural
Promedio positivo	Presencia de infraestructura, rellenos y caminos

#### 3.3.3.1. Interpretación del índice NDBI

- a. Si hay un aumento sostenido del NDBI en el tiempo significa que hay expansión urbana.
- b. Si la diferencia de NDBI (entre verano e invierno) es creciente en el tiempo significa intensificación de la presión antrópica.

#### 3.3.4. Criterios integrados de los índices

- a. Señales de que hay un buen estado ecológico; el índice NDVI será de medio a alto, un NDWI estable y NDBI bajo y estable.
- b. Señales de impacto antrópico; el índice NDVI será bajo o en descenso, un NDWI cada vez más negativo en el tiempo y un NDBI positivo y creciente.
- c. El impacto antrópico se confirma cuando el aumento de NDBI coincide con la disminución del NDVI y del NDWI en el mismo periodo temporal.

### 3.4. EVALUACIÓN DE DIFERENCIA ESTACIONAL

El análisis de los índices NDVI, NDWI y NDBI se realizó a partir de la comparación estacional entre los periodos de verano e invierno, con el objetivo de aislar la variabilidad

natural del sistema y detectar de manera más precisa las señales asociadas a la intervención antrópica. Los humedales presentan una dinámica intrínsecamente estacional, determinada por factores climáticos, hidrológicos y fenológicos, por lo que el análisis de valores absolutos puede enmascarar cambios estructurales de largo plazo si no se considera dicha variabilidad.

La diferencia estacional de los índices permite capturar la amplitud del pulso ecológico del humedal, entendido como la variación natural entre periodos de alta y baja productividad vegetal, disponibilidad hídrica y cobertura superficial. En sistemas húmedos funcionales, se espera que el NDVI presente incrementos en verano y el NDWI en invierno, reflejando el ciclo natural de crecimiento vegetal y recarga hídrica. Por el contrario, la reducción de esta amplitud estacional constituye una señal de alteración del funcionamiento ecosistémico.

En el caso del NDVI, la diferencia entre verano e invierno refleja la intensidad del pulso fenológico anual. Una disminución progresiva de esta diferencia indica una pérdida de vigor de la vegetación, lo que puede asociarse a estrés hídrico, fragmentación del hábitat o alteraciones físicas del humedal. Por tanto, el análisis de la diferencia estacional del NDVI permite evaluar cambios en la funcionalidad ecológica más allá de fluctuaciones climáticas interanuales.

Respecto al NDWI, la diferencia estacional representa la capacidad del humedal para almacenar y liberar agua a lo largo del año. En condiciones naturales, el humedal presenta mayores valores de humedad durante el invierno, disminuyendo en verano. Una reducción de esta diferencia sugiere una pérdida del pulso hidrológico, potencialmente asociada a drenajes artificiales, rellenos, modificaciones del régimen de esorrentía o impermeabilización del entorno. En este sentido, la diferencia estacional del NDWI constituye un indicador sensible de alteración hidrológica.

En contraste, el NDBI que representa superficies construidas, no responde principalmente a la estacionalidad climática, sino a cambios estructurales del territorio. Sin embargo, su diferencia estacional permite identificar la persistencia y consolidación de la cobertura antrópica en el tiempo, reduciendo el efecto de condiciones atmosféricas o variaciones temporales en la reflectancia. Un aumento sostenido de la diferencia estacional del NDBI indica una intensificación de la presión urbana en el área de influencia del humedal.

En conjunto, el uso de la diferencia estacional de los índices NDVI, NDWI y NDBI permite normalizar la variabilidad natural del sistema, reducir el ruido asociado a condiciones atmosféricas puntuales y fortalecer la capacidad del análisis para detectar tendencias de degradación o transformación antrópica. Este enfoque resulta especialmente

adecuado para el estudio de humedales urbanos, donde los procesos naturales y las presiones antrópicas coexisten y se superponen en escalas temporales iguales.

### **3.5. HUMEDAL PRICE**

#### **3.5.1. Resultados NDVI**

Los Índices de NDVI para el humedal Price corresponden al promedio de los 3 valores obtenidos por estación; invierno y verano, desde 2014 al 2025.

Tabla 3-4. Valores NDVI invierno-verano

NDVI PROMEDIO		
AÑO	INVIERNO	VERANO
2014	0,1276	0,1748
2015	0,1042	0,1935
2016	0,1302	0,1951
2017	0,1339	0,1954
2018	0,1261	0,1955
2019	0,1220	0,1812
2020	0,1234	0,1507
2021	0,1466	0,1923
2022	0,1264	0,1824
2023	0,1234	0,1832
2024	0,1276	0,1866
2025	0,1441	0,1659

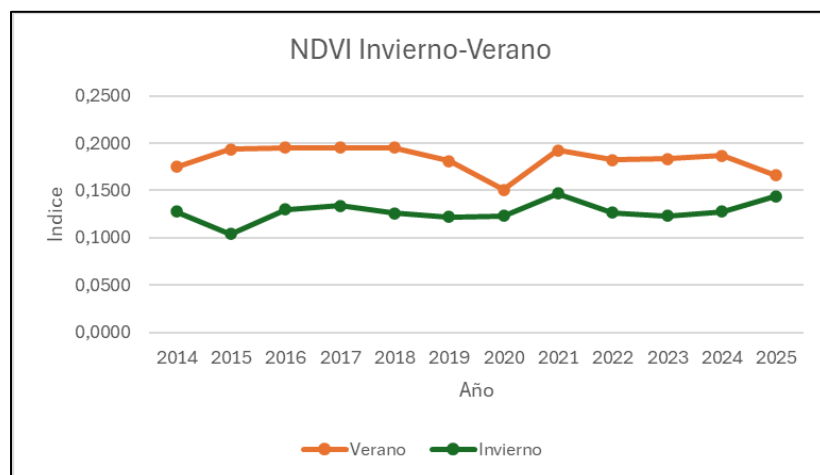


Figura 3-5. Valores NDVI invierno-verano

El NDVI presenta valores consistentemente mayores en verano que en invierno durante todo el período analizado, lo que refleja un patrón fenológico bien definido y una mayor productividad vegetal en comparación con el humedal Lengua. Los valores estivales alcanzan magnitudes superiores a 0,19 en varios años, indicando una cobertura vegetal más densa y vigorosa.

#### 3.5.1.1. Diferencia Estacional entre invierno y verano

Tabla 3-5. Diferencia NDVI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional

NDVI			
Año	Verano	Invierno	Diferencia
2025	0,1659	0,1441	0,0218
2024	0,1866	0,1276	0,0590
2023	0,1832	0,1234	0,0598
2022	0,1824	0,1264	0,0560
2021	0,1923	0,1466	0,0456
2020	0,1507	0,1234	0,0273
2019	0,1812	0,1220	0,0592
2018	0,1955	0,1261	0,0694
2017	0,1954	0,1339	0,0614
2016	0,1951	0,1302	0,0649
2015	0,1935	0,1042	0,0893
2014	0,1748	0,1276	0,0472

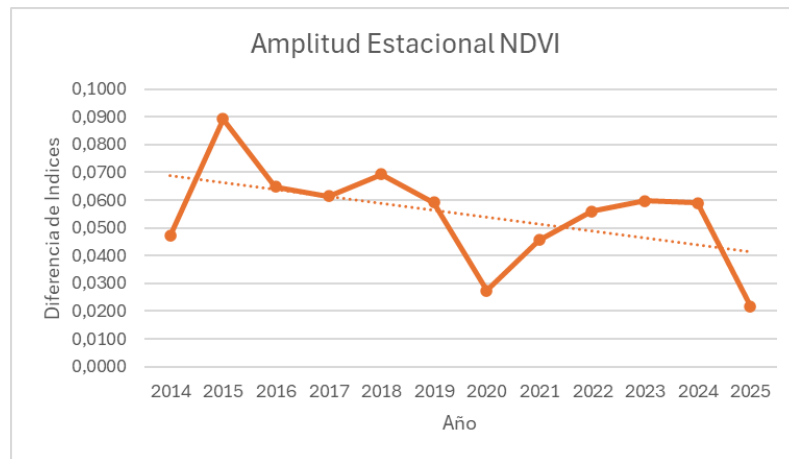


Figura 3-6. Variación de NDVI según Amplitud Estacional

La diferencia estacional del NDVI muestra una amplitud fenológica elevada entre 2014 y 2019, con un máximo en 2015 (0,0893), lo que sugiere un funcionamiento ecológico robusto y una marcada diferenciación entre estaciones. Este comportamiento indica un humedal con alta capacidad de respuesta fenológica frente a las condiciones climáticas estacionales.

A partir de 2020 se observa una disminución pronunciada de la diferencia estacional (0,0273), lo que evidencia una atenuación del pulso fenológico. Si bien en los años siguientes se registra una recuperación parcial, la amplitud estacional no retorna a los valores máximos observados en el período inicial. En 2025 se alcanza nuevamente un valor bajo (0,0218), lo que refuerza la tendencia hacia una homogenización estacional del vigor vegetal.

En conjunto, estos resultados indican que, aunque el humedal mantiene niveles relativamente altos de cobertura vegetal, la reducción progresiva de la amplitud estacional del NDVI sugiere una pérdida parcial de la dinámica fenológica natural, potencialmente asociada a alteraciones persistentes en las condiciones hidrológicas o a un aumento de la presión antrópica en su entorno.

### 3.5.2. Resultados NDWI

Los Índices de NDWI para el humedal Price corresponden al promedio de los 3 valores obtenidos por estación; invierno y verano, desde 2014 al 2025.

Tabla 3-6. Valores NDWI invierno-verano

NDWI PROMEDIO		
AÑO	INVIERNO	VERANO
2014	-0,1256	-0,1730
2015	-0,1081	-0,1877
2016	-0,1311	-0,1890
2017	-0,1343	-0,1882
2018	-0,1303	-0,1878
2019	-0,1233	-0,1776
2020	-0,1270	-0,1517
2021	-0,1464	-0,1871
2022	-0,1249	-0,1797
2023	-0,1220	-0,1797
2024	-0,1296	-0,1831
2025	-0,1435	-0,1634

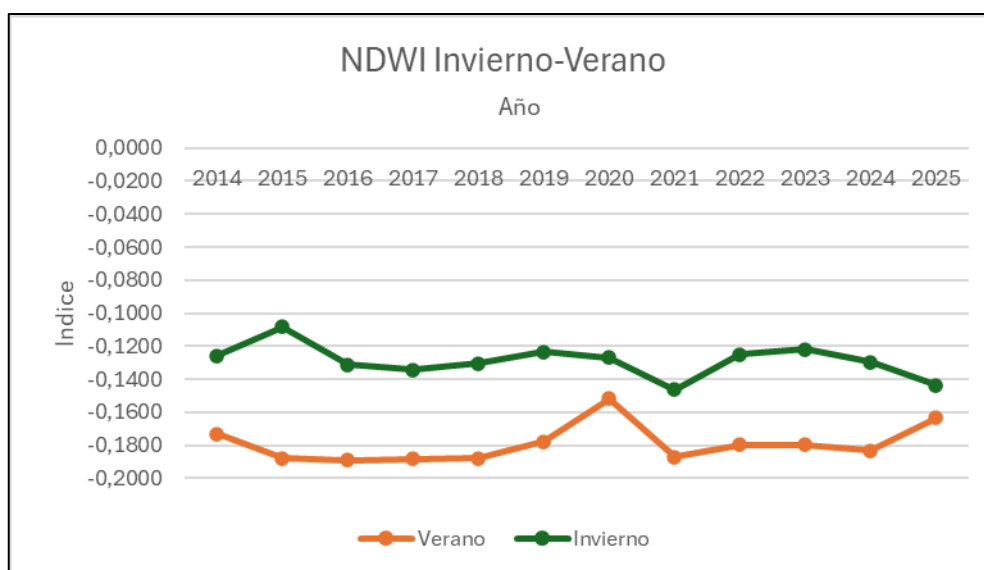


Figura 3-7. Valores NDWI invierno-verano

El NDWI presenta valores negativos en ambas estaciones durante todo el período analizado, lo que es consistente con la presencia de vegetación emergente y suelos húmedos característicos de humedales urbanos. No obstante, los valores invernales son sistemáticamente menos negativos que los estivales, reflejando una mayor disponibilidad hídrica durante el período de recarga.

### 3.5.2.1. Diferencia estacional entre invierno y verano

Tabla 3-7. Diferencia NDWI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional

NDWI			
Año	Verano	Invierno	Diferencia
2014	-0,1730	-0,1256	-0,0474
2015	-0,1877	-0,1081	-0,0796
2016	-0,1890	-0,1311	-0,0579
2017	-0,1882	-0,1343	-0,0539
2018	-0,1878	-0,1303	-0,0575
2019	-0,1776	-0,1233	-0,0543
2020	-0,1517	-0,1270	-0,0247
2021	-0,1871	-0,1464	-0,0407
2022	-0,1797	-0,1249	-0,0548
2023	-0,1797	-0,1220	-0,0577
2024	-0,1831	-0,1296	-0,0534
2025	-0,1634	-0,1435	-0,0199

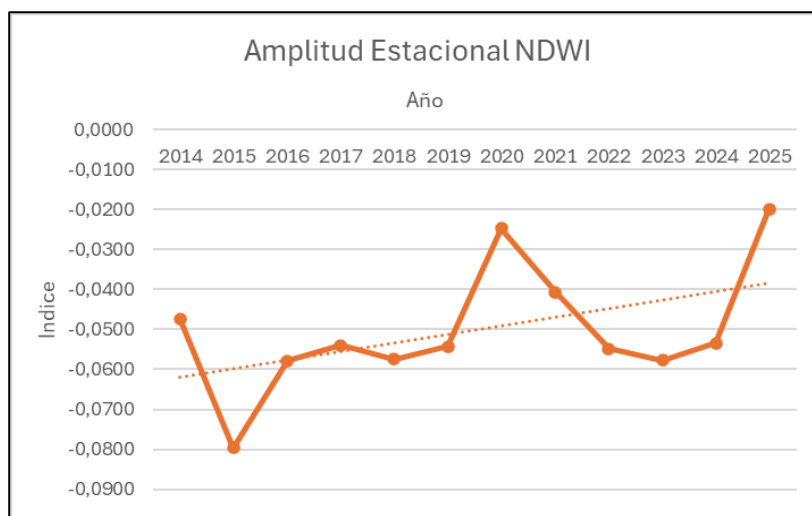


Figura 3-8. Variación de NDWI según Amplitud Estacional

La diferencia estacional del NDWI muestra una amplitud elevada entre 2014 y 2019, con un máximo en 2015 (-0,0796), lo que indica un pulso hidrológico bien definido y una marcada diferenciación entre estaciones. Este comportamiento sugiere una capacidad relativamente alta del humedal para almacenar agua durante el invierno y liberarla progresivamente durante el verano.

A partir de 2020 se observa una reducción significativa de la diferencia estacional (-0,0247), lo que evidencia una atenuación del pulso hidrológico natural. Aunque en los años posteriores la diferencia estacional aumenta nuevamente, no se alcanzan los valores máximos del período inicial. En 2025 se registra nuevamente un valor reducido (-0,0199), reforzando la tendencia hacia una homogenización estacional de la disponibilidad hídrica.

En conjunto, estos resultados indican que, pese a mantener su carácter de humedal, el sistema ha experimentado una disminución progresiva de la amplitud hidrológica estacional, lo que puede estar asociado a alteraciones persistentes del régimen hídrico, tales como drenajes, rellenos o cambios en la escorrentía superficial.

### 3.5.3. Resultados NDBI

Los Índices de NDBI para el humedal Price corresponden al promedio de los 3 valores obtenidos por estación; invierno y verano, desde 2014 al 2025.

El análisis del índice NDBI se realizó sobre un polígono correspondiente a un buffer de 500 m alrededor del humedal, excluyendo el área del humedal propiamente tal, con el objetivo de evaluar la evolución de la presión antrópica ejercida por el entorno inmediato sobre el sistema. Este enfoque permite caracterizar las transformaciones del paisaje circundante que, si bien no afectan directamente la superficie del humedal, influyen de manera indirecta en su funcionalidad ecológica e hidrológica.

Tabla 3-8. NDBI invierno-verano

NDBI PROMEDIO		
AÑO	INVIERNO	VERANO
2014	-0,0200	-0,0055
2015	-0,0089	0,0019
2016	-0,0156	0,0034
2017	-0,0317	0,0048
2018	-0,0173	0,0017
2019	-0,0133	0,0010
2020	-0,0174	0,0044
2021	-0,0136	0,0061
2022	-0,0115	0,0111
2023	-0,0169	0,0075
2024	-0,0113	0,0036
2025	-0,0178	0,0073

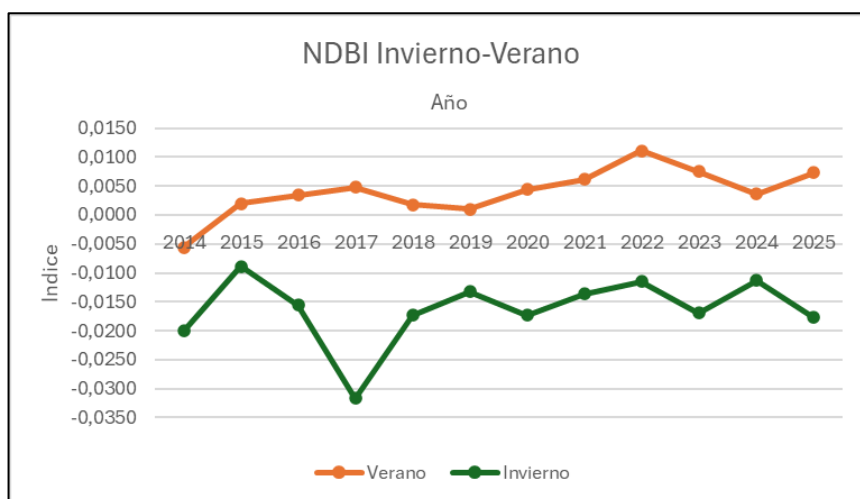


Figura 3-9. Valores NDBI invierno-verano

Durante el período 2014–2025, el NDBI presentó valores cercanos a cero o levemente positivos en verano y valores negativos en invierno, lo que indica una presencia persistente de superficies construidas en el área buffer, aunque sin una dominancia absoluta de cobertura urbana. La diferencia estacional del NDBI fue mayoritariamente positiva, reflejando una mayor expresión espectral de superficies antrópicas durante la estación estival.

3.5.3.1. Diferencia Estacional entre invierno y verano.

Tabla 3-9. Diferencia NDBI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional

NDBI			
Año	Verano	Invierno	Diferencia
2014	-0,0055	-0,0200	0,0145
2015	0,0019	-0,0089	0,0108
2016	0,0034	-0,0156	0,0190
2017	0,0048	-0,0317	0,0365
2018	0,0017	-0,0173	0,0190
2019	0,0010	-0,0133	0,0143
2020	0,0044	-0,0174	0,0218
2021	0,0061	-0,0136	0,0198
2022	0,0111	-0,0115	0,0225
2023	0,0075	-0,0169	0,0244
2024	0,0036	-0,0113	0,0149
2025	0,0073	-0,0178	0,0251

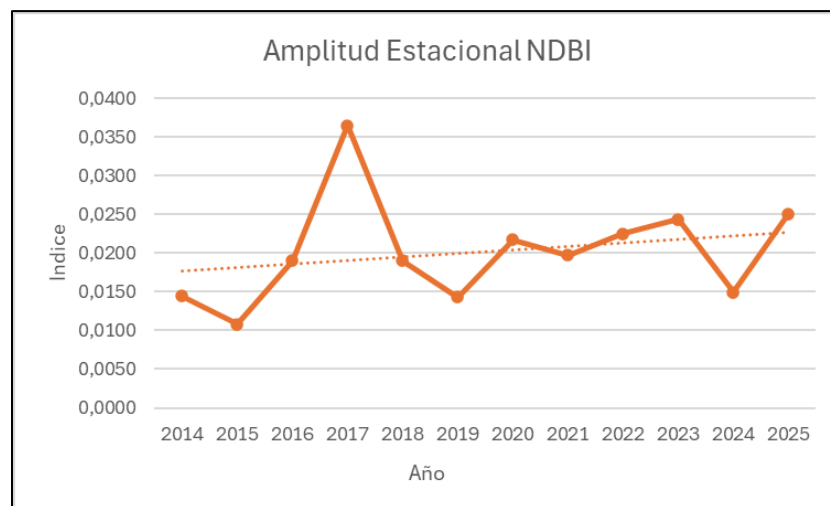


Figura 3-10. Variación de NDBI según Amplitud Estacional

La evolución temporal de la diferencia estacional del NDBI evidencia un aumento progresivo a partir de 2016, con un máximo en 2017, seguido por valores elevados y relativamente estables desde 2020 en adelante. Este patrón sugiere un proceso de

consolidación de la cobertura construida en el entorno inmediato del humedal, más que una expansión abrupta. La persistencia de valores positivos indica que la presión antrópica se ha mantenido en el tiempo, configurando un escenario de impacto acumulativo sobre el sistema.

La anomalía observada en algunos años específicos refleja variaciones temporales en la reflectancia de las superficies del entorno, las cuales pueden estar asociadas a cambios estacionales en el uso del suelo, condiciones atmosféricas o intervenciones puntuales. No obstante, la tendencia general del índice indica que el buffer de 500 m ha experimentado una transformación progresiva hacia un paisaje más urbanizado.

En conjunto, el comportamiento del NDBI en el área buffer confirma que el entorno del humedal constituye una zona crítica de influencia antrópica. La consolidación de superficies construidas en este espacio puede afectar indirectamente procesos clave del humedal, tales como la infiltración, la escorrentía superficial y la conectividad ecológica, reforzando la importancia de considerar áreas de amortiguación en la planificación y gestión de humedales urbanos.

#### 3.5.4. Relación entre los índices NDVI, NDWI y NDBI

El análisis de los índices NDVI, NDWI y NDBI se realizó considerando dos escalas espaciales diferenciadas, con el fin de evaluar tanto la condición interna del humedal como la presión antrópica ejercida desde su entorno inmediato. En particular, los índices NDVI y NDWI fueron calculados exclusivamente sobre el polígono del humedal, mientras que el índice NDBI se evaluó sobre un buffer de 500 m alrededor del humedal, excluyendo el área de este. Esta diferenciación metodológica permite una interpretación más precisa de las interacciones entre el estado ecohidrológico del humedal y las transformaciones del paisaje circundante.

Los resultados del NDVI evidencian que el humedal mantiene un patrón fenológico estacional definido, con valores consistentemente mayores en verano que en invierno. Sin embargo, la variabilidad interanual y la reducción de la amplitud estacional en determinados periodos sugieren episodios de estrés vegetacional y una pérdida parcial del pulso fenológico natural. Dado que este índice fue evaluado directamente sobre la superficie del humedal, estas variaciones reflejan cambios en la cobertura y vigor de la vegetación hidrófila, estrechamente vinculados a las condiciones hidrológicas del sistema.

De manera complementaria, el NDWI muestra valores negativos en ambas estaciones, con valores invernales sistemáticamente menos negativos, lo que es consistente con la

dinámica de recarga hídrica del humedal. No obstante, la disminución progresiva de la diferencia estacional del NDWI indica una atenuación del pulso hidrológico, sugiriendo una menor capacidad del humedal para retener agua durante los períodos de mayor precipitación. Este comportamiento refuerza la evidencia de una alteración funcional interna del sistema, posiblemente asociada a cambios en la conectividad hidrológica o en la estructura del sustrato.

En contraste, el NDBI fue analizado en el buffer de 500 m alrededor del humedal, representando la presión antrópica ejercida desde el entorno. Los valores mayoritariamente positivos de la diferencia estacional del NDBI, junto con su incremento sostenido a lo largo del tiempo, indican una consolidación de superficies construidas y una intensificación de la urbanización en el área de influencia del humedal. Al excluir el polígono del humedal, este índice permite aislar la señal antrópica externa, evitando confundirla con variaciones internas del ecosistema.

La integración de estos resultados revela una relación funcional clara entre los procesos internos del humedal y las transformaciones de su entorno. La intensificación progresiva de la señal antrópica en el buffer (NDBI) coincide temporalmente con la reducción de la amplitud estacional del NDVI y del NDWI dentro del humedal, lo que sugiere que la urbanización del entorno ha reducido la capacidad del sistema para mantener su dinámica ecohidrológica natural. Este patrón es consistente con procesos de impermeabilización del suelo, alteración de la escorrentía superficial y pérdida de conectividad ecológica, los cuales afectan indirectamente la vegetación y el régimen hídrico del humedal.

En conjunto, el enfoque multiescalar adoptado en este estudio demuestra que la degradación funcional del humedal no puede ser explicada únicamente por cambios internos, sino que responde a una interacción entre la dinámica ecológica del sistema y la presión antrópica ejercida desde su entorno inmediato. La evaluación diferenciada de NDVI y NDWI en el humedal, junto con el análisis del NDBI en el buffer de 500 m, permite evidenciar de manera integrada cómo las transformaciones del paisaje circundante influyen en la resiliencia y funcionalidad de los humedales urbanos.

### 3.6. HUMEDAL LENGA

#### 3.6.1. Resultados NDVI

Los Índices de NDVI para el humedal Lengua corresponden al promedio de los 3 valores obtenidos por estación; invierno y verano desde 2014 al 2025.

Tabla 3-10. NDVI invierno-verano

NDVI PROMEDIO		
AÑO	INVIERNO	VERANO
2014	0,0688	0,0845
2015	0,0678	0,0824
2016	0,0751	0,0842
2017	0,0701	0,0827
2018	0,0723	0,0821
2019	0,0527	0,0881
2020	0,0714	0,0814
2021	0,0766	0,0821
2022	0,0713	0,0784
2023	0,0676	0,0820
2024	0,0664	0,0869
2025	0,0697	0,0829

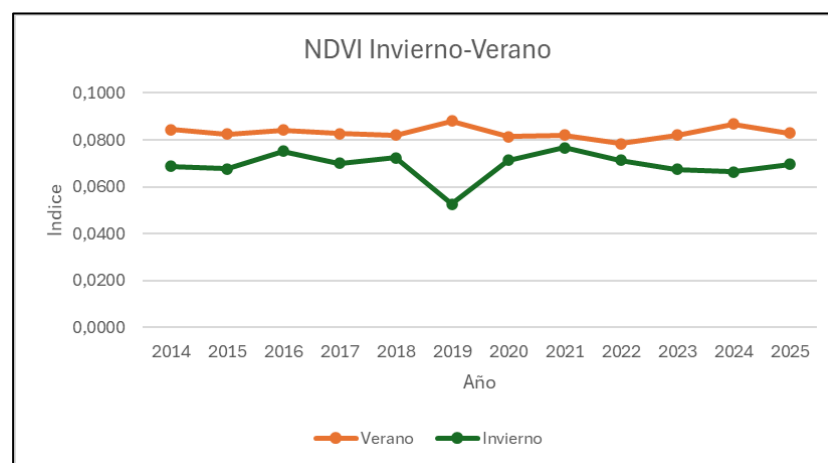


Figura 3-11. Valores NDVI invierno-verano

El NDVI presenta valores consistentemente mayores en verano que en invierno durante todo el período analizado, lo que refleja el patrón fenológico esperado en ecosistemas de humedal. Los valores estivales se mantienen relativamente estables, mientras que los invernales muestran mayor variabilidad interanual.

### 3.6.1.1. Diferencia Estacional entre invierno y verano.

Tabla 3-11. Diferencia NDVI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional

NDVI			
Año	Verano	Invierno	Diferencia
2014	0,0845	0,0688	0,0157
2015	0,0824	0,0678	0,0147
2016	0,0842	0,0751	0,0091
2017	0,0827	0,0701	0,0127
2018	0,0821	0,0723	0,0098
2019	0,0881	0,0527	0,0354
2020	0,0814	0,0714	0,0100
2021	0,0821	0,0766	0,0055
2022	0,0784	0,0713	0,0072
2023	0,0820	0,0676	0,0144
2024	0,0869	0,0664	0,0204
2025	0,0829	0,0697	0,0132

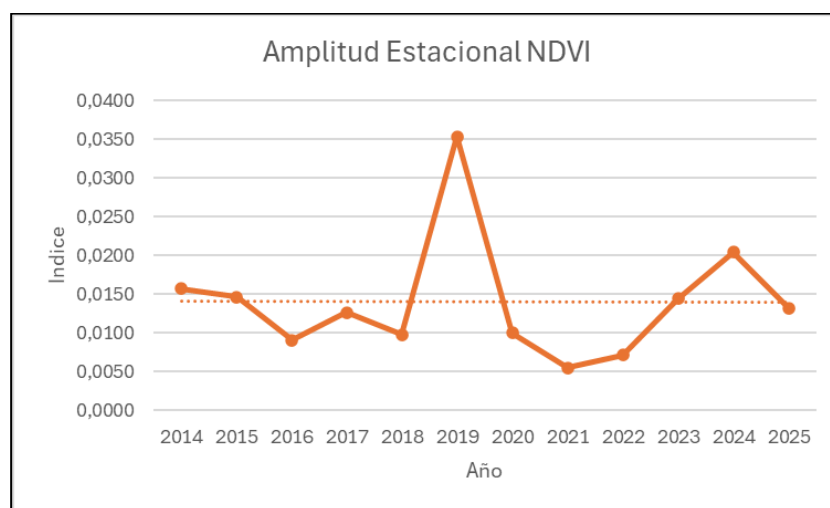


Figura 3-12. Variación de NDVI según Amplitud Estacional

La diferencia estacional del NDVI evidencia un pulso fenológico relativamente estable entre 2014 y 2018. En 2019 se observa un aumento abrupto de esta diferencia, asociado principalmente a una disminución marcada del NDVI invernal, lo que sugiere un episodio de estrés vegetacional. Posteriormente, entre 2020 y 2022, la amplitud estacional disminuye de forma sostenida, alcanzando su mínimo en 2021, lo que indica una homogenización estacional del vigor vegetal, potencialmente vinculada a alteraciones persistentes del sistema.

Desde 2023 en adelante se registra una recuperación parcial de la diferencia estacional, aunque sin alcanzar los valores máximos observados previamente. En conjunto, estos resultados indican que el humedal mantiene su dinámica fenológica básica, pero con fluctuaciones significativas en la intensidad del pulso vegetacional, lo que sugiere una creciente sensibilidad del sistema frente a perturbaciones ambientales y antrópicas.

### 3.6.2. Resultados NDWI

Los Índices de NDWI para el humedal Lengua corresponden al promedio de los 3 valores obtenidos por estación; invierno y verano, desde 2014 al 2025.

Tabla 3-12. NDWI invierno-verano

NDWI PROMEDIO		
AÑO	INVIERNO	VERANO
2014	-0,0688	-0,0880
2015	-0,0678	-0,0864
2016	-0,0739	-0,0882
2017	-0,0690	-0,0855
2018	-0,0722	-0,0841
2019	-0,0559	-0,0907
2020	-0,0715	-0,0842
2021	-0,0764	-0,0862
2022	-0,0704	-0,0847
2023	-0,0669	-0,0865
2024	-0,0667	-0,0902
2025	-0,0697	-0,0868

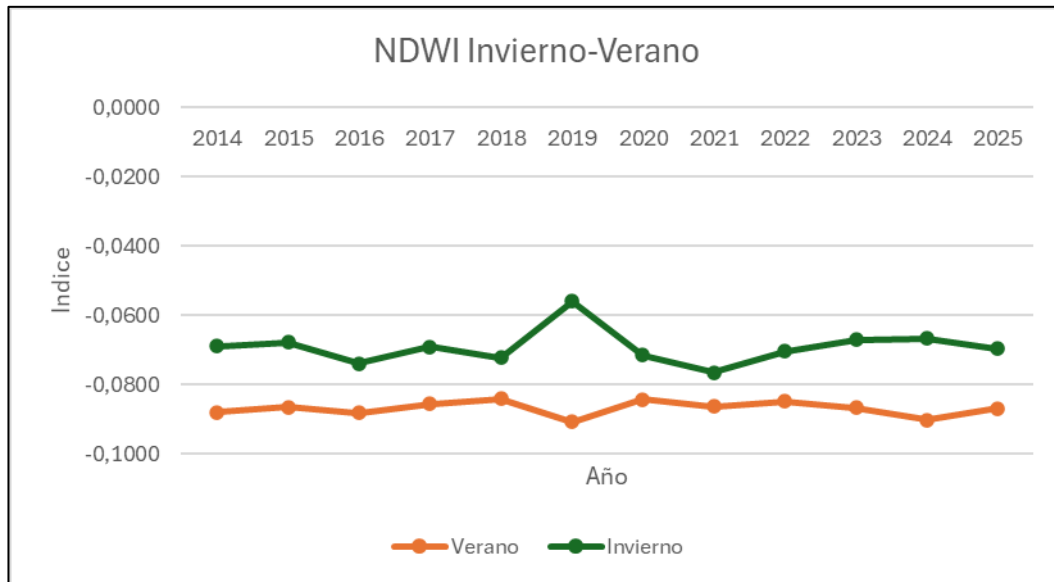


Figura 3-13. Valores NDWI invierno-verano

### 3.6.2.1. Diferencia Estacional entre invierno y verano.

Tabla 3-13. Diferencia NDWI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional

NDWI			
Año	Verano	Invierno	Diferencia
2014	-0,0880	-0,0688	-0,0191
2015	-0,0864	-0,0678	-0,0186
2016	-0,0882	-0,0739	-0,0143
2017	-0,0855	-0,0690	-0,0165
2018	-0,0841	-0,0722	-0,0119
2019	-0,0907	-0,0559	-0,0348
2020	-0,0842	-0,0715	-0,0127
2021	-0,0862	-0,0764	-0,0098
2022	-0,0847	-0,0704	-0,0143
2023	-0,0865	-0,0669	-0,0196
2024	-0,0902	-0,0667	-0,0235
2025	-0,0868	-0,0697	-0,0171

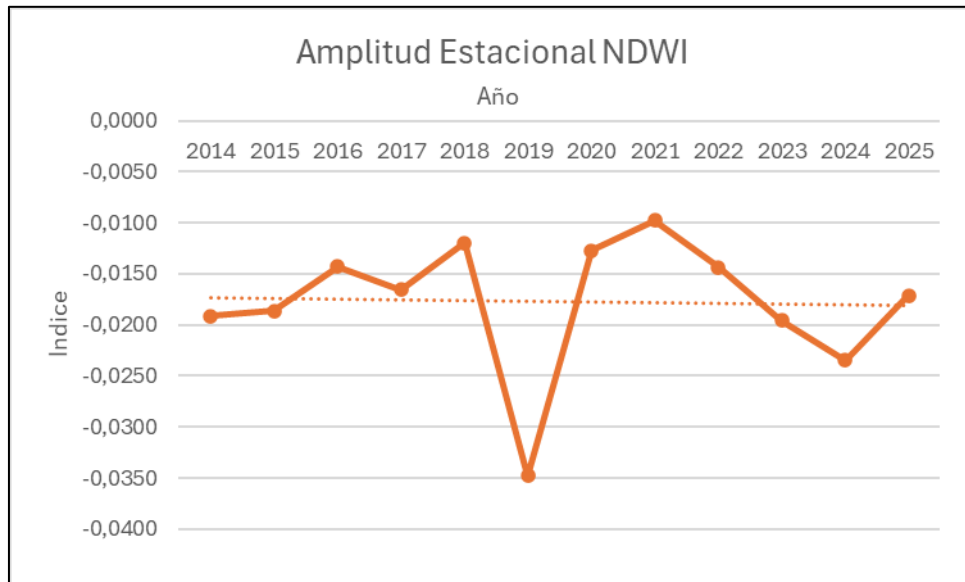


Figura 3-14. Variación de NDWI según Amplitud Estacional.

El NDWI presenta valores negativos tanto en verano como en invierno durante todo el período analizado, lo que es consistente con la presencia de vegetación emergente, suelos húmedos y superficies parcialmente secas propias de humedales urbanos. No obstante, los valores invernales son sistemáticamente menos negativos que los estivales, reflejando una mayor disponibilidad hídrica durante la estación de recarga.

La diferencia estacional del NDWI se mantiene relativamente estable entre 2014 y 2018, indicando un pulso hidrológico anual consistente. En 2019 se observa un aumento marcado de la diferencia estacional, asociado a valores invernales significativamente menos negativos, lo que sugiere una anomalía en la dinámica hídrica del sistema. Este comportamiento es coherente con una alteración puntual del régimen hidrológico, ya sea por condiciones climáticas extremas o por intervenciones antrópicas.

Entre 2020 y 2022, la diferencia estacional del NDWI disminuye progresivamente, alcanzando su valor mínimo en 2021, lo que indica una reducción del pulso hidrológico natural. A partir de 2023 se registra un aumento moderado de la diferencia estacional, aunque sin recuperar plenamente los niveles observados en 2019. En conjunto, estos resultados sugieren que el humedal mantiene su estacionalidad hídrica básica, pero con una tendencia a la atenuación del pulso de humedad, lo que es consistente con procesos de alteración hidrológica de carácter persistente.

### 3.6.3. Resultados NDBI

Los Índices de NDBI para el humedal Lengua corresponden al promedio de los 3 valores obtenidos por estación; invierno y verano, desde 2014 al 2025.

Tabla 3-14. NDBI invierno-verano

NDBI PROMEDIO		
AÑO	INVIERNO	VERANO
2014	-0,0521	-0,0322
2015	-0,0401	-0,0351
2016	-0,0529	-0,0355
2017	-0,0555	-0,0314
2018	-0,0517	-0,0382
2019	-0,0338	-0,0451
2020	-0,0523	-0,0313
2021	-0,0548	-0,0362
2022	-0,0426	-0,0230
2023	-0,0476	-0,0292
2024	-0,0476	-0,0350
2025	-0,0469	-0,0346

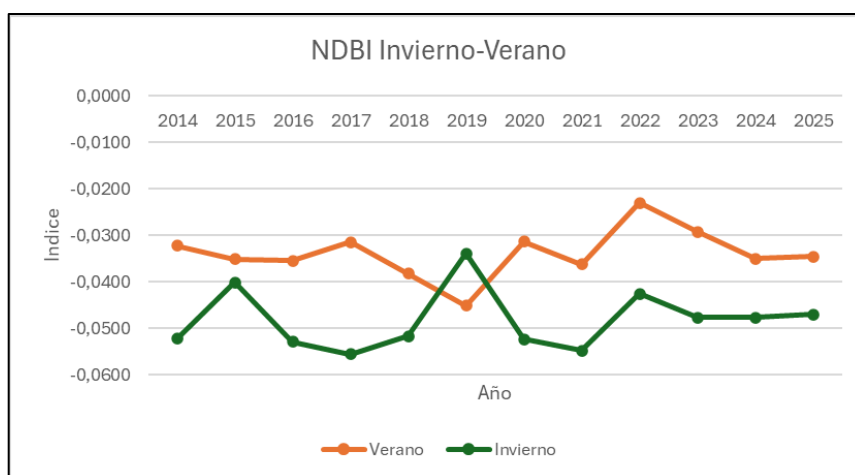


Figura 3-15. Valores NDBI invierno-verano

3.6.3.1. Diferencia Estacional entre invierno y verano

Tabla 3-15. Diferencia NDBI entre invierno y verano para cálculo de Amplitud Estacional

NDBI			
Año	Verano	Invierno	Diferencia
2014	-0,0322	-0,0521	0,0200
2015	-0,0351	-0,0401	0,0050
2016	-0,0355	-0,0529	0,0174
2017	-0,0314	-0,0555	0,0241
2018	-0,0382	-0,0517	0,0135
2019	-0,0451	-0,0338	-0,0112
2020	-0,0313	-0,0523	0,0210
2021	-0,0362	-0,0548	0,0185
2022	-0,0230	-0,0426	0,0195
2023	-0,0292	-0,0476	0,0184
2024	-0,0350	-0,0476	0,0126
2025	-0,0346	-0,0469	0,0124

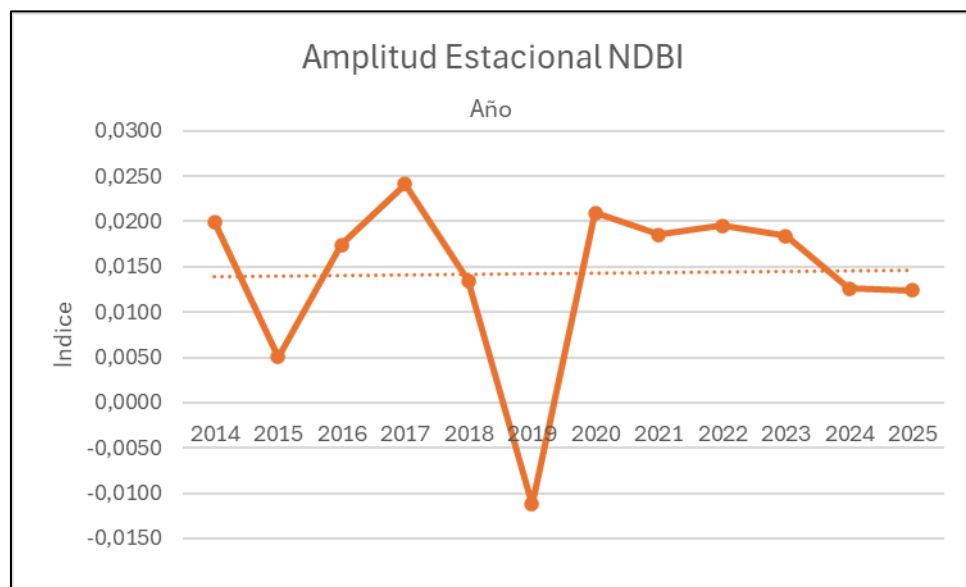


Figura 3-16. Variación de NDBI según Amplitud Estacional.

El índice NDBI presenta valores negativos tanto en verano como en invierno durante todo el período analizado, lo que indica una dominancia relativa de superficies no construidas dentro del área evaluada. Sin embargo, los valores estivales son sistemáticamente menos

negativos que los invernales, reflejando una mayor expresión espectral de superficies antrópicas durante el verano.

La diferencia estacional del NDBI muestra una variabilidad interanual significativa. Entre 2014 y 2018 se observan diferencias positivas moderadas, lo que sugiere una presencia antrópica relativamente estable en el entorno del humedal. En 2019 se registra una anomalía, con una diferencia estacional negativa, asociada a valores invernales menos negativos que los estivales, lo que podría estar vinculado a condiciones atmosféricas particulares o a una modificación temporal de las superficies expuestas.

A partir de 2020, la diferencia estacional del NDBI retorna a valores positivos y se mantiene relativamente estable hasta 2025, con magnitudes comparables a las observadas en los años previos. Este patrón indica una persistencia de la presión antrópica en el área de influencia del humedal, sin evidencia de una reversión significativa. En conjunto, el análisis sugiere que, aunque la cobertura construida no domina el área de estudio, su influencia se mantiene constante a lo largo del tiempo, contribuyendo a la presión acumulativa sobre el sistema.

#### 3.6.4. Relación entre los índices NDVI, NDWI y NDBI

El análisis conjunto de los índices NDVI, NDWI y NDBI permitió caracterizar de manera integrada la dinámica ecológica, hidrológica y antrópica del humedal durante el período 2014–2025, considerando la diferencia estacional entre verano e invierno como principal variable de análisis.

El NDVI evidenció un patrón fenológico consistente, con valores mayores en verano que en invierno a lo largo de todo el período. Sin embargo, la amplitud estacional presentó fluctuaciones relevantes, destacando un aumento abrupto en 2019, seguido por una disminución sostenida entre 2020 y 2022 y una recuperación parcial posterior. Estas variaciones indican una sensibilidad del sistema vegetal frente a perturbaciones ambientales, con episodios de estrés y una pérdida temporal del pulso fenológico natural.

El NDWI presentó valores negativos durante todo el período analizado, lo que es característico de humedales urbanos con vegetación emergente y suelos parcialmente saturados. La diferencia estacional mostró un comportamiento estable hasta 2018, un aumento marcado en 2019 y una reducción progresiva posterior, lo que sugiere una atenuación del pulso hidrológico. Este patrón indica una menor capacidad del humedal para retener agua durante el invierno, consistente con procesos de alteración del régimen hídrico.

Por su parte, el NDBI mantuvo valores negativos en ambas estaciones, reflejando la dominancia de superficies no construidas en el área de estudio. No obstante, la diferencia estacional mostró valores positivos persistentes, especialmente a partir de 2020, lo que evidencia una presión antrópica constante y consolidada en el entorno del humedal. La anomalía observada en 2019 refuerza la presencia de cambios estructurales temporales en la dinámica del territorio.

En conjunto, la comparación estacional de los tres índices revela una coherencia temporal entre la intensificación de la presión antrópica y la pérdida parcial de la funcionalidad ecohidrológica del humedal, evidenciada en la reducción de los pulsos vegetacionales e hídricos.

Los resultados obtenidos a partir del análisis estacional de los índices NDVI, NDWI y NDBI indican que, si bien el humedal conserva sus patrones básicos de estacionalidad, estos se han visto progresivamente debilitados en el tiempo. La reducción de la amplitud fenológica y del pulso hidrológico, en conjunto con la persistencia de señales antrópicas en el entorno, sugiere un proceso de degradación funcional asociado a la presión urbana acumulativa. En este contexto, el enfoque basado en diferencias estacionales demuestra ser una herramienta eficaz para discriminar entre la variabilidad natural del sistema y los cambios inducidos por actividades humanas, aportando evidencia relevante para la gestión, conservación y planificación territorial de humedales urbanos.

### **3.7. COMPARACION DE LOS RESULTADOS DE LOS INDICES DEL HUMEDAL PRICE Y LENGA.**

El análisis conjunto de los índices espectrales permitió identificar diferencias claras en la relación entre la cobertura vegetal, la presencia de agua superficial y el grado de urbanización en los humedales Lengua y Price. En el humedal Lengua, los valores de NDVI y NDWI, calculados exclusivamente sobre el polígono del humedal, evidencian una mayor cobertura vegetal y una presencia más consistente de humedad superficial, lo que es concordante con una estructura ecológica más compleja y una mayor extensión del ecosistema. Paralelamente, los valores de NDBI, calculados en la zona buffer de 500(m), indican un menor grado relativo de artificialización en su entorno inmediato, lo que sugiere una menor presión urbana directa sobre el humedal.

En contraste, el humedal Price presenta valores relativamente menores de NDVI y NDWI al interior del polígono del humedal, lo que refleja una menor cobertura vegetal y una dinámica hídrica más restringida, asociadas a su menor tamaño y mayor grado de fragmentación. A su vez, el análisis del NDBI en el buffer de 500 m evidencia una mayor presencia de superficies construidas en el entorno inmediato, lo que denota una presión antrópica más intensa y una mayor influencia del contexto urbano sobre el humedal.

En conjunto, la relación entre los índices espectrales muestra un patrón contrastante entre ambos humedales, donde Lenga se caracteriza por mejores condiciones ecológicas internas y menores presiones externas, mientras que Price evidencia una mayor influencia del entorno urbanizado y condiciones ecológicas más limitadas. Esta integración de índices permite comprender de manera espacialmente explícita cómo el estado interno del humedal y las presiones del entorno se articulan de forma diferenciada en cada caso.

## **CONCLUSION Y RECOMENDACIONES**

El presente estudio permitió mapear y caracterizar la biodiversidad de los humedales urbanos Lenga y Price, integrando herramientas de Sistemas de Información Geográfica, fuentes secundarias oficiales y datos de ciencia ciudadana. A partir de registros de presencia de especies obtenidos desde iNaturalist, se desarrolló una caracterización basada en la riqueza específica de flora y fauna, reconociendo las limitaciones debido a la ausencia de datos confiables de abundancia por especie.

Los resultados evidencian diferencias significativas entre ambos humedales. El humedal Lenga presenta una mayor riqueza específica, una alta presencia de especies nativas, endémicas y migratorias, y una estructura ecológica más compleja, lo que refleja una mayor integridad ecológica y conectividad con sistemas costeros y estuarinos. En contraste, el humedal Price, de menor extensión y mayor inserción urbana, muestra una menor riqueza específica y una mayor proporción relativa de especies introducidas, lo que indica una mayor susceptibilidad a la presión antrópica.

El análisis de presiones antrópicas mediante índices espectrales permitió complementar la caracterización biológica, aportando una visión integrada del estado ecológico interno de los humedales y de la influencia de su entorno inmediato. El uso diferenciado del polígono del humedal para los índices NDVI y NDWI, y del buffer de 500 m para el NDBI, permitió identificar de manera clara la relación entre la expansión urbana, la dinámica hídrica y los cambios en la cobertura vegetal.

En conjunto, los resultados confirman el alto valor ecológico de los humedales Lenga y Price, así como la necesidad de estrategias de gestión diferenciadas y basadas en evidencia espacial y ecológica, especialmente en contextos urbanos sometidos a presiones crecientes.

Por ende, se recomienda fortalecer la protección legal y la gestión territorial de los humedales, en especial del humedal Lenga, considerando su alta riqueza específica y la presencia de especies nativas, endémicas y migratorias de alto valor ecológico. En este contexto, si bien la Ley N.º 21.202 representa un avance significativo al reconocer y proteger los humedales urbanos, su alcance presenta limitaciones, ya que no establece una prohibición absoluta de intervención, sino que dispone que los proyectos o actividades que puedan afectarlos deban someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). Esto implica que, aunque la normativa reduce su vulnerabilidad frente a la presión

antrópica, no garantiza una protección definitiva, quedando su conservación supeditada a los resultados de los procesos de evaluación ambiental.

Asimismo, resulta fundamental integrar zonas buffer en la planificación urbana, estableciendo áreas de resguardo que consideren los procesos ecológicos que ocurren en el entorno inmediato de los humedales y que permitan mitigar los efectos de la expansión urbana y otras presiones antrópicas. De manera complementaria, se recomienda implementar acciones de control y manejo de especies introducidas, particularmente en humedales urbanos con mayor grado de intervención, donde estas especies pueden afectar la biodiversidad nativa y el funcionamiento del ecosistema. Finalmente, se sugiere fomentar la educación ambiental y el fortalecimiento de la ciencia ciudadana, promoviendo el uso responsable de plataformas como iNaturalist, junto con estrategias de validación y monitoreo que contribuyan a mejorar la calidad de la información disponible y a generar una mayor conciencia pública sobre la importancia de la conservación de los humedales.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- **CONAF. (2018). Ficha ecosistémica de la Reserva Natural Península de Hualpén. Corporación Nacional Forestal.**
- **CONAF. (2019). Flora nativa y vegetación de Chile. Corporación Nacional Forestal.**
- **Corporación Nacional Forestal. (2022). Estado de los ecosistemas de humedales en Chile. <https://www.conaf.cl>**
- **Convención Ramsar. (1971). Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas. <https://www.ramsar.org>**
- **Convención Ramsar. (2018). Marco estratégico de Ramsar para el uso racional de los humedales. Secretaría de la Convención Ramsar.**
- **González, R., Fuentes, N., & Vargas, P. (2019). Indicadores biológicos para la evaluación ecológica de humedales urbanos en Chile. Revista de Ecología Aplicada, 18(2), 45–58.**
- **International Union for Conservation of Nature. (2024). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org>**
- **iNaturalist. (2025). iNaturalist research-grade observations. <https://www.inaturalist.org>**

- McFeeters, S. K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432.  
<https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Inventario nacional de humedales. Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Ley N. 21.202: Protección de humedales urbanos. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.  
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1143668>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020a). Visor de humedales del Ministerio del Medio Ambiente. <https://humedales.mma.gob.cl>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020b). Guía para la delimitación y caracterización de humedales urbanos. Gobierno de Chile.  
<https://mma.gob.cl>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Especies exóticas invasoras en Chile: Antecedentes y desafíos. Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021a). Decreto Supremo N.º 15/2021: Criterios para la delimitación de humedales urbanos. Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021b). Decreto Supremo N.º 16/2021: Procedimiento de reconocimiento de humedales urbanos. Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Catastro nacional de humedales y diagnóstico regional de humedales urbanos. Gobierno de Chile.  
<https://mma.gob.cl>

- **Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Catálogo de la biodiversidad de Chile. Gobierno de Chile. <https://catalogo.biodiversidad.cl>**
- **Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Catastro de especies de flora vascular nativa de Chile. Gobierno de Chile.**
- **Ramsar Convention Secretariat. (2018). Global wetland outlook: State of the world's wetlands and their services to people. <https://www.global-wetland-outlook.ramsar.org>**
- **Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave) of natural vegetation. NASA/GSFC. <https://www.earthdata.nasa.gov>**
- **Servicio Agrícola y Ganadero. (2022). Listado oficial de especies de fauna silvestre de Chile. Gobierno de Chile. <https://www.sag.gob.cl>**
- **Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>**