



Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura Urbanismo y Geografía
Departamento de Geografía



**“IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES EN LA
COMUNA DE CORONEL. APLICACIÓN DE VARIABLES DEL PLAN
NACIONAL DE PROTECCIÓN DE HUMEDALES 2018-2022”**

Estudiante: Jonathan Medel Rodríguez
Docente Guía: Dra. Ianire Galilea Salvador

Lota, 2022

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a mi madre, la persona que siempre puso todo su cariño y confianza en mis proyectos, también agradecer a mi padre, quien siempre creyó en mí y fue parte importante de este camino. Agradezco de todo corazón, a mi compañera Bárbara Navarrete, sin la cual esto no sería posible compartiendo su paciencia y su cariño, sin olvidar a mi gata, en la cual también pude encontrar cariño y soporte.

Mi más sincero agradecimiento a los profesores que formaron parte de este camino, en especial a mi profesora guía la Dra, Janire Galilea, la que compartió su paciencia y conocimientos para que este trabajo se lograra.

Dedicado a mi padre, quien no pudo alcanzar a verme titulado, pero me enseñó que las cosas importantes se consiguen con trabajo duro y dedicación.



Índice

Resumen.....	6
1. Introducción.....	7
1.1. Problemática.....	7
1.2. Hipótesis.....	8
1.3. Objetivo general:	9
1.4. Objetivos específicos:	9
2. Marco Conceptual	9
2.1. Definición de humedal	9
2.1.1. Definición chilena de humedal.	9
2.1.2. Legislación de humedales en Chile.	10
2.2. Suelos hidromorfos	12
2.3. Vegetación hidrófita	12
2.4. Planificación Urbana.	12
2.5. Uso del suelo.....	13
2.6. Clasificación de imágenes.....	13
2.6.1. Sensoramiento remoto	13
2.6.2. Espectro electromagnético.....	14
3. Área de estudio.....	15
4. Metodología	16
4.1. Clasificación de coberturas.....	16
4.2. Muestreo de plantas hidrófitas.....	18
4.3. Muestreo de suelos hidromorfos	18
4.4. Procesamiento estadístico	20
5. Resultados	21
5.1. Clasificación de coberturas.....	21
5.2. Identificación de vegetación hidrófita	35
5.3. Muestreo y caracterización de suelos hidromorfos	42
5.4. Procesamiento estadístico	58
6. Conclusiones.....	61
7. Discusión.....	62
Referencias bibliográficas	63

Índice de tablas

Tabla N°1. Bandas tomadas por los sensores del satélite Sentinel A-2	14
Tabla N°2: Fechas de toma de imagen por el sensor del satélite Sentinel 2A.....	21
Tabla N°3. Valores de NDVI por fecha de composición de bandas.....	22
Tabla N°4. Valores de NDWI por fecha de composición de bandas.	24
Tabla N°5. Rangos de valor de las coberturas del NDVI.....	26
Tabla N°6. Rangos de valor de las coberturas del NDWI	26
Tabla N°7: Superficie en Ha de los humedales identificados.....	30
Tabla N°8: Vegetación identificada en la primera zona de muestreo.	36
Tabla N°9: Vegetación identificada en la segunda zona de muestreo.....	38
Tabla N°10. Ficha en terreno de muestras Z1C1 y Z1C2.	45
Tabla N°11. Ficha en terreno de muestras Z2C1, Z2C2 y Z2C3.	47
Tabla N°12. Porcentajes de humedad de las muestras.....	49
Tabla N°13. Ficha de laboratorio de Z1C1.....	50
Tabla N°14. Ficha de laboratorio de Z1C2.....	50
Tabla N°15. Ficha de laboratorio de Z2C1.....	51
Tabla N°16. Ficha de laboratorio de Z2C2.....	51
Tabla N°17. Ficha de laboratorio de Z2C3.....	52
Tabla N°18: Porcentaje de materia orgánica	53
Tabla N°19. Obtención del valor de pH.....	53
Tabla N°20: Desviación estándar de las áreas identificadas como humedal.....	59

Índice de figuras

Figura N°1. Espectro electromagnético	15
Figura N°2: Esquema del primer objetivo	18
Figura N°3: Esquema del segundo objetivo	19
Figura N°4: Esquema cruce de información y espacialización de resultados de laboratorio	20
Figura N°5: Esquema del cuarto objetivo.....	20
Figura N°6. Rangos de NDVI por estación	23
Figura N°7. Rangos de NDWI por estación.....	24
Figura N°8. Clasificación NDVI por estación.....	28
Figura N°9. Clasificación NDWI por estación.....	29

Índice de fotografías

Foto N°1. Fotografía de la primera zona de muestras	36
Fotografía N°2. Fotografía segunda zona de muestras de plantas.	38
Foto N°3. Primera zona de muestras Z1.	44
Foto N°4. Segunda zona de muestras Z2.	46
Foto N°5. Primera zona de muestras Z1 en temporada seca.....	56
Foto N°6. Primera zona de muestras Z1 en temporada húmeda.	57
Foto N°7. Segunda zona de muestras Z2 en temporada seca.	57
Foto N°8. Segunda zona de muestras Z2 en temporada húmeda.	58

Índice de mapas

Mapa N°1. Área de estudio	16
Mapa N°2. Áreas de reconocimiento en terreno de las coberturas identificadas.....	25
Mapa N°3. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de marzo sobre el Plano Regulador.	31
Mapa N°4. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de junio sobre el Plano Regulador	32
Mapa N°5. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de septiembre sobre el Plano Regulador	33
Mapa N°6. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de diciembre sobre el Plano Regulador	34
Mapa N°7. Zonas muestrales	35
Mapa N°8. Localización de las plantas identificadas en terreno.	41
Mapa N°9. Áreas de muestreo seleccionadas sobre la clasificación de suelos y el Catastro Nacional de Humedales de 2020.....	43
Mapa N°10. Espacialización de los suelos.....	55
Mapa N°11. Distribución espacial y temporal de las coberturas identificadas.	60

Resumen

Dentro de terrenos designados para ser utilizados como áreas urbanas se observan zonas que necesitan intervención para cumplir con las características requeridas en la construcción de infraestructuras que requieren de un suelo capaz de resistir las cargas que genera su uso. Puede ocurrir que algunas de las zonas denominadas para este uso sean terrenos que se sitúan en los márgenes o sobre humedales, ecosistemas complejos con balances ecológicos muy delicados de sus comunidades bióticas (Mitsch y Gosselink, 2000).

En este sentido, los humedales que se ubican cerca de las áreas urbanas suelen presentar signos de intervención humana en diferentes grados que, a lo largo del tiempo, pueden llegar a ser irreversibles. En la actualidad, son muchas las agrupaciones nacionales y/o internacionales que buscan la preservación y protección de los humedales por su importancia biológica y su gran valor ecosistémico. Como se recoge en el Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 (2018), “los humedales son ecosistemas que entregan beneficios y servicios fundamentales para toda la vida sobre la tierra”.

En esta línea, la comuna de Coronel (región del Biobío) se emplaza sobre grandes zonas de humedal que se extienden desde el valle del sector Calabozo hasta Boca Maule. Estos espacios han ido perdiendo superficie de forma gradual conforme al aumento progresivo del área urbana a partir de intervenciones que implican remoción de las tierras y el relleno de sus fondos.

En este sentido, el Ministerio del Medio Ambiente publica en 2020 la Ley de Humedales Urbanos, la cual dispone de variables para la identificación y declaración de cuerpos de agua y humedales, que pueden reconocerse mediante el uso de fotogrametría en base a bandas satelitales para identificar coberturas de suelo y extensión de plantas hidrófitas; todo ello complementado con muestreos en terreno. La finalidad es obtener resultados que comprendan la denominación correcta de los suelos bajo los usos de suelos del Plano Regulador.

Palabras clave: Humedal, suelo hidromorfo, vegetación hidrófita, límite urbano, planificación urbana

1. Introducción

1.1. Problemática.

La importancia de los humedales ha sido destacada a nivel mundial desde los primeros esfuerzos para su conservación con proyectos como el Project MAR de 1962, hasta la convención celebrada en la localidad iraní de Ramsar en 1971. Es a partir de estas iniciativas donde se ha acumulado gran cantidad de información relevante acerca de las funciones ecológicas y los servicios que los humedales proveen.

Históricamente, el ser humano ha utilizado los humedales como lugares que pueden ser drenados o rellenados para acomodar su uso a distintas necesidades, lo que ha provocado una pérdida de su área funcional que resulta en la disminución de la biodiversidad del humedal y su entorno. A pesar del alto valor en servicios ecosistémicos que los humedales brindan, estos siguen degradándose o perdiéndose debido a las acciones del ser humano sobre ellos (Russi *et al.*, 2013).

A escala global, muchas ciudades se emplazan junto a humedales y cuerpos de agua que, en consecuencia, experimentan la degradación de sus ecosistemas. En los peores casos, algunos humedales han perdido áreas funcionales en favor de la construcción de urbanizaciones. De acuerdo al informe de Ramsar de 2005, los ecosistemas pertenecientes a humedales han experimentado un importante nivel de pérdida o degradación en los últimos 100 años (Ramsar, 2005).

En Chile existen 16 Sitios Ramsar que reciben protección efectiva por estar dentro de un área protegida y son administrados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Además, dos humedales de los 14 sitios de importancia están bajo la tuición del Ministerio de Medio Ambiente. Sin embargo, otros humedales que no son Sitios Ramsar no cuentan con protección estatal, encontrándose permanentemente amenazados por los sectores inmobiliario e industrial, siendo los más afectados aquellos ubicados dentro o cercanos al área urbana (Vicepresidencia del Senado, 2019).

Por su parte, en 2018, el Ministerio de Medio Ambiente dio a conocer el Plan Nacional de Protección de Humedales con el objeto de detener su deterioro y preservar su rica biodiversidad a través de distintas figuras de protección y estableciendo herramientas legales para el reconocimiento y cuidado de las áreas no designadas con un uso de suelo correspondiente a sus necesidades (MMA 2020). Las variables del Plan Nacional amplían las capacidades para el reconocimiento de áreas de humedal y su aplicación en zonas

urbanas contribuye al reconocimiento de áreas pertenecientes a humedales que, erróneamente, están clasificados como zonas urbanizables.

La comuna de Coronel se encuentra en una zona donde existen numerosos humedales con un valioso patrimonio ambiental (Gonzales y Victoriano, 2005). Por otra parte, el crecimiento del área urbana en los últimos años ha generado una mayor presión sobre estos espacios ya que, algunas superficies del humedal han sido rellenadas para emplazar sobre ellas nueva superficie urbana. Y es que dentro del Plan Regulador Comunal (PRC) estas zonas no contaban con la tipificación correspondiente y se encontraban designadas para uso de suelo residencial mixto. De hecho, muchos terrenos de humedal pertenecientes a privados están dañados por las intervenciones generadas para acomodar sus condiciones a las normas de construcción.

El Plan Regulador es un conjunto normativo sobre condiciones de higiene y seguridad adecuadas en los edificios y espacios urbanos, y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento (Ley General de Urbanismo y Construcciones 1976). De manera que es responsable de sustentar los criterios y variables que establezcan poblaciones y áreas urbanas funcionales en emplazamientos capaces, sin afectar por ello zonas de alto valor ambiental. Si bien el Plan Regulador no tiene facultades para definir áreas de protección, puede, por otra parte, designar a los diferentes usos de suelo, adecuando así las disminuciones en la intervención.

1.2. Hipótesis

El Plano Regulador de la comuna de Coronel mantiene usos de suelo definidos como utilizables en zonas de influencia de algunos de los grandes humedales que se encuentran en los márgenes del área urbana. Estos humedales no están identificados por lo que el uso de las nuevas variables de la Ley de Humedales Urbanos identificaría zonas de humedal que no cuentan con la tipificación correspondiente, catastrándolos en base a la presencia de vegetación hidrófita, suelos hídricos con mal drenaje o sin drenaje y con un régimen hidrológico de saturación permanente o temporal que genere condiciones de inundación periódica.

1.3. Objetivo general:

- Identificación de humedales y cuerpos de agua de la comuna de Coronel.

1.4. Objetivos específicos:

- Clasificación de coberturas mediante sensoramiento remoto
- Identificación de plantas hidrófitas reconocidas por la Ley de Humedales
- Muestreo y clasificación de suelos con propiedades hidromorfos
- Identificación de los espacios de humedal dedicados a uso urbano

2. Marco Conceptual

2.1. Definición de humedal

El territorio nacional está constituido por una gran variedad de paisajes húmedos y cuerpos de agua, los cuales proveen diferentes servicios ecosistémicos y mantienen distintos tipos de comunidades biológicas. Entre estos podemos encontrar los humedales, clasificados y definidos bajo muchos criterios, existiendo muchas definiciones de su término, algunas basadas en criterios ecológicos y otras vinculadas a su manejo. Así, la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, Convención Ramsar de 1994, unifica, en el Artículo 1.1, la definición de humedal en su forma más aceptada.

Respecto a la definición de Humedal, son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. (Ramsar 1994; página 1).

2.1.1. Definición chilena de humedal.

La definición chilena de humedal se desarrolla a partir de la suscripción del país a la Convención sobre los humedales de Ramsar, promulgándose como ley del Ministerio de Relaciones Exteriores en 1981, y modificada en 2010 bajo la Ley 20.417.

Según Antinao, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en 2013, incorporó dos definiciones:

El programa nacional para la Conservación de Humedales insertos en el Sistema en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, conceptualiza los Humedales como, extensiones de marismas, turberas y aguas cuyo régimen pueda ser natural o artificial, sean estos permanentes o temporales, se encuentren estancadas o en movimiento, siendo estas aguas dulces, salobres o saladas, en el cual se incluyen las extensiones de agua marina donde la profundidad de la marea baja no excede los seis metros (Antinao 2013, página 23).

Por su parte, el Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales (2010) define los humedales como ecosistemas asociados a sustratos de agua en forma temporal o permanente en los cuales existen o se desarrollan distintos grupos de seres vivos acuáticos y han sido declarados Sitios Prioritarios de Conservación por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o sitios Ramsar. Para efectos de delimitación se considera la presencia y extensión de la vegetación hidrófita, si bien en su ausencia se utilizará para su delimitación la presencia de otras expresiones de biota acuática.

La siguiente definición corresponde a la Ley de Humedales Urbanos N° 21.202 del Ministerio del Medio Ambiente (2020), con el objeto de proteger los humedales urbanos:

Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano. (MMA 2020; página 1).

2.1.2. Legislación de humedales en Chile.

La legislación chilena sobre humedales solo destaca las zonas de conservación Ramsar, una lista de 16 humedales y cuerpos de agua que cuentan con una figura de protección legal desde que el país se suscribiera a la convención en 1981 hasta 1994, donde se le dio institucionalidad ambiental al ser incorporada en la Constitución. La actual lista de humedales protegidos son la Bahía Lomas (región de Magallanes y Antártica), el Humedal Carlos Anwandter Sanctuary (Valdivia), el Humedal el Yali (Valparaíso), los Humedales Costeros de la Bahía Tongoy (Coquimbo), los Humedales de Monkul (Araucanía), Las

Salinas de Huentelauquén (Coquimbo), el Parque Andino Juncal (Valparaíso), el Salar de aguas Calientes IV (Antofagasta), el Salar del Huasco (Tarapaca), el Salar de Pujisa (Antofagasta), el Salar de Surire (Tarapaca), el Salar de Tara (Antofagasta), el Santuario de la Naturaleza Laguna Conchalí (Coquimbo) y el Sistema Hidrológico de Soncor del Salar de Atacama (Antofagasta).

Por otra parte, otras superficies de humedal con un significativo valor ambiental pero no reconocidas como Sitios Ramsar quedan al amparo de normativas como la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (1994), el Decreto 82 de MINAGRI sobre el Artículo 17 de la Ley N° 20.283 (2008) de recuperación del bosque nativo y fomento forestal, el Dictamen N° 048164N16 sobre Sitios Prioritarios para la Conservación de Humedales (2016) y la Ley de Humedales Urbanos (2020). Desafortunadamente, estas leyes no entregan una cobertura para la protección de los humedales al no definir los criterios mínimos para su sustentabilidad.

En noviembre de 2020 comienza la cobertura de la Ley N° 21.202 de Humedales Urbanos, desde cuya vigencia se permite el nombramiento y conservación de humedales que se encuentren dentro de las urbes o en su periferia, permitiendo la protección de áreas que no estaban incluidas en las zonas de conservación Ramsar. Algunos de los cambios que conlleva la nueva ley se amparan sobre cuerpos legales como la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (1994), modificando detalles relativos a los humedales como el Artículo 10, donde se mencionan los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental y que deben ser sometidas a evaluación de impacto ambiental.

La promulgación de la Ley n° 21.202 de Humedales Urbanos también entrega los criterios mínimos para la sustentabilidad y la gestión de los humedales urbanos, junto con el procedimiento para identificar estas áreas. Así, en el Artículo 8 de la misma, se contemplan tres criterios de identificación, siendo estos la presencia de suelos con mal drenaje o sin drenaje, la presencia de vegetación hidrófita y la existencia de un régimen hidrológico de saturación, ya sea permanente o temporal, que genere condiciones de inundación periódica.

2.2. Suelos hidromorfos

Por suelos hidromorfos se entienden aquellos que, durante gran parte del año, están saturados de agua o cuentan con un régimen periódico de saturación (Juan y Comerma, 2009), ya sea ocupando una depresión o posición plana. Según la USDA (2014), los suelos hidromorfos están categorizados por clase de drenaje en: i) muy pobremente drenados, ii) pobremente drenados, iii) algo pobremente drenados, iv) moderadamente drenados y v) algo pobremente drenados; compartiendo estos, características hidromorfas en sus horizontes. Así, los suelos hidromorfos descritos por la USDA pertenecen al orden de los histosoles, es decir, suelos con un contenido en materia orgánica superior al 20 % formados a partir de la descomposición de restos vegetales en condiciones de exceso de agua (Porta *et al.*, 2013)

2.3. Vegetación hidrófita

Las plantas acuáticas son descritas como plantas herbáceas que se encuentran periódicamente en un sustrato sometido a condiciones de oxígeno menores al contenido en el aire (Rial, 2003). El término hidrófita fue ampliado por Tinner (1993), quien lo describe como plantas que crecen en agua o en suelos húmedos.

2.4. Planificación Urbana.

La Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) de 1976 define la planificación urbana como “el proceso que se efectúa para orientar y regular el desarrollo de los centros urbanos en función de la política nacional, regional y comunal de desarrollo socioeconómico” (página 11). Esta Ley incorpora objetivos y metas a nivel nacional, intercomunal y comunal, en base a varios instrumentos de planificación.

A nivel comunal se aplica la Planificación Urbana Comunal (2018) que promueve el desarrollo armónico del territorio comunal, en concordancia con las metas regionales, para asegurar las condiciones adecuadas de higiene y seguridad en los edificios y los espacios urbanos, y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento (LGUC).

En el capítulo 3 de la LGUC se define el límite urbano como: “La línea imaginaria que delimita las áreas urbanas y de extensión urbana que conforman los centros poblados,

diferenciándolos del resto del área comunal” (página 27). El límite urbano encierra las zonas designadas para la expansión urbana, comprendiendo, en el caso de Coronel, las áreas que son parte de cuerpos de agua o humedales, transformando a estos en humedales urbanos según lo indica la Ley N° 21.202 (2020).

2.5. Uso del suelo

El uso de suelo hace referencia a las actividades que sobre él se desarrollan y que son ejecutadas por parte de los habitantes en un tiempo determinado. La forma de gestionar el mismo ocasiona diversas perturbaciones en relación a la pérdida de hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y de capacidad productiva (Prados y Fernández, 2010).

2.6. Clasificación de imágenes

2.6.1. Sensoramiento remoto

El sensoramiento remoto es la ciencia de obtener información de un objeto, área o fenómeno mediante el análisis de los datos obtenidos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno (Anji, 2008). Los datos obtenidos con esta técnica permiten obtener información espacial en distintas y variables escalas. Así, los sensores satelitales entregan productos en formato de bandas de frecuencia que, según el sensor, grafican una imagen en escala de grises compuesta por la información del rango dentro de la frecuencia del espectro electromagnético a la que fue expuesta.

Las imágenes obtenidas por los sensores del satélite Sentinel A-2 constan de 13 bandas espectrales con una resolución espacial de 10 metros en el espectro visible en las bandas 2, 3 y 4, y en su primera banda de infrarrojo cercano. Para el resto de bandas cuenta con una resolución de 20 metros, y 60 metros para las bandas de aerosoles y vapor de agua (Tabla n°1).

Tabla N°1. Bandas tomadas por los sensores del satélite Sentinel A-2

Numero de banda	Función	Resolución espacial
1	Coastal aerosol	60m
2	Blue	10m
3	Green	10m
4	Red	10m
5	Vegetation Red Edge	20m
6	Vegetation Red Edge	20m
7	Vegetation Red Edge	20m
8	NIR	10m
8a	Vegetation Red Edge	20m
9	Water vapour	60m
10	SWIR-Cirrus	60m
11	SWIR	20m
12	SWIR	20m

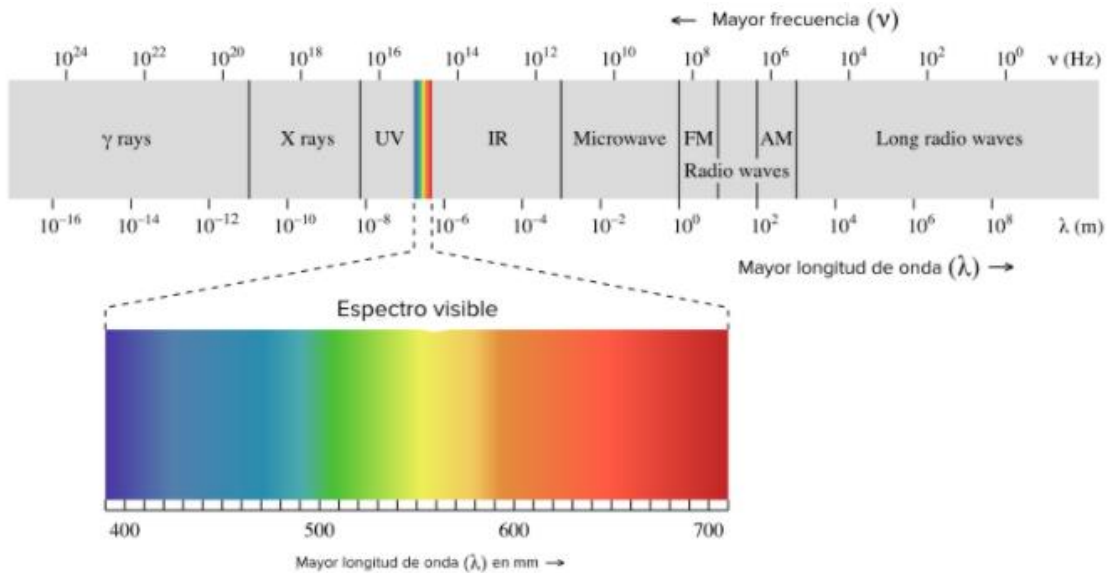
Elaboración propia en base a datos del Sentinel-2 User Handbook, ESA (2015).

2.6.2. Espectro electromagnético

La luz es una manifestación de la energía asociada a la radiación electromagnética y se describe como un campo electromagnético (con descripción ondulatoria), o como fotones (con descripción como partícula). Tanto las ondas como los fotones se desplazan en el espacio a la velocidad de la luz, componiendo el espectro electromagnético. Este espectro se divide en diferentes regiones sin fronteras rígidas entre regiones adyacentes (Figura n°1).

Se utilizan dos parámetros para referirse al espectro electromagnético que son la frecuencia y la longitud de onda (Fontal, 2005), encontrándose toda la luz que el ojo humano puede comprender en una pequeña sección de estas. Al contrario ocurre con las bandas satelitales que, según el sensor que toma la exposición, pueden ordenar bandas con la información de grandes regiones del espectro electromagnético.

Figura N°1. Espectro electromagnético



Fuente: Patel *et al* (2020)

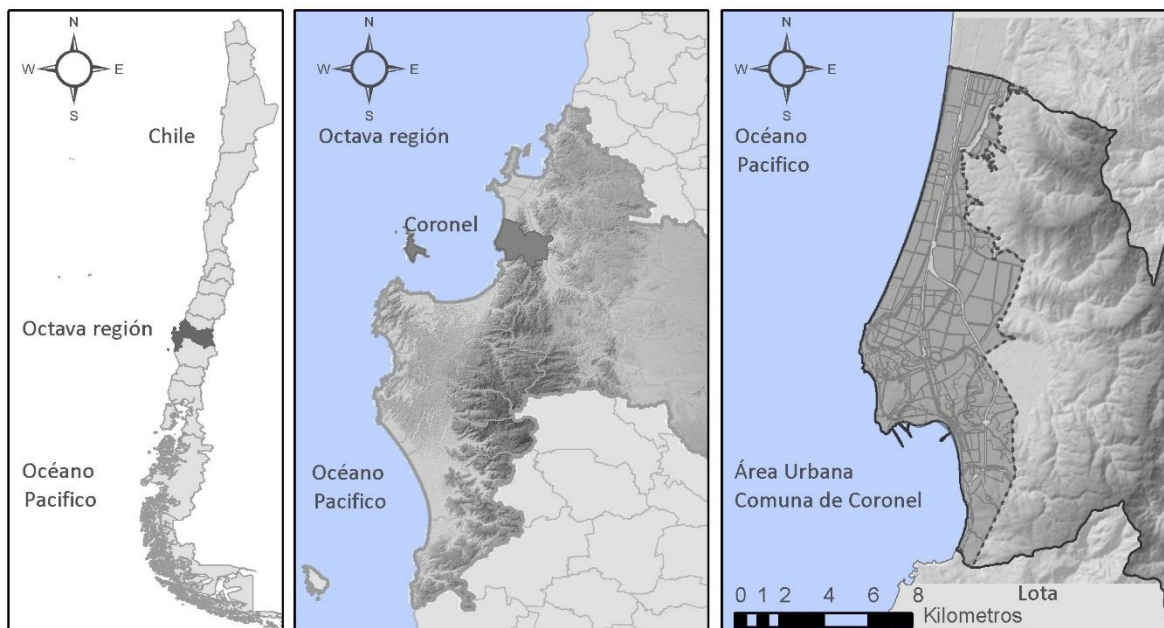
3. Área de estudio

El área de estudio se ubica en el área urbana de la comuna de Coronel, localizada en la octava región del Biobío, limitando al norte con la comuna de San Pedro de la Paz y al sur con la comuna de Lota. La comuna se emplaza sobre una gran planicie costera cuyas fronteras naturales limitan al oeste con el Océano Pacífico, al norte con el río Biobío y al este con la Cordillera de Nahuelbuta. Dicha cordillera se extiende desde el río Biobío al sur, siendo recorrida por numerosos afluentes y esteros, que dirigen sus aguas en dirección oeste hacia el mar, donde cruzan las planicies costeras alimentando cuerpos de agua como La Posada y Quiñenco, además de grandes humedales como los de Boca Maule, Calabozo, Junquillar y Paso Seco (B.D.C.N 2011).

El clima es templado-cálido, caracterizado por una temporada de lluvias de 6 meses, con precipitaciones que se extienden desde abril hasta septiembre (Biro, 1979).

La comuna cuenta con una superficie de 27.900 Ha, de las cuales 6.118 Ha son ocupadas por el área urbana (PRC). Su población se estima, al 2022, en 127.202 habitantes (INE), cuya principal actividad económica es el rubro industrial, presente al norte del área urbana, seguido de actividades pesqueras y funciones portuarias.

Mapa N°1. Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

4. Metodología

En consideración con la hipótesis y los objetos de estudio se plantean una serie de procesos metodológicos abajo descritos.

4.1. Clasificación de coberturas

El primer objetivo de trabajo se centró en el reconocimiento, mediante teledetección y sensoramiento remoto, de las áreas donde se localizan plantas hidrófitas y cuerpos de agua, para su posterior clasificación por coberturas. Esta labor se llevó a cabo con la herramienta de clasificación supervisada que contiene Envi 4.5, que permite realizar clasificaciones georreferenciadas de atributos en base a firmas espectrales de coberturas en las bandas satelitales seleccionadas.

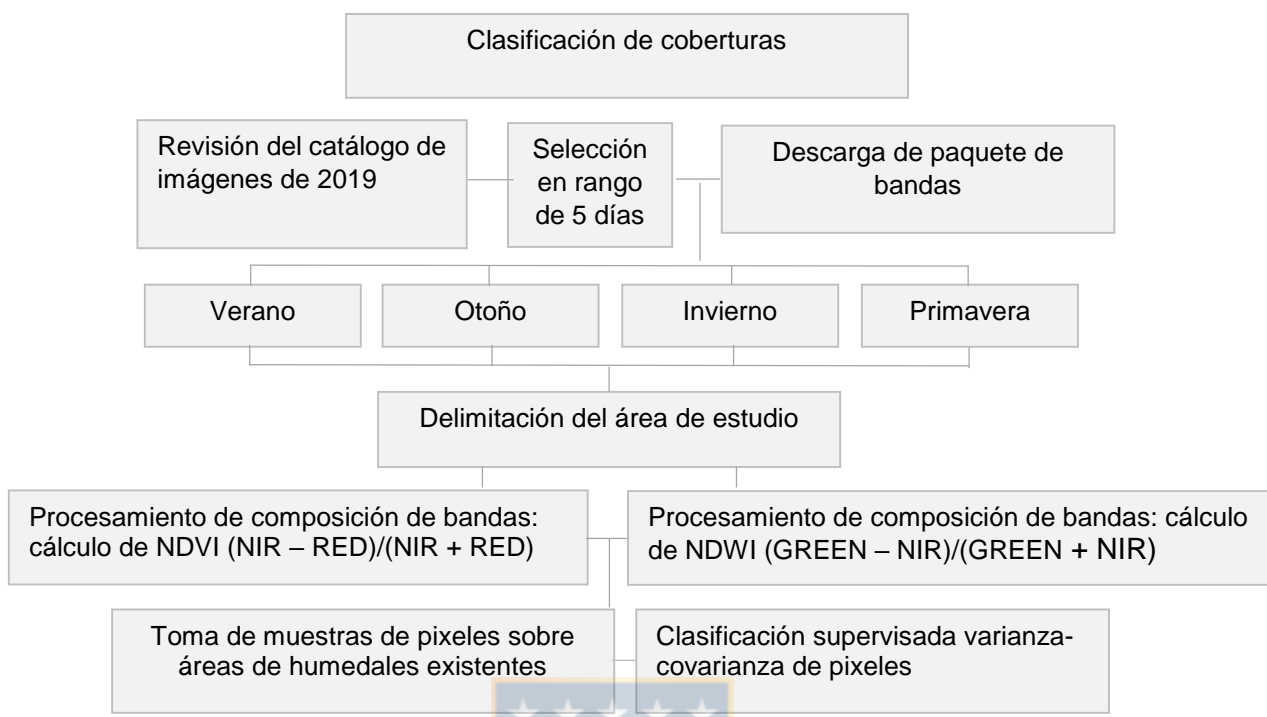
Se utilizaron imágenes de 2019 obtenidas del satélite Sentinel 2-A en formato de 10 bandas, de las cuales se seleccionaron un paquete de imágenes por cada estación en un rango de 5 días desde el inicio de la misma. Igualmente, del paquete de imágenes de cada una de las estaciones se seleccionaron las bandas que corresponden en una composición

de índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e índice de Aguas de Diferencia Normalizada (NDWI), que realzan las coberturas significativas de los objetivos. De la composición de los índices se tomaron píxeles muestrales para obtener el rango de valores espectrales de las coberturas, para su posterior clasificación en Envi 4.5 con la finalidad de identificar coberturas similares dentro del área de estudio.

La composición de imagen se clasificó en relación a la metodología utilizada por Del Toro *et al.*, (2015), utilizando el vector de medidas y la matriz de varianzas-covarianzas para estimar la probabilidad de que un píxel dado pertenezca a cada una de las clases previamente extraídas como muestras en formato de región de interés (ROI). Así, los píxeles se asignaron a la clase cuya probabilidad de pertenencia fuera mayor, logrando con esto una clasificación de coberturas para graficar la información de las firmas espectrales de las zonas en las que se encuentran plantas hidrófitas, generando áreas homogéneas que delimitaron el paisaje en parches.

Las coberturas generadas en este proceso, que responde al rango de medidas de los píxeles muestrales, graficaron la posición de los usos de suelo en el área de estudio. Los archivos de polígonos de las coberturas se añadieron como capa al Plano Regulador Comunal, que contiene el área urbana funcional. Esta área fue la que se analizó en búsqueda de plantas hidrófitas y cuerpos de agua para seleccionar, posteriormente, los puntos de muestreo en terreno (Figura n°2).

Figura N°2: Esquema del primer objetivo



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Muestreo de plantas hidrófitas

El muestreo en terreno de plantas hidrófitas tuvo como objeto inventariar y georreferenciar parte de la flora acuática de los humedales reconocidos previamente. Para la selección del área de recolección se recurrió a los resultados de la clasificación de coberturas, que, al incluir como capa la información vectorizada del Plan Regulador Comunal, permitió obtener las zonas donde limitan o se superponen suelos identificados como humedal con los suelos tipificados como zona residencial mixta.

Los muestreos se realizaron en los márgenes de los cuerpos de agua, donde se identificaron plantas acuáticas, subacuáticas y tolerantes, de las cuales se tomaron fotografías y posición dentro de la zona que ocupan en el humedal ya fueran emergidas, sumergidas o flotantes.

4.3. Muestreo de suelos hidromorfos

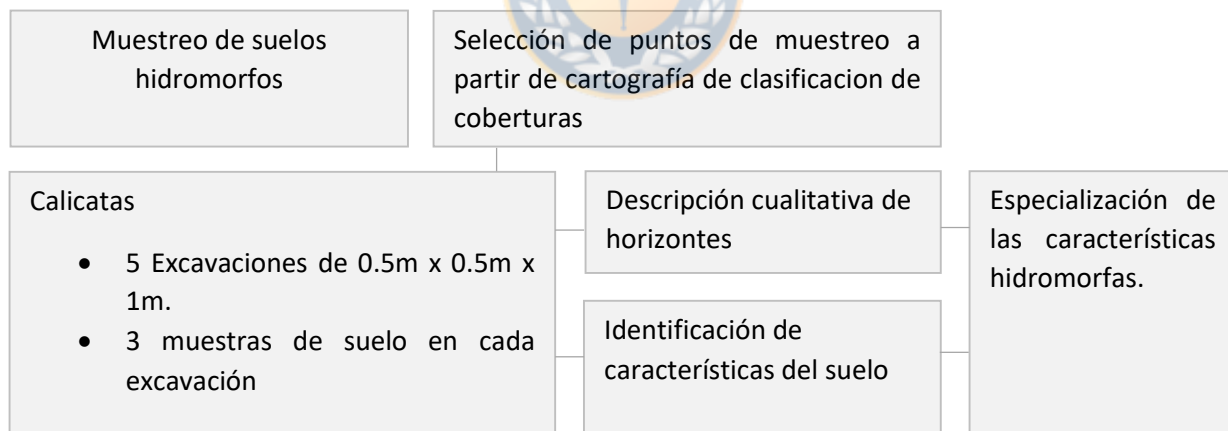
La selección de puntos de muestreo en terreno para identificar suelos hidromorfos se definió sobre la clasificación de coberturas, donde se delimitaron tres zonas de excavación

mediante calicata, técnica que permite conocer el desarrollo y las características del suelo a través de la descripción morfológica de sus horizontes individuales, la profundidad del nivel freático y la disponibilidad de nutrientes y otros elementos químicos (Christian, 2008).

La primera zona de muestreo, designada como Z1, se localiza al norte de la población Villa Escuadrón Oriente; mientras que la segunda, Z3, se ubica al sur de la misma. Cabe reseñar que, en el planteamiento inicial, se consideró otra área muestral en la zona este denominada Z2, si bien la negativa de sus propietarios a facilitar el acceso obligó a prescindir de este tercer sector.

Se realizaron cinco excavaciones con dimensiones de 0.5m x 0.5m x 1m. En cada una se recolectaron tres muestras a diferente profundidad, a saber, 10 cm, 20 cm y 50 cm. Posterior a la recolección, y con el fin de identificar la clase de suelo conforme a los estándares de USDA, se analizaron, en laboratorio: porcentaje de humedad mediante higrómetro, peso inicial en fresco, peso final tras secado, color en húmedo y en seco con tabla Munsell, estructura de agregados, contenido en materia orgánica, pH y contenido en grava, arena, limo y arcilla

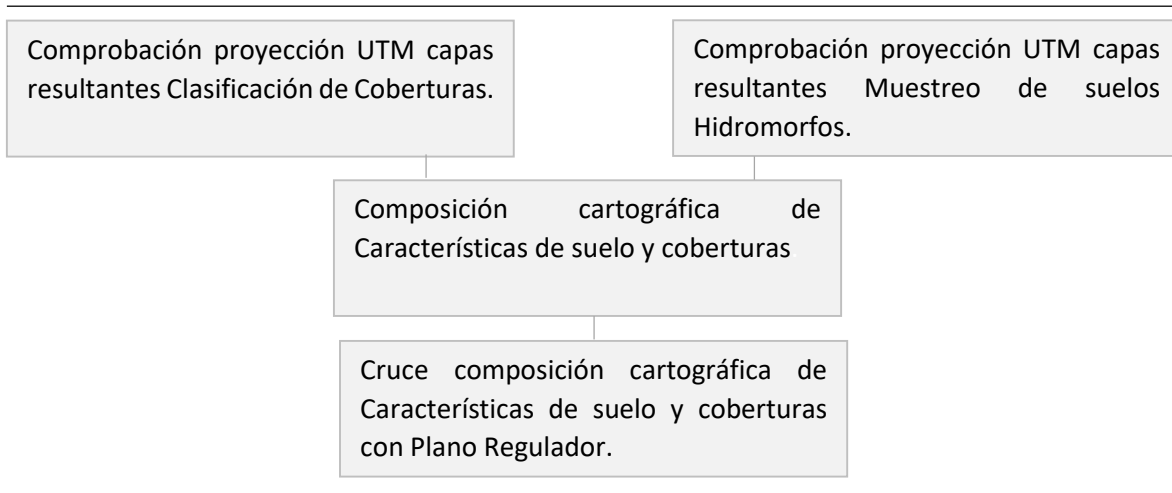
Figura N°3: Esquema del segundo objetivo



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados se espacializaron en una cartografía en formato vectorial con la finalidad de contrastar esta última con la cartografía de clasificaciones por cobertura del Plan Regulador.

Figura N°4: Esquema cruce de información y espacialización de resultados de laboratorio.

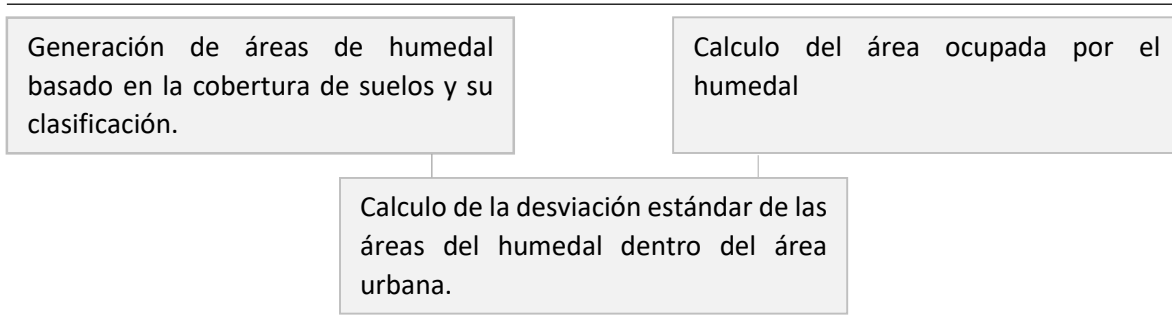


Fuente: Elaboración propia.

4.4. Procesamiento estadístico

La estimación estadística de las áreas identificadas como humedal se realizó a partir de los polígonos resultantes de la clasificación de cobertura, comprendiendo como humedal el área que ocupan las plantas hidrófitas y los suelos con características hidromorfas. A partir de estos datos, se calculó el área ocupada por el humedal y su distribución en todas las estaciones del año, todo ello complementado con procesamiento de la desviación estándar de las zonas resultantes para obtener el grado de dispersión de las áreas de humedal.

Figura N°5: Esquema del cuarto objetivo



Fuente: Elaboración propia.

5. Resultados

5.1. Clasificación de coberturas

Con el objetivo de conocer la distribución de las coberturas del área de estudio en función de las áreas ocupadas por las plantas acuáticas, subacuáticas y tolerantes, así como por los cuerpos de agua; se trabajaron áreas históricamente reconocidas como humedales.

La primera parte para la clasificación de coberturas consistió en la recolección de bandas del satélite Sentinel 2-A, priorizando las fechas de inicio de las estaciones del año en el hemisferio sur, así como un rango de 5 días antes y después de la fecha inicial con el fin de obtener la imagen con mejor cobertura y menor nubosidad (Tabla n°2). Para las fechas cercanas a verano, el rango de búsqueda fue ampliado hasta la fecha donde se encontró la exposición adecuada debido a la gran nubosidad de la zona o la falta de coberturas.

Tabla N°2: Fechas de toma de imagen por el sensor del satélite Sentinel 2A.

Fecha inicio de estación	Fecha de toma de exposición por el sensor
Otoño: 20 de marzo	Fecha de imagen: 20 de marzo
Invierno: 21 de junio	Fecha de imagen: 22 de junio
Primavera: 21 de septiembre	Fecha de imagen: 19 de septiembre
Verano: 21 de diciembre	Fecha de imagen: 15 de diciembre

Fuente: Elaboración propia.

Las bandas satelitales se sometieron a corrección atmosférica para mejorar los valores por pixel y calidad visual de la imagen mediante el método DOS1 Sentinel 2^a. La corrección atmosférica DOS1 (Dark Object Subtraction), o método de extracción de pixel oscuro, corrige los efectos de dispersión de la radiación electromagnética, restando de las bandas corregidas los valores que esta agrega a los pixeles, aceptando que cualquier valor muy bajo de reflectancia podría ser resultado de dispersión atmosférica (Chavez, 1988).

La composición del Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada (NDVI) se realizó según los parámetros de Ashok *et al.*, (2021), donde se consideran valores entre -1 y +1, tomando el valor 0 como cubiertas sin vegetación (suelo descubierto, glaciares, nieve,

cuerpos de agua, etc). Las bandas usadas corresponden al NIR (Infrarrojo cercano) y RED (rojo), siendo estas las bandas 4 y 8 del Sentinel 2A. Su expresión es la siguiente:

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

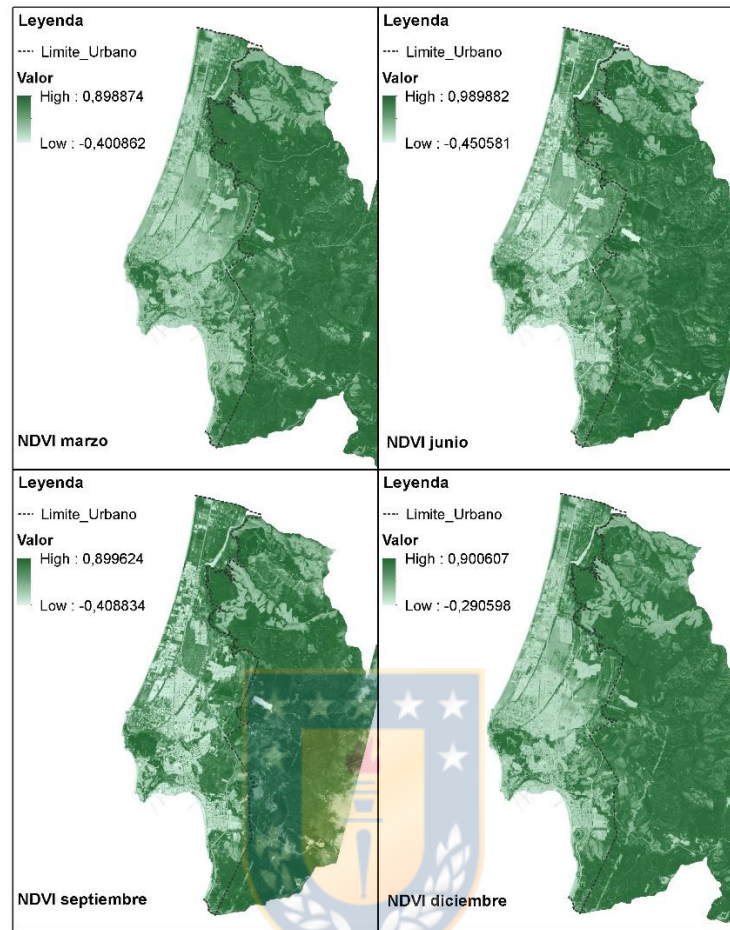
Los valores de NDVI para las cuatro estaciones de 2019 se ordenan en los rangos de la Tabla n°3 y se muestran espacializados en la Figura n°6.

Tabla N°3. Valores de NDVI por fecha de composición de bandas.

Fecha composición de bandas	Valores cercanos a -1	Valores Cercanos a +1
Otoño: 20 de marzo	-0,400	0,898
Invierno: 22 de junio	-0,450	0,989
Primavera: 19 de septiembre	-0,408	0,899
Verano: 15 de diciembre	-0,290	0,900

Fuente Elaboración propia.

Figura N°6. Rangos de NDVI por estación



Fuente. Elaboración propia

Los valores del Índice de Aguas de Diferencia Normalizada (NDWI) están estrechamente relacionados con el contenido en agua de las coberturas vegetales y de las tierras inundadas, de manera que se utiliza para medir el estrés hídrico de las plantas (Ashok *et al.*, 2021). Para el cálculo del NDWI se considera la reflectancia de la vegetación verde y seca, cuyos rangos oscilan entre -1 a +1. Las bandas usadas corresponden Green (verde) y NIR (infrarrojo cercano), siendo estas las bandas 8 y 3 del Sentinel 2A. Su expresión es la siguiente:

$$NDWI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$$

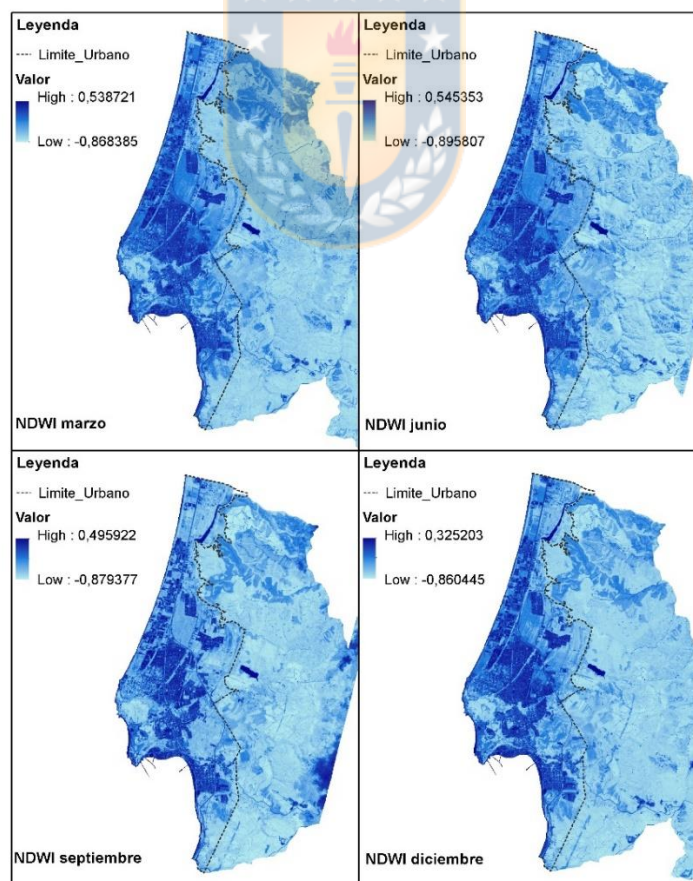
Los valores de NDWI, para las cuatro estaciones de 2019, se ordenan en los rangos de la Tabla n°4 y se muestran espacializados en la Figura n°7.

Tabla N°4. Valores de NDWI por fecha de composición de bandas.

Fecha composición de bandas	Valores cercanos a -1	Valores Cercanos a +1
Otoño: 20 de marzo	-0,868	0,538
Invierno: 22 de junio	-0,895	0,545
Primavera: 19 de septiembre	-0,879	0,495
Verano: 15 de diciembre	-0,860	0,325

Fuente: Elaboración propia

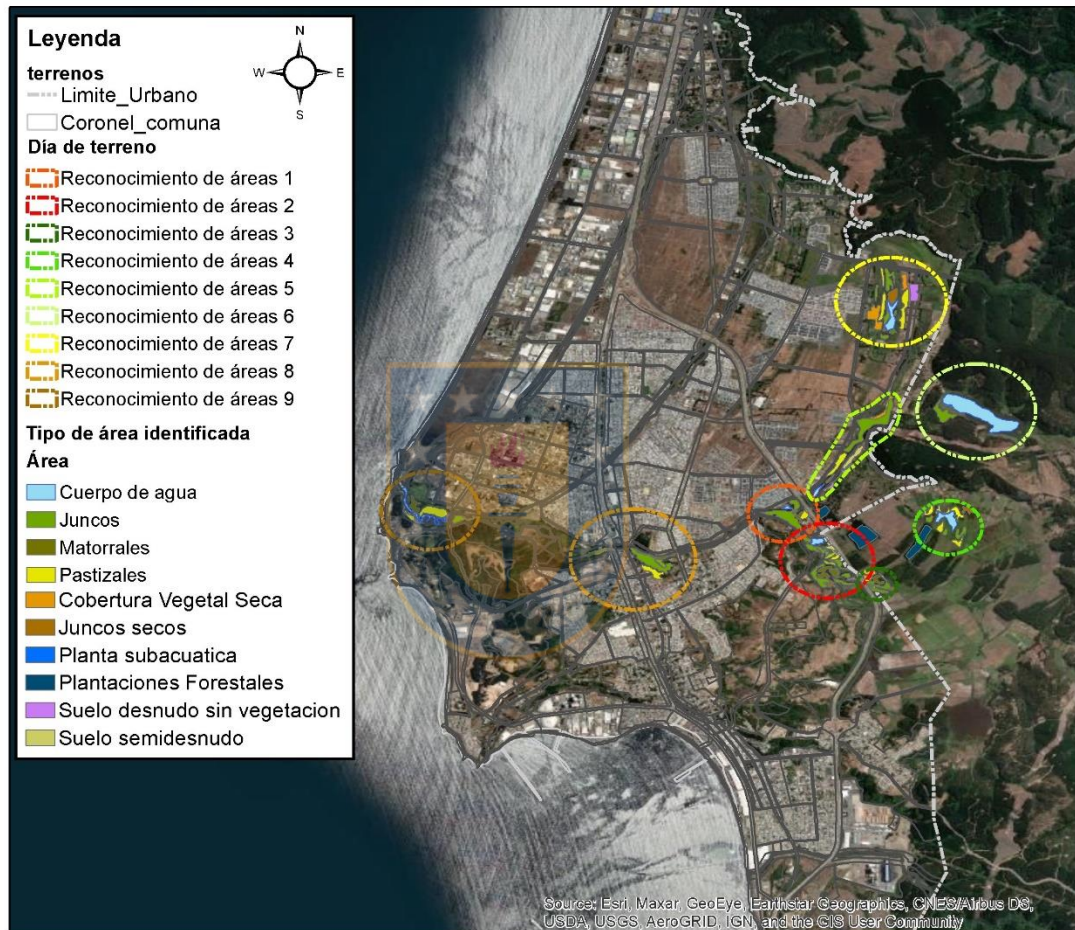
Figura N°7. Rangos de NDWI por estación



Fuente. Elaboración propia.

A continuación, y previo a la extracción de píxeles muestrales para clasificación supervisada, se acudió a terreno para complementar esta información, donde se identificaron y georreferenciaron las zonas cubiertas por cuerpos de agua y vegetación hidrófita (Mapa n°2).

Mapa N°2. Áreas de reconocimiento en terreno de las coberturas identificadas



Fuente. Elaboración propia

Los polígonos y puntos resultantes del reconocimiento en terreno de las coberturas, fueron posteriormente cotejados en Google Earth. Tras confirmar su ubicación, la información fue trabajada con el programa ENVI 4.5 para la obtención de regiones de interés (ROI), desde los cuales se tomaron los rangos de los valores utilizados en la clasificación de coberturas. Los valores de las regiones de interés fueron contrastados con

el NDVI y el NDWI de cada estación para rastrear variaciones estacionales lo suficientemente significativas para incrementar o disminuir el rango de muestreo, obteniendo como resultado diez clases de cobertura del NDVI (Tabla n°5) y tres clases de cobertura del NDWI (Tabla n°6). Reseñar que los rangos de valores de las coberturas del NDWI se trabajaron en tres categorías debido a la escasa diferencia entre las áreas de control en terreno, por lo cual se generaron dos rangos fuera de los valores que se encontraban dentro de las áreas demarcadas, priorizando el valor central para la clasificación supervisada.

Tabla N°5. Rangos de valor de las coberturas del NDVI

Tipo de cobertura NDVI	Valor mínimo	Valor máximo
1- Trama urbana	0	0,11
2- Suelo desnudo sin vegetación	0,11	0,17
3- Suelo semidesnudo	0,17	0,2
4- Cobertura vegetal seca	0,2	0,28
5- Planta subacuática	0,28	0,38
6- Juncos secos	0,38	0,51
7- Juncos	0,51	0,59
8- Pastizales	0,59	0,6
9- Pastizales y arbustos	0,6	0,73
10- Plantaciones forestales	0,73	0,79

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°6. Rangos de valor de las coberturas del NDWI

Tipo de cobertura NDWI	Valor mínimo	Valor máximo
1- Coberturas no correspondiente a vegetación	0,54	-0,68
2- Coberturas correspondiente a zonas húmedas	-0,68	-0,52
3- Coberturas correspondiente a plantaciones forestales	-0,52	-0,89

Fuente: Elaboración propia.

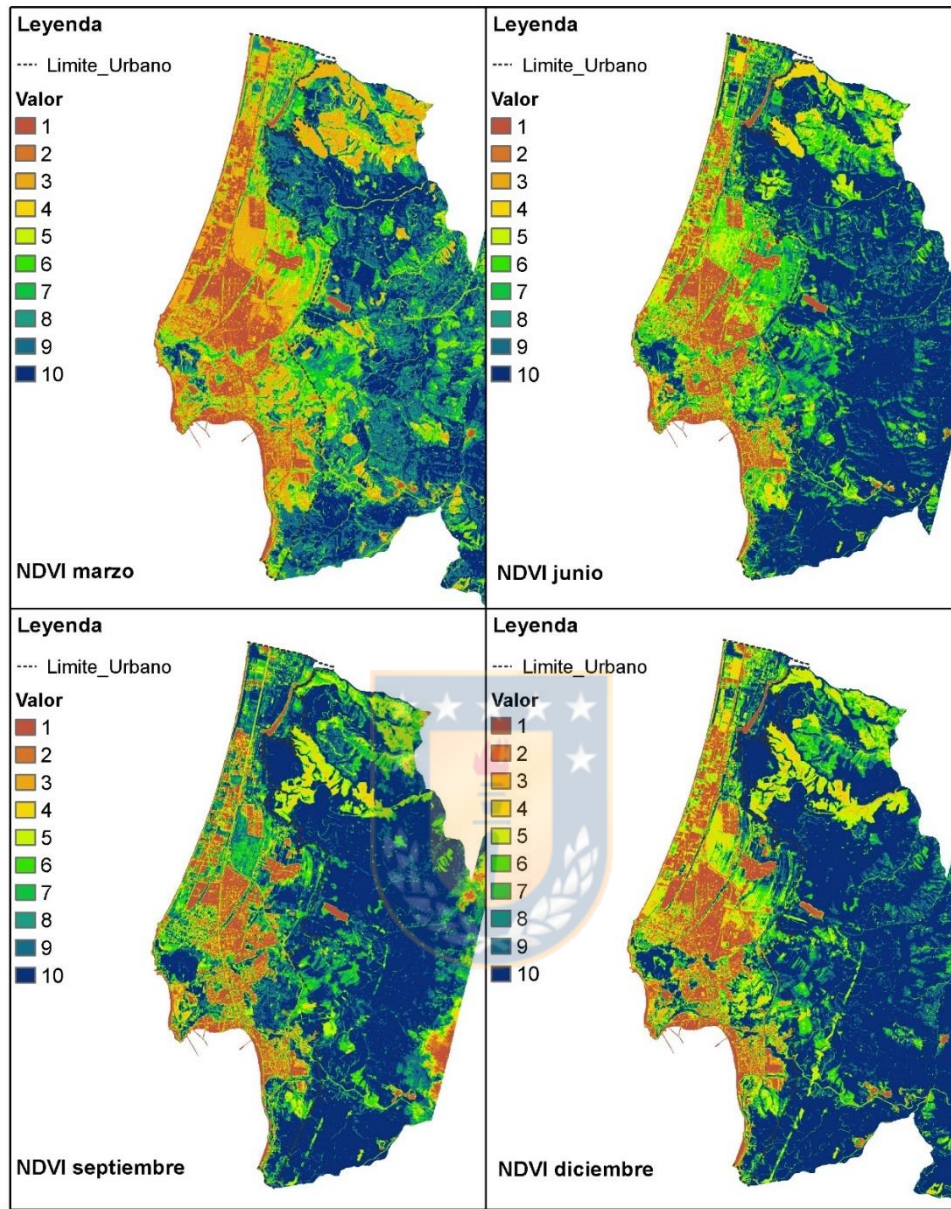
El proceso de clasificación supervisada se realizó con el “*método de clasificación maximun likelihood*” del Envi 4.5, que parte del supuesto de que los valores de los pixeles de cada clase siguen una distribución de probabilidad normal multivariante, el que utiliza el











vector de medidas y la matriz de varianzas-covarianzas para estimar la probabilidad de que un pixel dado pertenezca a cada una de las clases, asignándose finalmente los pixeles a la clase cuya probabilidad de pertenencia sea mayor (Del Toro *et al.*, 2015). Para el uso de esta herramienta es necesario demarcar zonas de control o regiones de interés (ROI), las cuales requieren altas cantidades de pixeles, sirviendo esto a la mejora en la interpretación de la zona señalada para la posterior clasificación de coberturas.

El trabajo en la herramienta de clasificación supervisada se realizó por estación del año, previamente compuesta con los índices NDVI y NDWI, añadiendo las regiones de interés (ROI) a cada una de las cuatro imágenes estacionales para así completar la clasificación desde los valores obtenidos en terreno. Como resultado se obtuvieron las áreas ocupadas por los tipos de vegetación (Figura n°8), así como las áreas húmedas (Figura n°9).



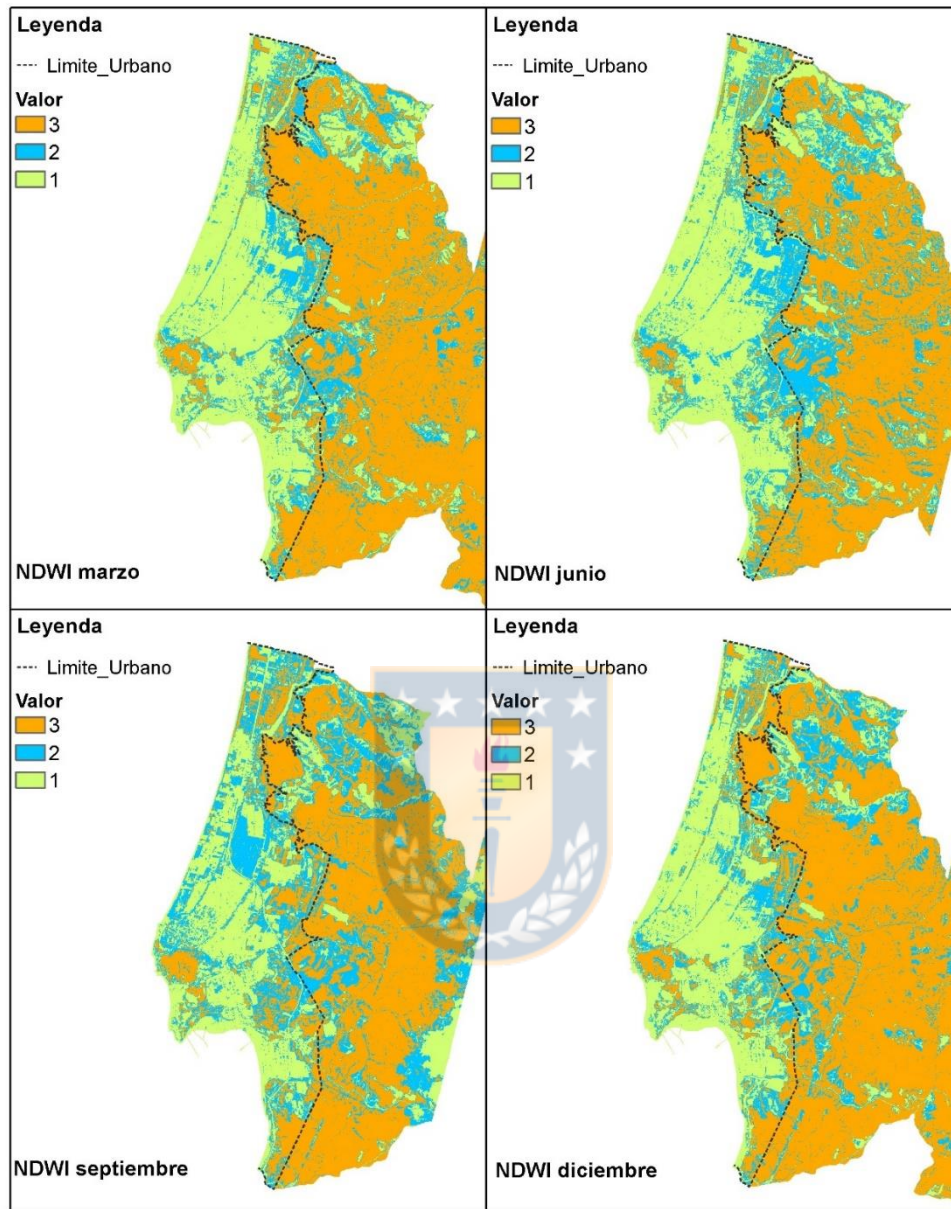
Figura N°8. Clasificación NDVI por estación



- | | | | |
|-----------------------------------|---|-----------------------------|---|
| 1- Trama urbana |  | 6- Juncos secos |  |
| 2- Suelos desnudos sin vegetación |  | 7- Juncos |  |
| 3- Suelo semidesnudo |  | 8- Pastizales |  |
| 4- Cobertura vegetal seca |  | 9- Pastizales y arbustos |  |
| 5- Planta subacuática |  | 10- Plantaciones forestales |  |

Fuente. Elaboración propia

Figura N°9. Clasificación NDWI por estación



1- Coberturas no correspondiente a vegetación
3- Coberturas correspondiente a plantaciones forestales



2- Coberturas correspondiente a zonas húmedas



Fuente. Elaboración propia

Estas coberturas fueron posteriormente superpuestas al Plano Regulador de la comuna (Mapas n°3, n°4, n°5 y n°6) para estimar la superficie de humedal considerada, en la

actualidad, como suelo urbanizable. Las coberturas resultantes de la composición entre los índices NDVI e NDWI superpuestas al Plano Regulador Comunal permiten identificar 3.809,63 Ha de superficie de humedal, de las cuales, 1.984,47 Ha corresponden al área urbana (Tabla n° 7). Estas últimas se encuentran designadas (Mapas n°3, n°4, n°5 y n°6) como ZU-6, ZU-8, ZU-9 (zonas mixtas residenciales).

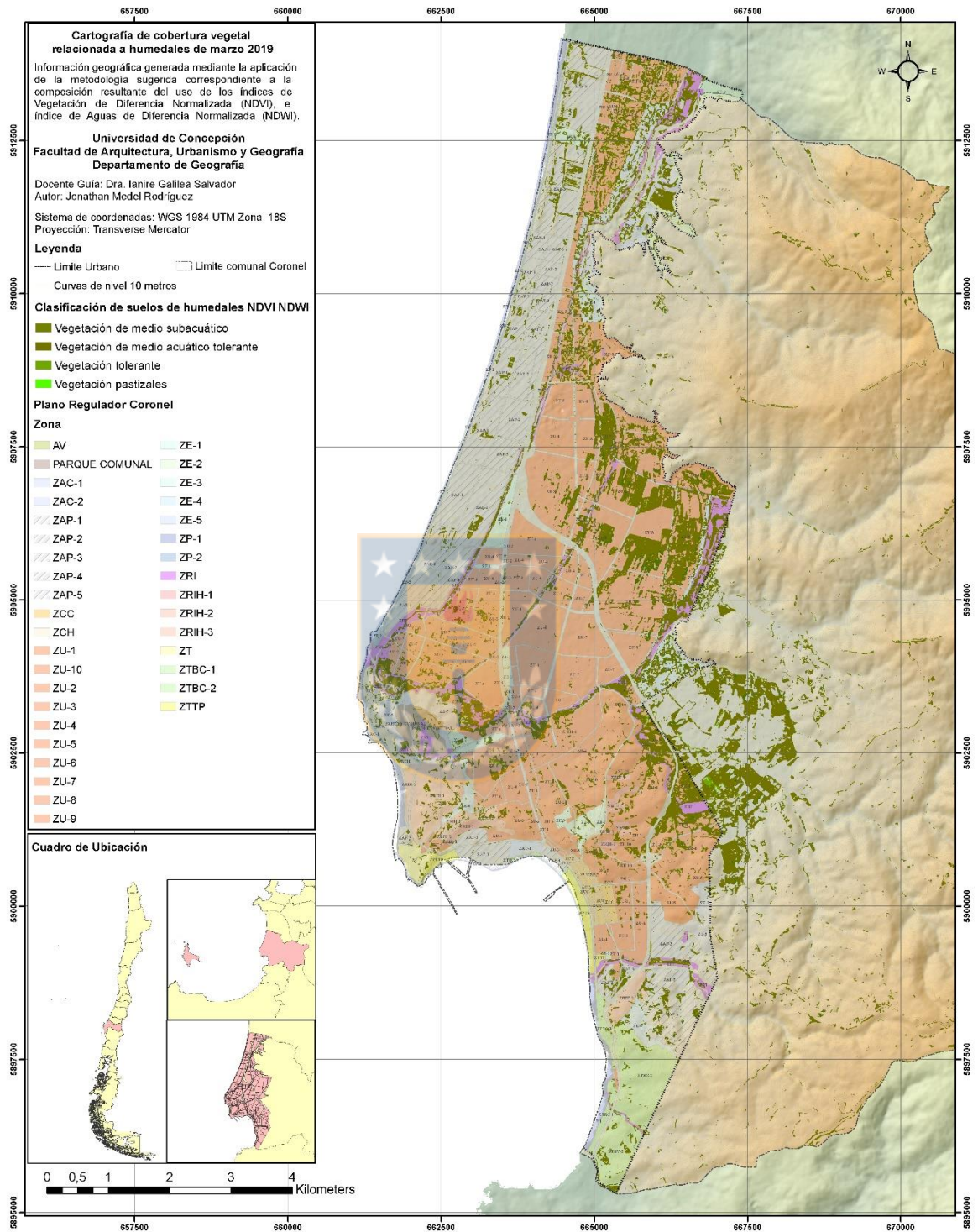
Tabla N°7: Superficie en Ha de los humedales identificados

Fecha	Superficie identificada dentro del área urbana	Superficie total identificada en la comuna
1. 20 de marzo	759,18 ha	1879,79 ha
2. 22 de junio	926,21 ha	1313,92 ha
3. 19 de septiembre	1395,41 ha	1884,47 ha
4. 15 de diciembre	712,25 ha	2067,17 ha

Fuente: Elaboración propia.

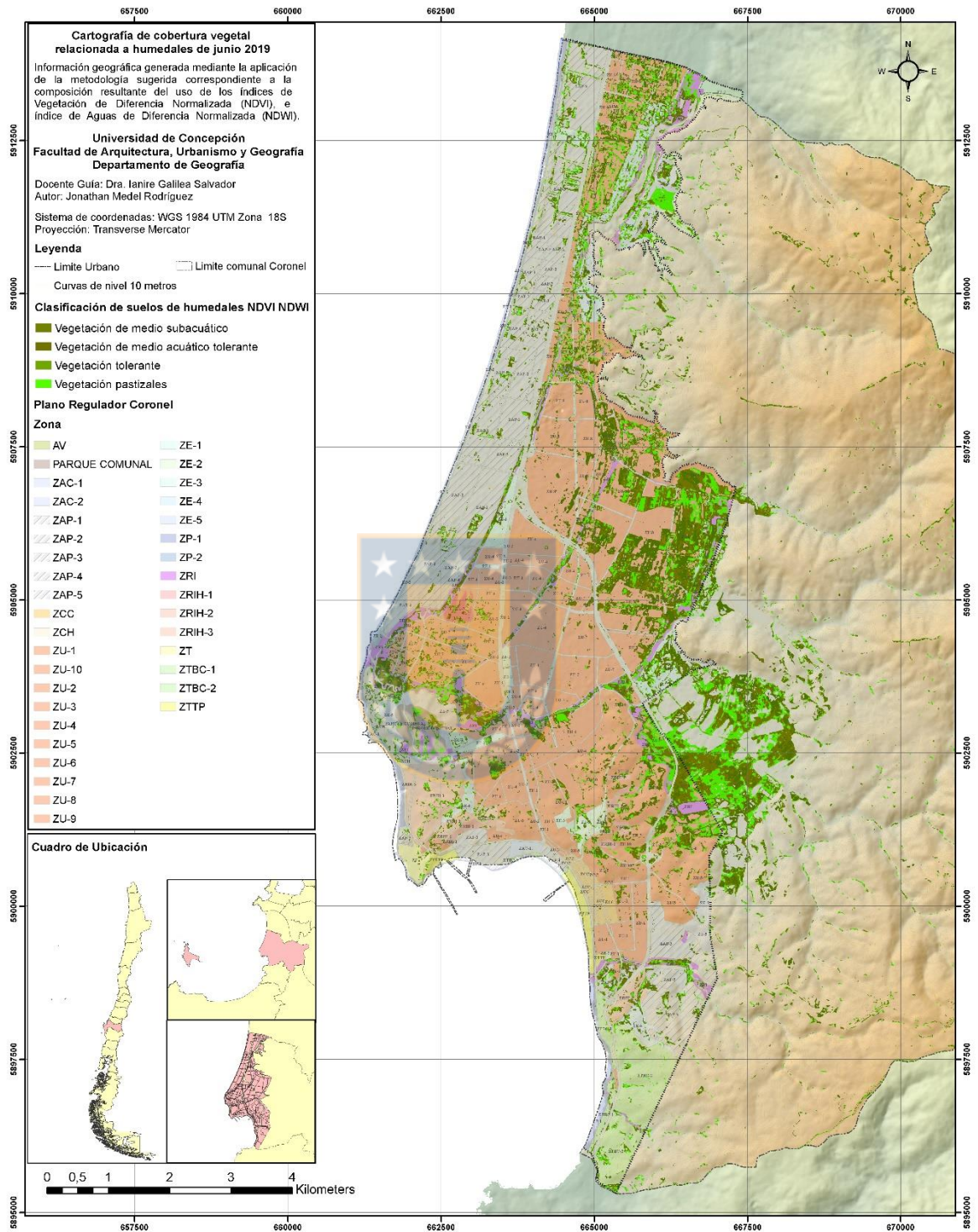


Mapa N°3. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de marzo sobre el Plano Regulador.



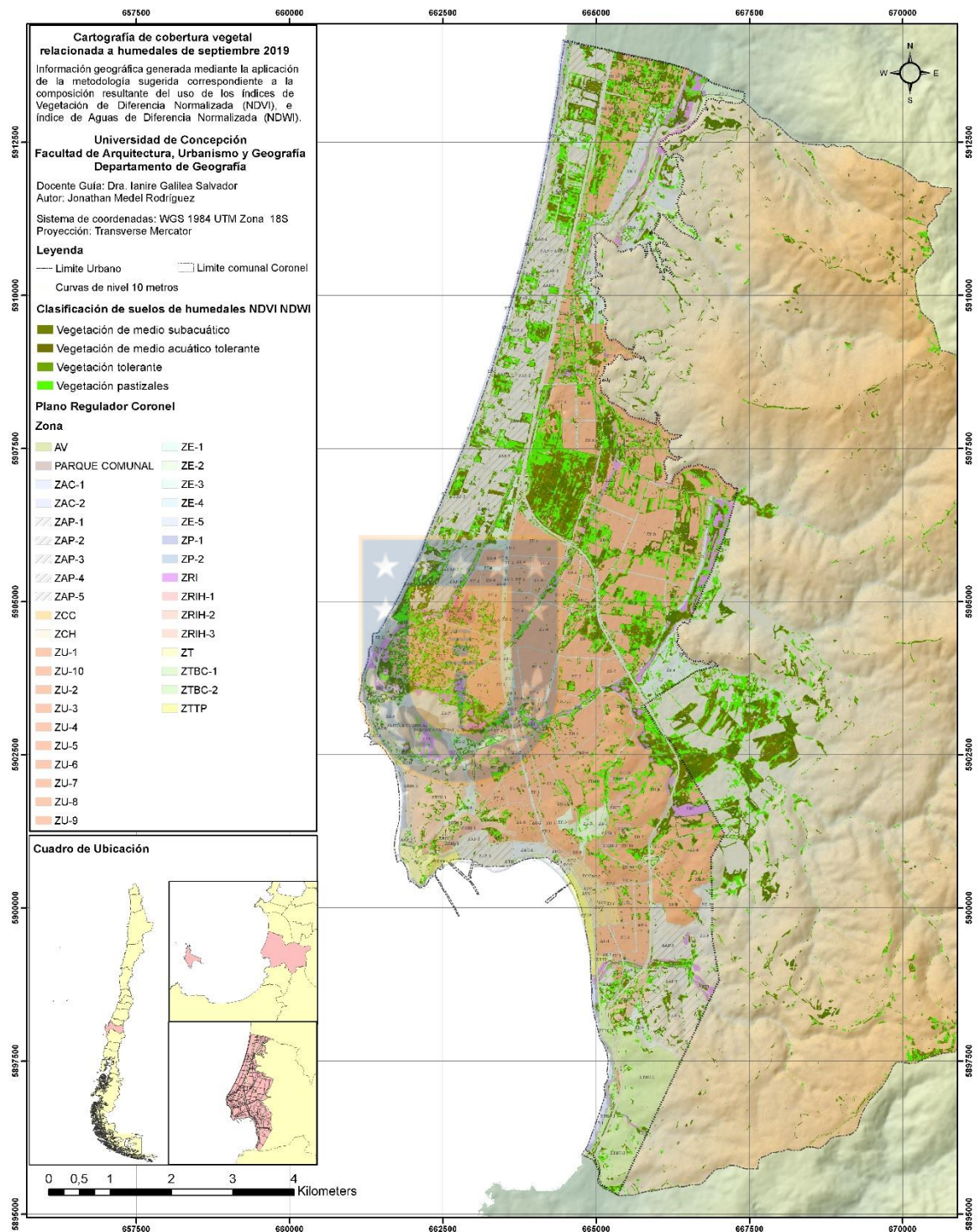
Fuente: Elaboración propia

Mapa N°4. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de junio sobre el Plano Regulador



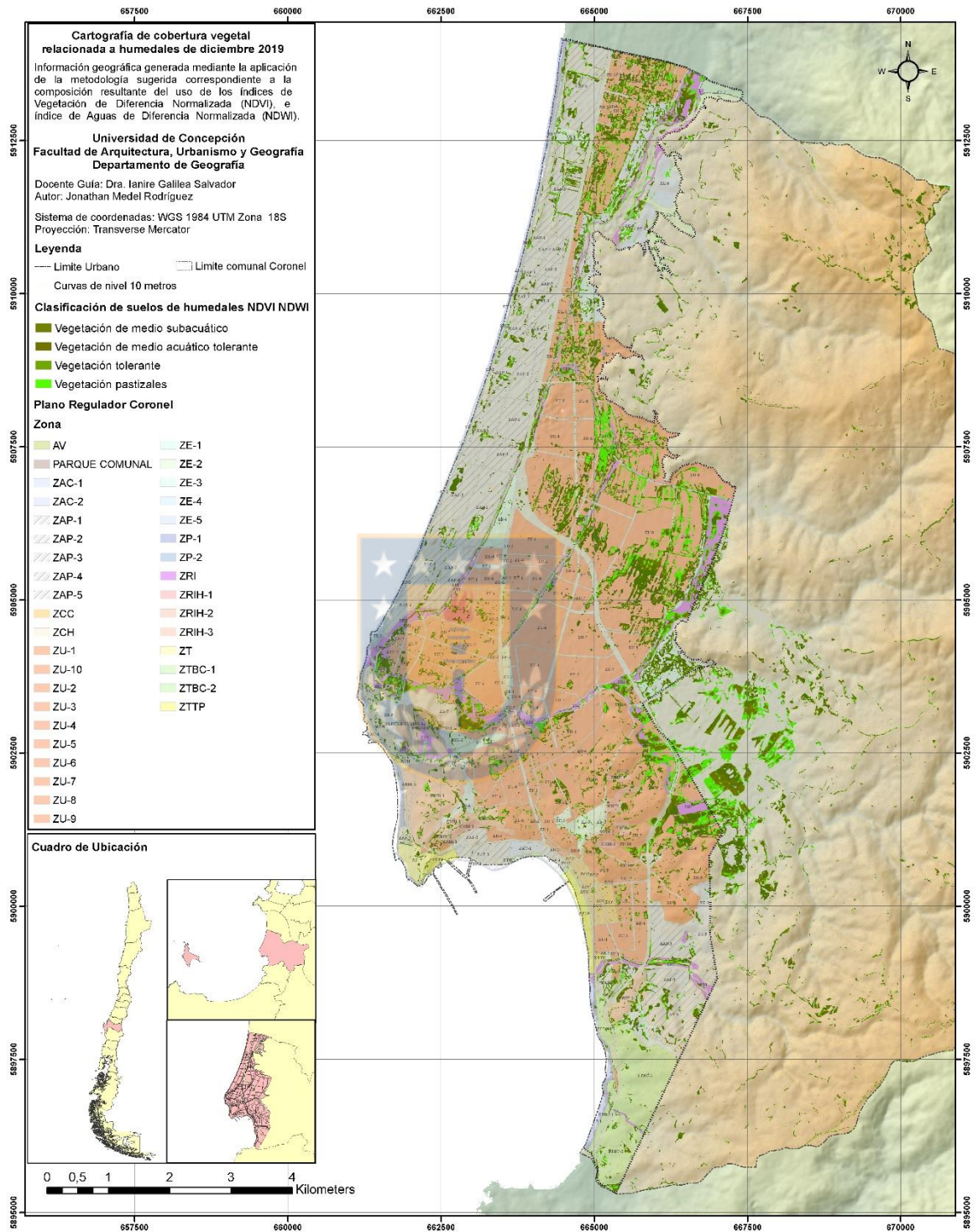
Fuente: Elaboración propia

Mapa N°5. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de septiembre sobre el Plano Regulador



Fuente: Elaboración propia

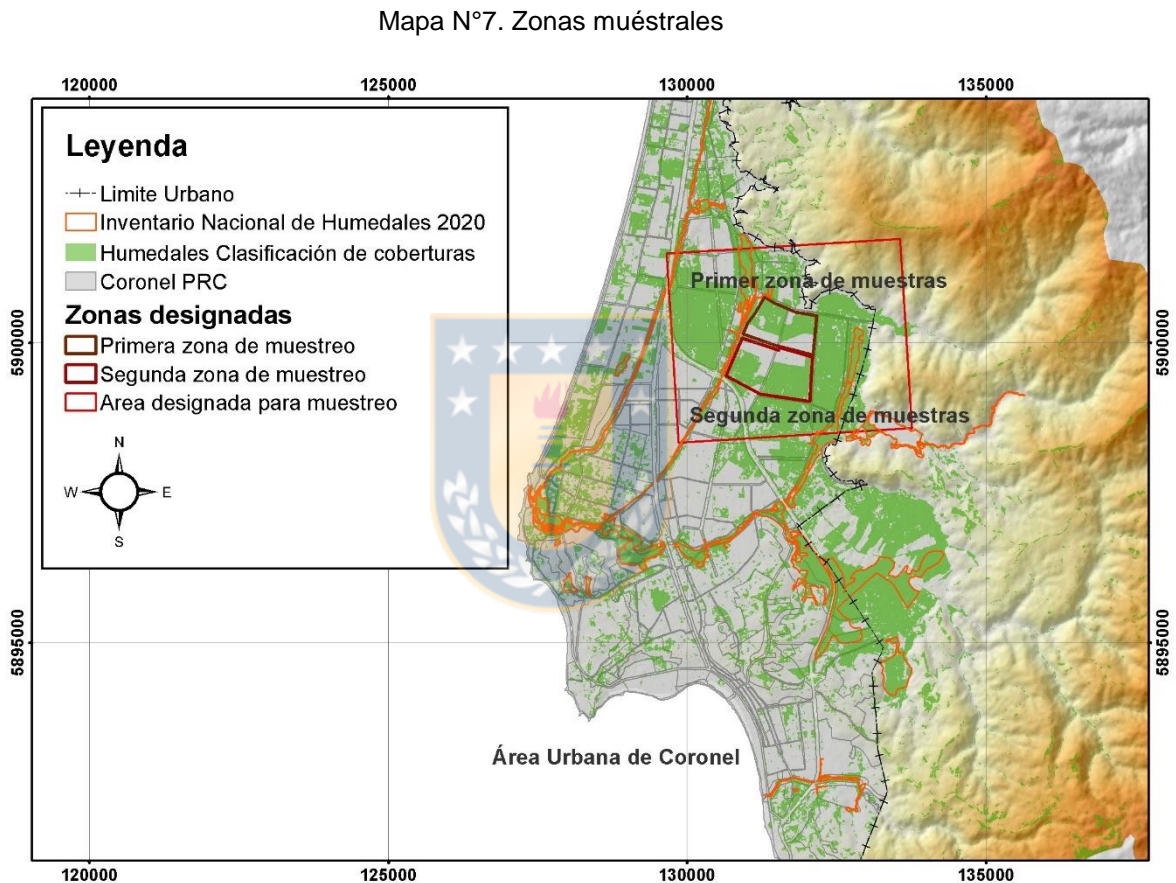
Mapa N°6. Clasificación de coberturas NDVI e NDWI de diciembre sobre el Plano Regulador



Fuente. Elaboración propia

5.2. Identificación de vegetación hidrófita

La identificación en terreno de vegetación hidrófita tuvo lugar en dos áreas muestrales (Mapa n°7) determinadas a partir de las cartografías de clasificación de coberturas NDVI y NDWI. En esta labor, iniciada en marzo de 2022, se tomaron fotografías y muestras de la flora encontrada tanto al interior como en los márgenes de los cuerpos de agua. Igualmente se anotaron las coordenadas de cada especie identificada.



Fuente. Elaboración propia.

La primera zona de muestreo se encuentra intervenida, en sus márgenes, por las obras de relleno de una constructora, de manera que esta actividad de alto impacto ha disminuido el área y volumen de vegetación hidrófita al cubrirla con arenas y gravas. Por otra parte, en el sector central se localizó una gran extensión de suelo húmedo cubierto por juncos y otras

especies vegetales (Foto n°1), posteriormente contrastadas con el Inventario Nacional de Especies de Chile (2020), las cuales se muestran en la Tabla n°8.

Foto N°1. Fotografía de la primera zona de muestras



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°8: Vegetación identificada en la primera zona de muestreo.

Registro de plantas sobre la primera zona de muestreo.

Nombre común: Junco

Nombre científico: *Juncus acutus*

Familia: Juncaceae

Hábitat: Suelos húmedos y pantanosos.



Nombre común: Poleo

Nombre científico: *Mentha Pulegium*

Familia: Lamiáceas

Hábitat: Variable



Nombre común: Cardo Negro, Cardilla

Nombre científico: *Carduus Pycnocephalus*

Familia: Asteraceae

Hábitat: Laderas asoleadas, suelos fuertemente erosionados



Nombre común: Chamico, Estramonio, Papa espinosa

Nombre científico: *Datura Stramonium*

Familia: Solanaceae

Hábitat: Prados y graveras, sobre sustratos arenosos o arcillosos



Nombre común: Cepacaballo, Albrojo, Clonqui

Nombre científico: *Xanthium Spinosum* L.

Familia: Compositáceas

Hábitat: Herbazales nitrófilos, terrenos removidos



Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, en la segunda zona de muestreo, se detectaron grandes parches de suelo húmedo cubierto por una espesa vegetación, de la cual, en volumen, destacaban cardos y juncos (Foto n°2, Tabla n°9).

Fotografía N°2. Fotografía segunda zona de muestras de plantas.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°9: Vegetación identificada en la segunda zona de muestreo.

Registro de plantas sobre la segunda zona de muestreo.

Nombre común: Junco

Nombre científico: *Juncus acutus*

Familia: Juncaceae

Hábitat: Suelos húmedos y pantanosos.



Nombre común: Cortadera, Lleivún

Nombre científico: *Cyperus difformis* (L)

Familia: Cyperaceae

Hábitat: Suelos encharcados



Nombre común: Cardo Negro, Cardilla
Nombre científico: *Carduus Pycnocephalus*
Familia: Asteraceae
Hábitat: Laderas asoleadas, suelos fuertemente erosionados



Nombre común:
Nombre científico: *Hydrocotyle umbellata*
Familia: Apiaceae
Hábitat: Suelos húmedos o encharcados



Nombre común: Duraznillo
Nombre científico: *Polygonum persicaria*
Familia: Polygonaceae
Hábitat: Suelos húmedos y pantanosos



Fuente: Elaboración propia.

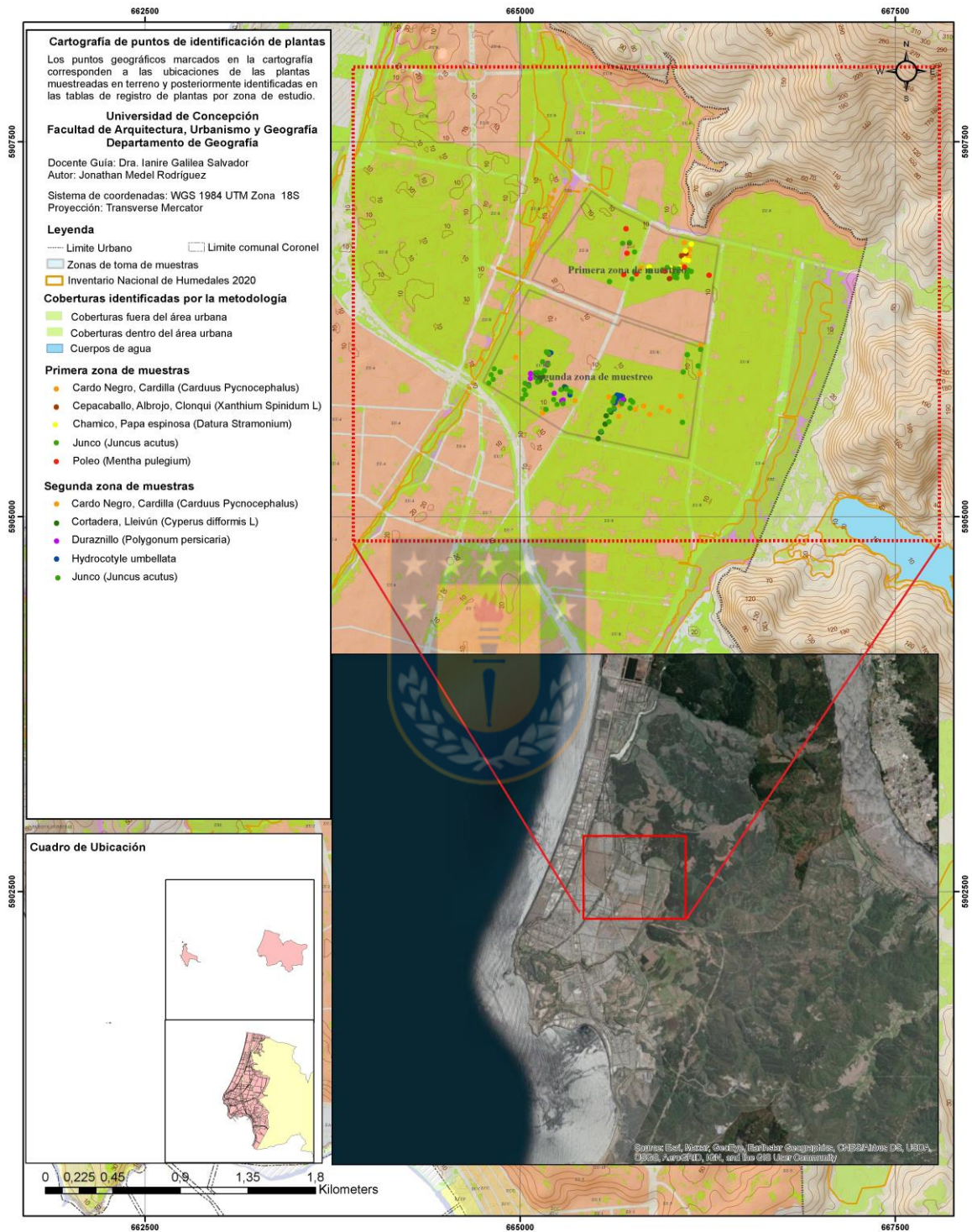
Del recorrido en terreno se pudo comprobar que las áreas ocupadas por vegetación se concentran en suelos de humedad superficial, igualmente identificados en temporada seca. En la primera zona de muestreo, los suelos están ocupados principalmente por juncos (*Juncus Acutus*), que cubren la mayor cantidad de superficie y se agrupan sobre las superficies más húmedas; mientras que el poleo (*Menthan Pulegium*) y el cardo negro (*Carduus Pycnocephalus*) se concentran sobre suelos arenosos y secos, la papa espinosa (*Datura Stramonium*) en suelos arenosos y el abrojo (*Xanthium Spinodum L*) sobre pequeños montículos de arenas.

En la segunda zona de muestreo se encontraron abundantes juncos (*Juncus Acutus*), ocupando las zonas más húmedas y sus márgenes, alternando con altas concentraciones de cortadera (*Cyperus difformis L*), ombligo de Venus (*Hydrocotyle umbellata*) y duraznillo (*Polygonum persicaria*).

En la siguiente cartografía (Mapa n°8) se muestra la ubicación de las plantas hidrófitas identificadas en terreno. En relación a la cartografía de coberturas NDVI y NDWI de marzo (Mapa n°3) la superficie vegetal se mantiene en los límites demarcados, a excepción del cardo negro situado a mayor distancia de los identificados como suelos de humedal, ya que se concentra sobre suelos secos cercanos a depósitos de arenas.



Mapa N°8. Localización de las plantas identificadas en terreno.



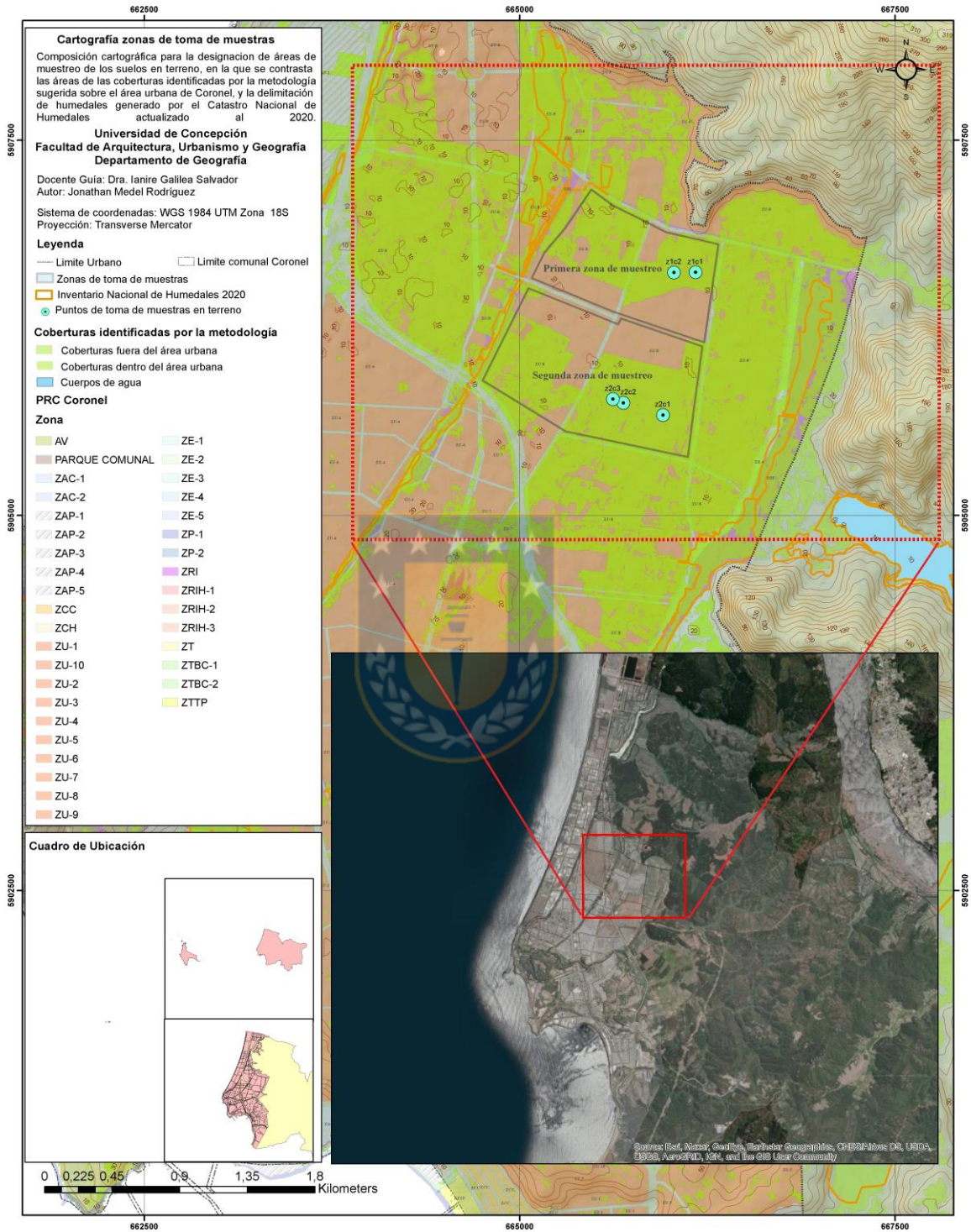
Fuente: Elaboración propia.

5.3. Muestreo y caracterización de suelos hidromorfos

Con la finalidad de confirmar las coberturas obtenidas en la primera etapa de trabajo, se procedió a la selección de zonas de muestreo sobre las áreas delimitadas por la clasificación supervisada y pertenecientes a zonas tipificadas como residencial mixta (ZU-8) por el Plano Regulador. Las áreas propuestas, ubicadas entre el estero Villa Mora y el estero Lagunillas, no están identificadas como humedal por el Inventario Nacional de Humedales. Previo al análisis in situ de sus suelos, se seleccionaron dos sectores de interés para ejecutar las excavaciones, siendo estas las menos afectadas por actividad antrópica. En la primera zona de excavación, Z1C, se seleccionaron dos puntos de muestreo (Z1C1 y Z1C2), mientras que, en la segunda zona de excavación, Z2C, fueron tres los puntos seleccionados (Z2C1, Z2C2 y Z2C3) (Mapa n°9).



Mapa N°9. Áreas de muestreo seleccionadas sobre la clasificación de suelos y el Catastro Nacional de Humedales de 2020.



Fuente: Elaboración propia.

La zona Z1C (Foto n°3), cercana a depósitos de arenas negras, contaba con poca humedad superficial, así como un reducido volumen de plantas. El primer sitio de excavación, Z1C1, se realizó sobre una superficie más bien seca y con rala cobertura de juncos, mientras que el segundo sitio, Z1C2, contaba con un mayor volumen de humedad y presencia vegetal. Mediante cotejo con la tabla cromática Munsell, se determinó el color y la estructura en húmedo de las muestras a diferentes profundidades. Ambas muestras tienen una estructura granular, si bien en Z1C2 la partícula es más gruesa; mientras que el color de Z1C1 es marrón oscuro y Z1C2 es mayoritariamente negro (Tabla n°10).

Foto N°3. Z1C.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°10. Ficha en terreno de muestras Z1C1 y Z1C2.

Ficha de muestra de suelo					
Octava región del Bío-bío, comuna de Coronel. Marzo 2022					
Número de excavación	Z1C1		Coodenadas WGS 1984 UTM, zona 18S		
Número de muestras	3		Este	666170	
			Norte	5906621	
Humedad	10 cm	73%	Temperatura	10 cm	18 ° C
	25 cm	69%		25 cm	18,5 ° C
	50 cm	71%		50 cm	18 ° C
Consistencia: Humedo		Elementos gruesos:		Sin elementos gruesos	
Vegetación: Poca cantidad		Observaciones: El área se encuentra seca, con poca cantidad de vegetación.			
Estructura granular:	10 cm	Fine 5-10 mm diametro			
	25 cm	Fine 5-10 mm diametro			
	50 cm	Fine 1-2 mm diametro			
Color tabla Munsell:	10 cm	10 YR 3/3 Dark brown			
	25 cm	5 YR 3/4 Dark reedish brown			
	50 cm	10 YR 2/2 Very dark brown			
Ficha de muestra de suelo					
Octava región del Bío-bío, comuna de Coronel. Marzo 2022					
Número de excavación	Z1C2		Coodenadas WGS 1984 UTM, zona 18S		
Número de muestras	3		Este	666027	
			Norte	5906620	
Humedad	10 cm	60%	Temperatura	10 cm	18 ° C
	25 cm	87%		25 cm	17 ° C
	50 cm	99%		50 cm	16 ° C
Consistencia: Humedo		Elementos gruesos:		Sin elementos gruesos	
Vegetación: Mediana cantidad		Observaciones: El área se encuentra humeda, con grandes cantidades de vegetación.			
Estructura granular:	10 cm	Coarse 20-50 mm diametro			
	25 cm	Medium 10-20 mm diametro			
	50 cm	Fine 5-10 mm diametro			
Color tabla Munsell:	10 cm	7,5 YR 2,5/1 Black			
	25 cm	Gley 1 2,5/10 Y Greenish black			
	50 cm	Gley 1 2,5/N Black			

Fuente: Elaboración propia.

La zona Z2C (Foto n°4) se encontraba sobre densas agrupaciones vegetales y suelos desnudos, donde destacaban las grandes cantidades de junco ubicados en las zonas más húmedas. Es por ello que se seleccionó un terreno seco para la primera excavación (Z2C1) y dos húmedos para las siguientes (Z2C2 y Z2C3). La estructura de las tres muestras, en húmedo, resultó ser igualmente angular, pero más fina que las obtenidas en Z1C; mientras que el color fue marrón oscuro (Z2C1) y negro verdoso (Z2C2 y Z2C3) (Tabla n°11).

Foto N°4. Z2C.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°11. Ficha en terreno de muestras Z2C1, Z2C2 y Z2C3.

Ficha de muestra de suelo					
Octava región del Bío-bío, comuna de Coronel. Marzo 2022					
Número de excavación	Z2C1		Coodenadas WGS 1984 UTM, zona 18S		
Número de muestras	2		Este	665954	
			Norte	5905670	
Humedad	10 cm	22%	Temperatura	10 cm	19 ° C
	25 cm			25 cm	
	50 cm	20%		50 cm	19° C
Consistencia: Seco		Elementos gruesos:		Sin elementos gruesos	
Vegetación: Poca cantidad		Observaciones: El área se encuentra seca, con poca cantidad de vegetación.			
Estructura granular:	10 cm	Fine 1-2 mm diametro			
	25 cm				
	50 cm	Fine 5-10 mm diametro			
Color tabla Munsell:	10 cm	7,5 YR 3/2 Dark brown			
	25 cm				
	50 cm	7,5 YR 3/2 Dark brown			
Ficha de muestra de suelo					
Octava región del Bío-bío, comuna de Coronel. Marzo 2022					
Número de excavación	Z2C2		Coodenadas WGS 1984 UTM, zona 18S		
Número de muestras	3		Este	665690	
			Norte	5905751	
Humedad	10 cm	60%	Temperatura	10 cm	18 ° C
	25 cm	91%		25 cm	17,5 ° C
	50 cm	100%		50 cm	15,5 ° C
Consistencia: Mojado		Elementos gruesos:		Sin elementos gruesos	
Vegetación: Alta densidad		Observaciones: El área se encuentra muy humeda con alta cantidad de vegetación.			
Estructura granular:	10 cm	Very fine >1 mm diametro			
	25 cm	Very fine >1 mm diametro			
	50 cm	Very fine >1 mm diametro			
Color tabla Munsell:	10 cm	Gley 1 3/10 Y Very dark Greenish black			
	25 cm	Gley 1 2,5/10 Y Greenish black			
	50 cm	Gley 1 2,5/10 Y Greenish black			

Ficha de muestra de suelo					
Octava región del Bío-bío, comuna de Coronel. Marzo 2022					
Número de excavación	Z2C3		Coordenadas WGS 1984 UTM, zona 18S		
Número de muestras	3		Este	665620	
			Norte	5905776	
Humedad	10 cm	65%	Temperatura	10 cm	17,5 ° C
	25 cm	89%		25 cm	17 ° C
	50 cm	100%		50 cm	16 ° C
Consistencia: Mojado		Elementos gruesos:		Sin elementos gruesos	
Vegetación: Alta densidad		Observaciones: El área se encuentra muy húmeda con alta cantidad de vegetación.			
Estructura granular:	10 cm	Very fine >1 mm diametro			
	25 cm	Very fine >1 mm diametro			
	50 cm	Very fine >1 mm diametro			
Color tabla Munsell:	10 cm	Gley 1 2,5/10 GY Greenish black			
	25 cm	Gley 1 2,5/10 GY Greenish black			
	50 cm	Gley 1 2,5/10 GY Greenish black			

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras colectadas en terreno fueron posteriormente secadas en laboratorio para obtener el porcentaje de humedad, expresado con la siguiente ecuación (Viguera *et al.*, 2004):

$$\% \text{ Humedad } (H) = \frac{(P-P')}{P'} \cdot 100$$

Donde:

P = peso en gramos de la muestra de suelo seca al aire

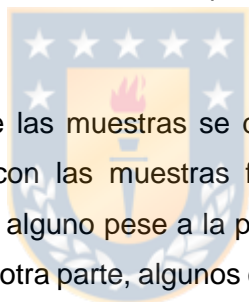
P' = peso en gramos de la muestra seca en estufa hasta peso constante.

Se obtuvieron varias muestras que, a profundidades de 25 y 50 cm, contenían porcentajes de humedad superior al 100 %, llegando incluso a ser mayores a 500 % (Tabla n° 12)

Tabla N°12. Porcentajes de humedad de las muestras

Tabla porcentaje de humedad del suelo					
Excavación	Profundidad de muestra	húmedo	Seco	% de humedad	
Z1C1	10 cm	100g	89,88g	11,26	
	25 cm	100g	75,14g	33,08	
	50 cm	100g	83,92g	19,16	
Z1C2	10 cm	100g	52,37g	90,95	
	25 cm	100g	22,92g	336,30	
	50 cm	100g	14,18g	605,22	
Z2C1	10 cm	100g	99,7g	0,30	
	25 cm				
	50 cm	100g	94,61g	5,70	
Z2C2	10 cm	100g	24,69g	305,02	
	25 cm	100g	17,62g	467,54	
	50 cm	100g	14,9g	571,14	
Z2C3	10 cm	100g	26,42g	278,50	
	25 cm	100g	14,74g	578,43	
	50 cm	100g	17,62g	467,54	

Fuente: Elaboración propia.



La estructura y color en seco de las muestras se determinó nuevamente con la tabla Munsell para cotejar diferencias con las muestras frescas en terreno. Respecto a la estructura, no se evidenció cambio alguno pese a la pérdida de humedad como elemento cohesionador de las partículas. Por otra parte, algunos colores varían levemente en su brillo y saturación (Tablas n°13, n°14 y n°17).

La clase textural, propiedad estrechamente relacionada con la velocidad de infiltración, se obtuvo tras el tamizado que separa las muestras en sus partículas individuales de arena, limo y arcilla. Todas las muestras analizadas a diferentes profundidades resultaron ser texturas gruesas, oscilando entre arenosas, franco-arenosas, arenosas francas y franco-limosas (Tablas n°13, n°14, n°15, n°16 y n°17). Por su parte, la velocidad de infiltración se determinó muy rápida (>25 cm/h) para las clases texturales arenosa y arenosa-franca, rápida (25-12,5 cm/h) para la clase textural franco-arenosa y moderada (12,5-6,2 cm/h) para la clase textural franco-limosa (USDA, 1983).

Tabla N°13. Ficha de laboratorio de Z1C1.

Ficha trabajo de muestras en laboratorio							
Muestras comuna de Coronel. Marzo 2022							
Z1C1-10cm	Humedo	100g		Z1C1-25cm	Humedo	100g	
●	Seco	89,88g	Muestra 50g	●	Seco	75,14g	Muestra 50g
10 cm	Grava	0,77g		25 cm	Grava	4,95g	
	Arena	46,14g	90,54%		Arena	38,39g	82,93%
	Limo	4,09g	8,02%		Limo	6,58g	14,21%
	Arcilla	0,73g	1,43%		Arcilla	1,32g	2,85%
Estructura granular	Fine 5-10mm diametro			Estructura granular	Fine 5-10mm diametro		
Color tabla Munsell	10 YR 3/3 Dark brown			Color tabla Munsell	7,5 YR 5/6 Strong brown		
Clase textural muestra	Arenosa			Clase textural muestra	Franco arenosa		
Clase permeabilidad	Rápida muy rápida			Clase permeabilidad	Moderada a rápida		
Z1C1-50cm	Humedo	100g					
●	Seco	83,92g	Muestra 50g				
50 cm	Grava	0g					
	Arena	47,59g	94,68%				
	Limo	2,17g	4,31%				
	Arcilla	0,5g	0,99%				
Estructura granular	Fine 5-10mm diametro						
Color tabla Munsell	10 YR 3/3 Dark brown						
Clase textural muestra	Arenosa						
Clase permeabilidad	Rápida muy rápida						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°14. Ficha de laboratorio de Z1C2.

Ficha trabajo de muestras en laboratorio							
Muestras comuna de Coronel. Marzo 2022							
Z1C2-10cm	Humedo	100g		Z1C2-25cm	Humedo	100g	
●	Seco	52,37g	Muestra 50g	●	Seco	22,92g	
10 cm	Grava	4,29g		25 cm	Grava	7,5g	
	Arena	31,63g	68,83%		Arena	13,04g	69,80%
	Limo	13,15g	28,61%		Limo	5,41g	28,96%
	Arcilla	1,17g	2,54%		Arcilla	0,23g	1,23%
Estructura granular	Coarse 20-50mm diametro			Estructura granular	Medium 10-20mm diametro		
Color tabla Munsell	7,5 YR 5/1 Gray			Color tabla Munsell	Gley 1 4/5 GY Dark greenish gray		
Clase textural muestra	Franco arenoso			Clase textural muestra	Franco arenoso		
Clase permeabilidad	Moderada a rápida			Clase permeabilidad	Moderada a rápida		
Z1C2-50cm	Humedo	100g					
●	Seco	14,18g					
50 cm	Grava	4,95g					
	Arena	9,14g	89,78%				
	Limo	1,01g	9,92%				
	Arcilla	0,03g	0,29%				
Estructura granular	Fine 5-10mm diametro						
Color tabla Munsell	Gley 1 2,5/10 Y Greenish black						
Clase textural muestra	Arenosa						
Clase permeabilidad	Rápida muy rápida						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°15. Ficha de laboratorio de Z2C1

Ficha trabajo de muestras en laboratorio							
Muestras comuna de Coronel. Marzo 2022							
Z2C1-10cm	Humedo	100g		Z2C1-50cm	Humedo	100g	
●	Seco	99,70g	Muestra 50g	●	Seco	94,61g	Muestra 50g
10 cm	Grava	0,15g		50 cm	Grava	0g	
	Arena	46,05g	90,77%		Arena	47,03g	93,51%
	Limo	4,09g	8,06%		Limo	2,73g	5,42%
	Arcilla	0,59g	1,16%		Arcilla	0,53g	1,05%
Estructura granular	Fine 1-2mm diametro			Estructura granular	Fine 5-10mm diametro		
Color tabla Munsell	7,5 YR 3/2 Dark brown			Color tabla Munsell	7,5 YR 3/2 dark brown		
Clase textural muestra	Arenosa			Clase textural muestra	Arenosa		
Clase permeabilidad	Rápida muy rápida			Clase permeabilidad	Rápida muy rápida		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°16. Ficha de laboratorio de Z2C2

Ficha trabajo de muestras en laboratorio							
Muestras comuna de Coronel. Marzo 2022							
Z2C2-10cm	Humedo	100g		Z2C2-25cm	Humedo	100g	
●	Seco	24,69g		●	Seco	17,62g	
10 cm	Grava	2,11g		25 cm	Grava	3,82g	
	Arena	16,7g	76,71%		Arena	8,81g	79,15%
	Limo	3,71g	17,04%		Limo	2,06g	18,50%
	Arcilla	1,36g	6,24%		Arcilla	0,26g	2,33%
Estructura granular	Fine 5-10mm diametro			Estructura granular	Fine 5-10mm diametro		
Color tabla Munsell	Gley 1 3/10 Y Very dark greenish			Color tabla Munsell	Gley 1 3/10y Very dark greenish		
Clase textural muestra	Franco arenosa			Clase textural muestra	Franco arenosa		
Clase permeabilidad	Moderada a rápida			Clase permeabilidad	Moderada a rápida		
Z2C2-50cm	Humedo	100g					
●	Seco	14,90g					
50 cm	Grava	4,79g					
	Arena	7,03g	79,97%				
	Limo	1,24g	14,10%				
	Arcilla	0,52g	5,91%				
Estructura granular	Fine 5-10mm diametro						
Color tabla Munsell	Gley 1 2,5/N Black						
Clase textural muestra	Arena francosa						
Clase permeabilidad	Moderada a rápida						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°17. Ficha de laboratorio de Z2C3.

Ficha trabajo de muestras en laboratorio							
Muestras comuna de Coronel. Marzo 2022							
Z2C3-10cm	Humedo	100g		Z2C3-25cm	Humedo	100g	
●	Seco	26,42g		●	Seco	14,74g	
10 cm	Grava	2,19g		25 cm	Grava	7,38g	
	Arena	16,6g	75,42%		Arena	2,33g	37,04%
	Limo	3,87g	17,58%		Limo	3,6g	57,23%
	Arcilla	1,54g	6,99%		Arcilla	0,36g	5,72%
Estructura granular	Fine 5-10mm diametro			Estructura granular	Fine 5-10mm diametro		
Color tabla Munsell	Gley 1 3/10 Y Very dark greenish			Color tabla Munsell	Gley 1 3/10 Y Very dark greenish		
Clase textural muestra	Franco arenosa			Clase textural muestra	Franco limosa		
Clase permeabilidad	Moderada a rápida			Clase permeabilidad	Moderada		
Z2C3-50cm	Humedo	100g					
●	Seco	17,62g					
50 cm	Grava	2,84g					
	Arena	8,2g	59,94%				
	Limo	4,78g	34,94%				
	Arcilla	0,7g	5,11%				
Estructura granular	Very fine >5mm diametro						
Color tabla Munsell	Gley 1 2,5/N Black						
Clase textural muestra	Franco arenosa						
Clase permeabilidad	Moderada a rápida						

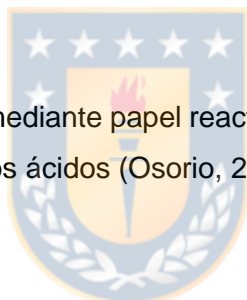
Fuente: Elaboración propia.

El volumen de materia orgánica se estimó por medio de calcinación a 550°C en horno de mufla. Como se muestra en la Tabla 16, se obtuvieron cantidades muy elevadas de materia orgánica en los puntos Z1C2, Z2C2 y Z2C3; valores muy superiores al 5 % estándar de un suelo promedio (Porta *et al.*, 2014)

Tabla N°18: Porcentaje de materia orgánica

Tabla porcentaje de materia orgánica del suelo				
Excavación	Profundidad de nuestra	Inicial	Resultante	% de materia orgánica
Z1C1	10 cm	9,55	8,76	8,27
	25 cm	6,52	6,44	1,23
	50 cm	9,32	8,79	5,69
Z1C2	10 cm	12,37	9,34	24,49
	25 cm	8,68	5,21	39,98
	50 cm	3,91	1,6	59,08
Z2C1	10 cm	9,75	9,09	6,77
	25 cm			
	50 cm	9,73	9,09	6,58
Z2C2	10 cm	5,7	3,28	42,46
	25 cm	3,3	1,49	54,85
	50 cm	3,88	1,84	52,58
Z2C3	10 cm	5,22	3,12	40,23
	25 cm	3,41	1,62	52,49
	50 cm	3,34	1,65	50,60

Fuente: Elaboración propia.



El pH de las muestras, obtenido mediante papel reactivo, osciló entre valores de 3.0 y 6.0 (Tabla n°19), considerándose suelos ácidos (Osorio, 2012).

Tabla N°19. Obtención del valor de pH

Tabla pH por papel reactivo		
Excavación	Profundidad de nuestra	pH
Z1C1	10 cm	5
	25 cm	5
	50 cm	5
Z1C2	10 cm	5
	25 cm	5
	50 cm	5
Z2C1	10 cm	5
	25 cm	
	50 cm	5
Z2C2	10 cm	3
	25 cm	3
	50 cm	3
Z2C3	10 cm	6
	25 cm	5
	50 cm	5

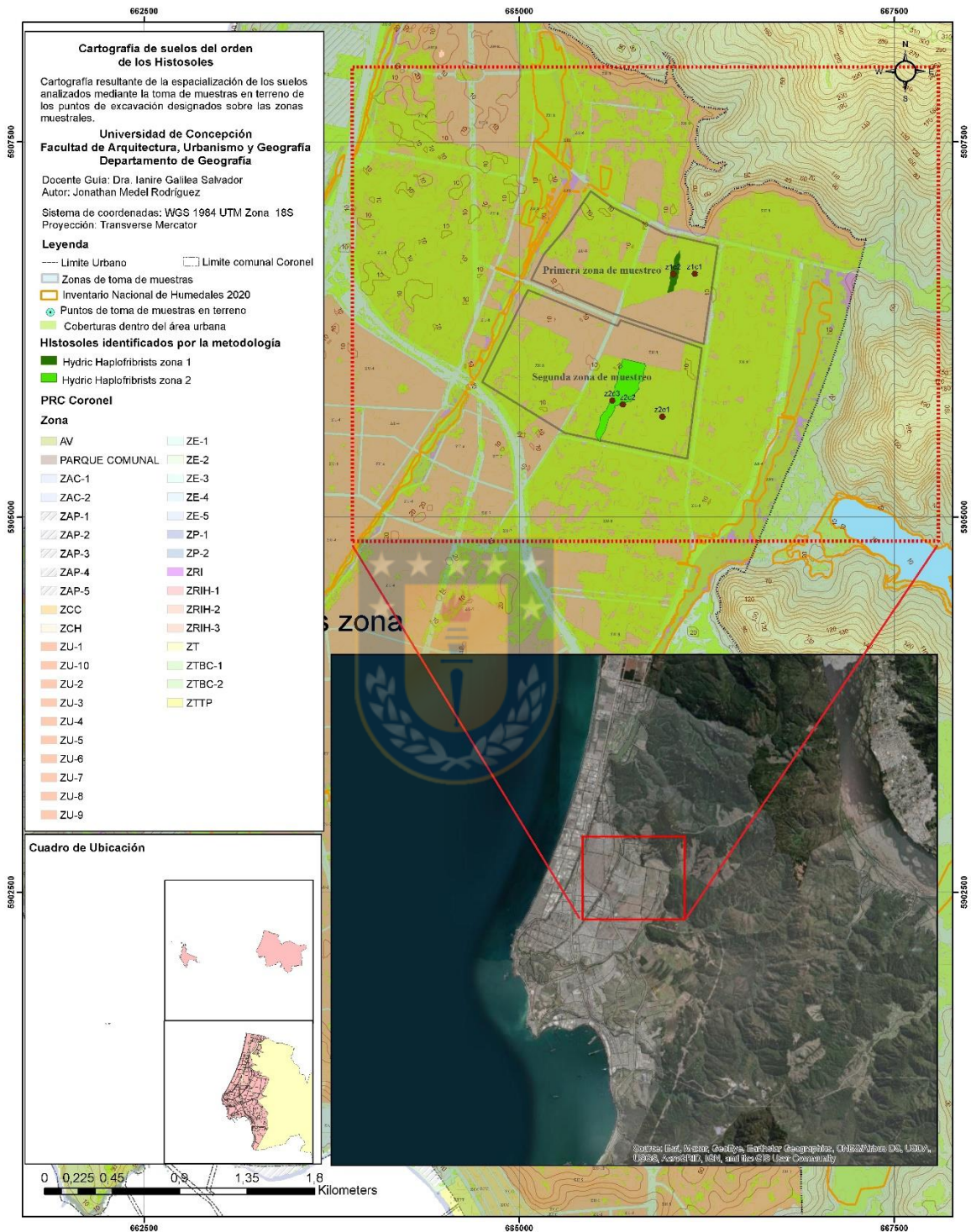


Fuente. Elaboración propia

Finalmente, y partir de los datos anteriores, los suelos fueron caracterizados de acuerdo a los estándares taxonómicos de la USDA (2014). Z1C1 y Z2C1 se identificaron como *Quarptzipsamment típicos*, suelos poco desarrollados abundantes en partículas tamaño arena de gran resistencia; mientras que Z1C2, Z2C2 y Z2C3 son *Haplofibrist hídricos*, suelos con elevado contenido en materia orgánica escasamente descompuesta y con agua subsuperficial (Mapa n°10).



Mapa N°10. Espacialización de los suelos



Fuente. Elaboración propia.

Como dato de interés complementario, las fotografías obtenidas en terreno han resultado de utilidad para generar un registro visual en las diferentes estaciones. De esta manera, se pudieron contrastar los cambios anuales en las superficies ocupadas por los cuerpos de agua y la vegetación hidrófita desde marzo de 2022, durante la temporada seca. En la segunda salida a terreno, realizada el 23 de agosto de 2022, seis días después de las últimas lluvias, se buscó obtener fotografías en los mismos lugares de extracción de las muestras de plantas y de excavación de calicatas. Aunque no fue posible acceder al lugar exacto de muestreo debido al encharcamiento de los sectores centrales, se tomaron fotografías desde los márgenes de la lámina de agua. La profundidad de lámina de agua en Z2C era significativamente mayor en extensión que en Z1C, de la cual solo se pudieron obtener imágenes hasta un máximo de dos metros desde la orilla, alcanzando el cuerpo de agua profundidades de 86 centímetros.

Foto N°5. Primera zona de muestras Z1 en temporada seca.



Fuente. Elaboración propia.

Foto N°6. Primera zona de muestras Z1 en temporada húmeda.



Fuente. Elaboración propia.

Foto N°7. Segunda zona de muestras Z2 en temporada seca.



Fuente. Elaboración propia.

Foto N°8. Segunda zona de muestras Z2 en temporada húmeda.



Fuente. Elaboración propia.

5.4. Procesamiento estadístico

La identificación de coberturas en 2019 entregó grandes áreas ocupadas por suelos y plantas de hábitat húmedo que mostraron dinámicas de crecimiento y disminución de sus superficies, expresando así diferencias entre las estaciones secas y húmedas. Dada esta dinámica anual se obtienen áreas no ocupadas constantemente por las coberturas de interés, así como zonas cubiertas en todas las estaciones. En la dinámica de ocupación de los espacios por parte de las coberturas, se evidencian cambios significativos en zonas de interés dentro del espacio urbano, si bien también se pueden identificar cambios en áreas situadas fuera del área urbana.

Para el análisis de la distribución y dispersión de las zonas identificadas se utilizó un análisis estadístico de desviación estándar de población, calculando la raíz cuadrada de la varianza de la población muestral, buscando la variabilidad de dispersión de las áreas obtenidas como medida de variabilidad. El concepto de la desviación estándar (ó) se utiliza para cuantificar un intervalo de confianza o límite de dispersión (Mendenhall y Reinmuth, 1981) dentro del cual los Xi incluidos se consideran cercanos, mientras que fuera de éste

se les considera alejados (Cervantes-Hernández, 2008). Las ecuaciones de varianza poblacional y de desviación estándar son las siguientes:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^M (R_{ij} - \mu)^2}{n} \quad \sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2}$$

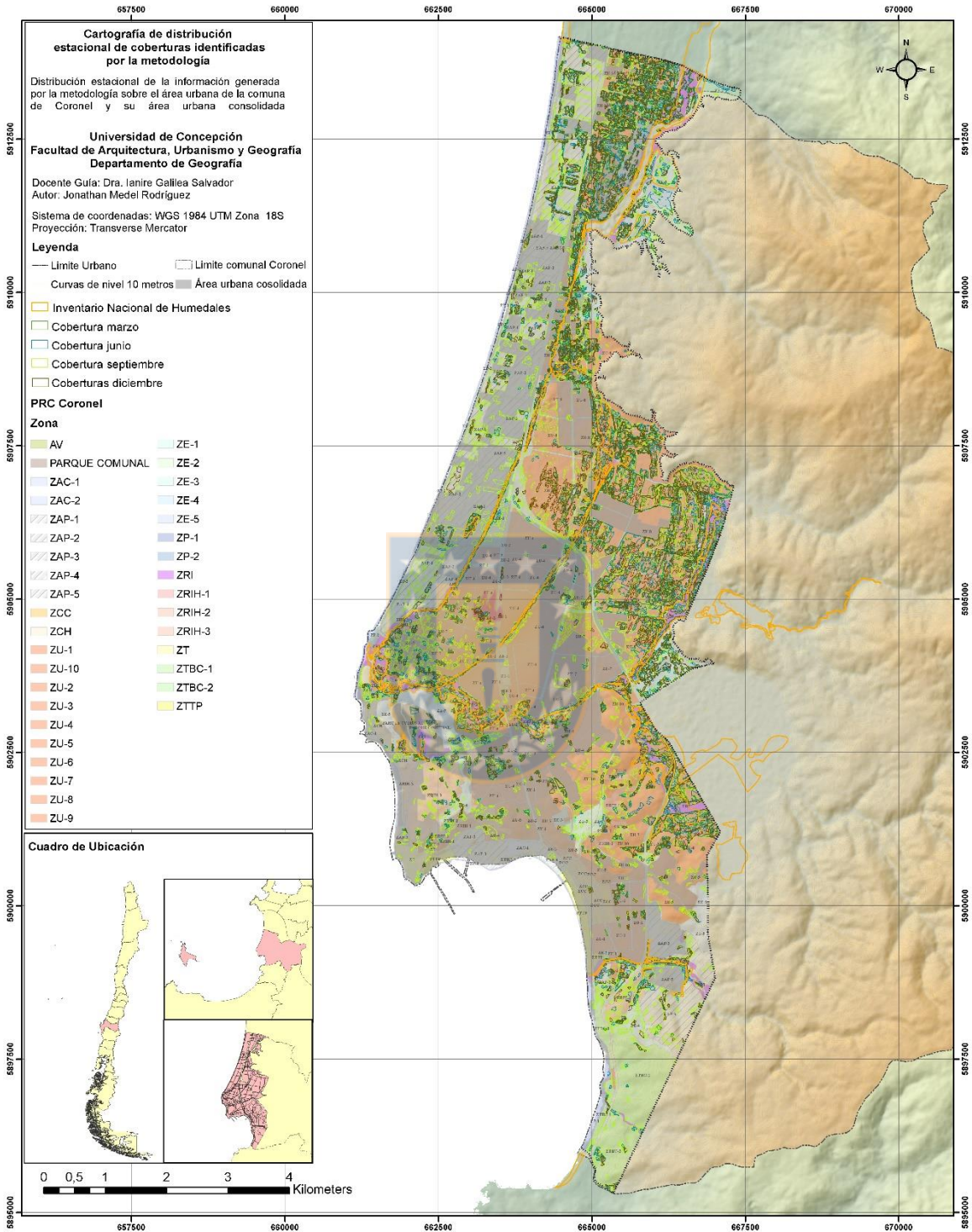
En las áreas resultantes de la clasificación de coberturas se obtuvo un importante volumen de polígonos que varían en tamaño y cantidad, si bien con la desviación estándar aplicada en ArcMap, se pudo segmentar la información en polígonos individuales. Se constata que los resultados obtenidos se ajustan a la variabilidad climática de las temporadas secas y húmedas, correspondiendo la mayor dispersión de las áreas a la temporada de lluvias, donde aumenta la cantidad de polígonos. En contraste, es en la temporada seca donde el número de polígonos disminuye, ejemplificado con la baja desviación estándar (Tabla n°20 y Mapa n°11).

Tabla N°20: Desviación estándar de las áreas identificadas como humedal

Fecha muestra	Desviación estándar	Cantidad de polígonos	Zonas identificadas en Área urbana ha
1. 20 de marzo	7,67 ha	691	759,18 ha
2. 22 de junio	10.44 ha	690	926,21 ha
3. 19 de septiembre	8,55 ha	810	1395,41 ha
4. 15 de diciembre	2,72 ha	766	712,25 ha

Fuente: Elaboración propia.

Mapa N°11. Distribución espacial y temporal de las coberturas identificadas.



Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

La metodología propuesta y utilizada sobre zonas del Plan Regulador Comunal, se realizó en base al reglamento de la Ley N°21.202 de Humedales Urbanos, que provee los criterios mínimos para la identificación de humedales sobre zonas urbanas.

El primer objetivo de trabajo fue delimitar los tipos de cobertura vegetal y zonas cubiertas agua mediante la aplicación del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) y el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI). Esta información, relacionada posteriormente con datos de trabajo de campo, sirvió para delimitar y validar las áreas que corresponden a las superficies de vegetación hidrófita y cuerpos de agua no reconocidas como humedal por el Plan Regulador Comunal. De igual forma, los resultados de clasificación de coberturas entregaron información sobre su dinámica de expansión, caracterizando máximos en las temporadas húmedas, que incluso alcanzan áreas pobladas, y mínimos en temporadas secas. La dinámica de expansión y contracción de las áreas identificadas simplifica la interpretación del máximo alcance del área de influencia de los humedales, metodología que se fortalecería con la utilización de una mayor cantidad de fechas para la toma de imágenes satelitales o de los sensores seleccionados.

El segundo objetivo de trabajo fue identificar la vegetación característica de áreas de humedal. Esta labor fue realizada durante la temporada seca, encontrándose este tipo de plantas sobre suelos sin presencia de agua, lo cual permitió anotar su ubicación, el tamaño de sus grupos y su distribución en el paisaje. Así pudo comprobarse la tendencia en el tipo y crecimiento de especies, concentrándose los juncos (*Juncus Acutus*) y la cortadera (*Cyperus difformis L*) en las zonas con mayor humedad superficial. La ubicación de estas especies resultó concordante con las áreas identificadas en la clasificación de coberturas de la primera etapa de trabajo.

El tercer objetivo contempló la caracterización taxonómica de suelos del área de estudio, donde se determinó la existencia de suelos con características hidromorfas, típicos de áreas encharcadas, como son los histosoles. La zona de excavación de calicatas para obtención de muestras fue realizada sobre la cartografía de coberturas de la primera etapa de trabajo, complementada con la cartografía de las especies vegetales identificadas. De los resultados obtenidos en terreno y laboratorio los suelos fueron caracterizados como *Haplofibrists hídricos* (Z1C2, Z2C2 y Z2C3), histosoles con materia vegetal ligeramente descompuesta y presencia de agua subsuperficial; y *Quartzipsamment típicos* (Z1C1 y Z2C1), entisoles de textura gruesa abundantes en minerales resistentes.

En la cuarta etapa de trabajo se refinó la información previamente recabada en polígonos y áreas mediante procesamiento estadístico con la fórmula de desviación estándar. Como resultado se evidenció el crecimiento de la cantidad y tamaño de los polígonos durante la estación húmeda, así como su reducción en ambas variables durante la estación seca.

7. Discusión

Las variables de la Ley N°21.202 de Humedales Urbanos aportan significativamente a la correcta identificación de humedales, siendo sus lineamientos de utilidad para re-categorizar áreas, actualmente y erróneamente, contempladas como urbanizables por el Plan Regulador Comunal.

El reconocimiento de zonas de humedal por medio de la identificación de sus cubiertas vegetales y las características hidromorfas de sus suelos resulta de gran ayuda para una gestión medioambiental adecuada y un desarrollo urbano acorde con las normativas sanitarias y de bienestar.



Referencias bibliográficas

Anji, M. (2008). *Remote Sensing and Geographical Information Systems*. Kukatpally: BS Publications.

Ariza, A. (2013). *Descripción y Correlación de Productos Landsat 8 LDCM*. Centro de Investigación y Desarrollo – CIAF. Bogotá.

Ariza, A., Roa, O., Serrato, P., León Rincón, H. (2018). *Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización geomorfológica en zonas insulares del caribe colombiano*. Perspectiva geográfica. Colombia.

Antinao, M. (2013). *Legislación aplicable a los Humedales en Chile: Análisis crítico de su protección en la normativa vigente*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

Ashok, A., Ponnamma, H., Jayakumar K.V. (2021). *Monitoring of Dynamic Wetland Changes Using NDVI and NDWI Based Landsat Imagery*. Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Warangal, India

Biro, L. (1979). *Geología de la franja costera entre Cocholque y Coronel, provincia de Concepción (36°35'-37° Lat. Sur), Chile*. Departamento de Geología y Paleontología, Universidad de Concepción. Chile.

Cervantes-Hernández, P. (2008). *Media, Varianza y desviación estándar*. Ciencia y mar. Universidad del Mar. México.

Chávez, S. (1988). *An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data*. U.S. Geological Survey, Arizona.

Christian, A. (2008). *Estructura y Química del Suelo en un Bosque de Castilla Elastica en el caso del Norte de Puerto Rico: Resultado de una Calicata*. Universidad de Puerto Rico.

Comerma, J. (2009). *Suelos Mal Drenados en Venezuela*. Investigador Jubilado. INIA. Venezuela.

David, M.B. (1988). Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*19:1593-1599.

Dictamen n°048164N16 (2020). *Medio ambiente, humedales, áreas bajo protección oficial, evaluación de impacto ambiental*. Santiago.

Del Toro, N., Gomáriz, F., Cánovas, F., Alonso. (2015). *Comparación de métodos de clasificación de imágenes de satélite en la Cuenca del Río Argos (Región de Murcia)*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. Vol. 67, pp.327-347.

Fontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Mérida, Venezuela.

Gonzales, A., Victoriano, P (2005). Aves de los humedales costeros de la zona de Concepción y alrededores. En: Smith- Ramírez, C., Armesto, J., y Valdovinos, C. (editores). *Historia, biodiversidad y ecología de los bosques costeros de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria Bosque Nativo, 485-497.

Juan, A., Comerma, G. (2009). Suelos Mal Drenados en Venezuela. *Agronomía tropical*, 59(1).

Ley 19.300 (1994). *Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. Ministerio Secretaria General de la Presidencia. Santiago.

Ley 20.283 (2008). *Decreto 82. Aprueba Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales, Artículo 17*. Ministerio de Agricultura. Santiago.

Ley 21.202 (2020). *Ley de Humedales Urbanos. Modifica diversos cuerpos legales con el objeto de proteger los humedales urbanos*. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago.

Ley General de Urbanismo y Construcciones (1976). *Ley General de Urbanismo y Construcciones*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Santiago.

Ley General de Urbanismo y Construcciones (1976). Título II de la planificación urbana, capítulo II de la planificación urbana en particular, párrafo IV de la planificación urbana comunal. *Decreto 458. Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Santiago. Chile.

Ley General de Urbanismo y Construcciones. (1976). Título II de la planificación urbana, capítulo III de los límites Urbanos. *Decreto 458. Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Santiago. Chile.

Mendenhall, W., Reinmuth, J.E. (1981). *Estadística para administración y economía*. Grupo Editorial Iberoamericana, México.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1976). *Ley General de Urbanismo y Construcciones. Ley 21.022*. Diario Oficial de la República de Chile, Chile.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. (2000). *Wetlands*. John Wiley & Sons.

Mostacedo, B., Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto BOLFOR, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

MMA. (23 enero, 2020). *Entró en vigencia la Ley de Humedales Urbanos*. Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/entro-en-vigencia-la-ley-de-humedales-urbanos/>

MMA. (2018). Ministerio del Medio Ambiente lanza ambicioso Plan Nacional de Protección de Humedales. 2018, de Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/ministerio-del-medio-ambiente-lanza-ambicioso-plan-nacional-de-proteccion-de-humedales/>

Municipalidad de Coronel (2013). Marco de referencia normativo y contexto territorial. En Memoria Explicativa Plan Regulador de la Comuna de Coronel (8-9). Coronel.

Osorio, N.W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y Nutrición vegetal*, 1(4), 1-4

Patel, N., Vo, K., Hernández, M. (2020). *Electronic Radiation*. Recuperado de: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 (2018). División de Recursos Naturales y Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente

Porta, J., López Acevedo, M., Poch, R.M (2014). *Edafología: uso y protección de suelos*. Mundi Prensa.

Prados Velasco, M.J., Fernández Núñez, M (2010). Cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Guadalfeo (1975-1999). *GeoFocus*, 10, 158-184.

RAMSAR (1994). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuática. París. Director, Oficina de Normas Internacionales y Asuntos Legales Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

RAMSAR (2005). Informe día de los humedales. Celebración del día de los humedales en el humedal Lucre-wakarpay.

Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales (2010). *Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales Ley N°20.283*. Ministerio de Hacienda, orgánico del Ministerio de Agricultura. Santiago, 20 de julio de 2010.

Rial, A (2003). *El Concepto de Planta Acuática en el Humedal de los Llanos de Venezuela*. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 155, 119-132. Caracas.

Rojas, C., Sepúlveda-Zúñiga, E., Barbosa, O., Rojas, O., Martínez, C. (2015) *Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitana*. Revista de Geografía Norte Grande, 61, 181-204.

Rosales-Veíta, J., Marcano, A. (2021) *Aplicación de Imágenes Satelitales Spot para Estudios Ambientales*. Centro de Investigaciones Peruano-Venezolano, Perú.

Russi, D., Ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Forster, J., . . . Davidson, N. (2013). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity For Water and Wetlands*. Londres y Bruselas: Secretaría de Ramsar.

Sandoval, M., Döerner, J., Seguel, O., Cuevas, J. Rivera, D. (2011). *Métodos de análisis físico de suelos*. Publicaciones del Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Universidad de Concepción.

Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C. (2012). *Field book for describing and sampling soils*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.

Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., Broderson, W.D. (2000). *Libro de Campaña para Descripción y Muestreo de Suelos*. Instituto de Suelos Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

Tiner, R.W (1993). Using plants as indicators of wetland. *Proceedings of the Academy of Natural Science of Philadelphia*, 144, 240-243.

USDA (1983). *National Soil Survey Handbook*. 430, US Department of Agriculture, USDA, Washington DC.

USDA (2014). *Claves para la taxonomía de suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales

Vásquez, D. (2013). Metodología para la Delimitación y Zonificación de Humedales Costeros de Tipo Mediterráneo. *Revista Geográfica del Sur*, 4, 13-32.

Vicepresidencia del Senado (2019) Humedales Urbanos. Historia de una ley pionera y ciudadana de protección ambiental. Chile. Ediciones Universitarias de Valparaíso Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Viguera, J., Albarrán, Á., Llera, F., Ferrera, E., García, T. (2004). *Estudio de suelos y su analítica*. Editorial @becedario, 124 p.

