

- ▲ **Palabras clave/** Densidad de población, infraestructura verde, zona húmeda, planificación urbana.
- ▲ **Keywords/** Population density, green infrastructure, wet area, urban planning.
- ▲ **Recepción/** 31 de mayo 2025
- ▲ **Aceptación/** 28 de octubre 2025

## Densificación en humedales costeros: diagnóstico para orientar infraestructura verde -azul en la planificación urbana

Densification in Coastal Wetlands:  
Diagnostic to Guide Green-Blue  
Infrastructure in Urban Planning

### Carolina Rojas-Quezada

Geógrafa, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.  
Doctora en Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España.  
Profesora titular, Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
Investigadora, Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS, Santiago de Chile.  
carolina.rojas@uc.cl

### Aaron Jiménez

Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.  
Magister en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
ajimenez4@uc.cl

### Felipe Jorquera

Geógrafo, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
Magister en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
Estudiante doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
Investigador, Tesista Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS, Santiago, Chile.  
fjorquera@uc.cl

**Resumen /** La expansión urbana desordenada en zonas costeras ha intensificado la fragmentación ecológica, comprometiendo la conectividad y los servicios ecosistémicos de los humedales urbanos. Este estudio realiza un diagnóstico del humedal urbano-costero Boca Maule (Coronel, Chile) con el objeto de evaluar los efectos de la densificación urbana sobre su estructura ecológica e identificar condiciones que permitan integrar infraestructura verde-azul (IVA) en su planificación urbana. Se aplicó un análisis multitemporal (2002–2022) para evaluar el cambio en el humedal y se caracterizaron nueve tejidos urbanos adyacentes según densidad habitacional, ocupación de suelo y morfología urbana. Los resultados evidencian pérdida de superficie húmeda permanente, aumento del humedal emergente y presión por urbanización informal en zonas de riesgo, lo que ha intensificado la fragmentación ecológica del ecosistema. Asimismo, se observa heterogeneidad morfológica entre los tejidos urbanos y su relación con áreas de conservación y riesgo, lo cual incide en la conectividad ecológica y en la disponibilidad de espacios estratégicos para restauración. El estudio concluye que Boca Maule presenta condiciones territoriales favorables para la implementación de IVA, particularmente mediante zonas de amortiguación ecológica, corredores de conexión y restauración de bordes en su instrumento de planificación urbana. **ABSTRACT /** Disorderly urban sprawl in coastal areas has increased ecological fragmentation, compromising the connectivity and ecosystem services of urban wetlands. This study conducts a diagnostic of the Boca Maule (Coronel, Chile) urban-coastal wetland in order to assess the impacts of urban densification on its ecological structure and identify the conditions required to introduce green-blue infrastructure (GBI) into its urban planning. A multitemporal analysis was used (2002–2022) to assess changes to the wetland. Nine adjacent urban fabrics were characterized based on housing density, soil uses, and urban morphology. The results suggest a loss of permanent wet surface area, an increase in emergent wetland, and informal urbanization pressure in risk areas, which has intensified the ecosystem's ecological fragmentation. Similarly, a morphological heterogeneity has been observed among the urban fabrics and their relationship with risk and conservation areas, which has a bearing on the ecological connectivity and on the availability of strategic restoration spaces. The study concludes that Boca Maule shows favorable territorial conditions for GBI implementation, particularly through ecological buffer zones, connection corridors, and border restoration in its urban planning instrument.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización dispersa han generado un impacto negativo en los ecosistemas, alterando los hábitats y creando barreras que reducen su conectividad ecológica desde varios mecanismos. Los estudios de planificación urbana y ambiental

señalan que las barreras físicas –como la construcción de caminos y de autopistas y/o de infraestructura como costaneras– dificultan el flujo génico y restringen el movimiento de las especies (Abrego et al., 2024; Rojas et al., 2017). En Latinoamérica este impacto ha sido evidenciado en procesos,

entre ellos homogeneización biótica, pérdida de especies, pérdida de naturalidad y fragmentación (Aguilera et al., 2020; Rojas et al., 2015; Simkin et al., 2022). Esta última genera cambios en factores abióticos como la temperatura y la humedad, alterando funciones ecosistémicas esenciales y derivando en

conflictos socioambientales (Festus et al., 2020; Sekovski et al., 2012).

La expansión urbana reduce la superficie total de hábitat disponible y varios autores indican que se requieren sitios que superen las 50 hectáreas para sostener especies sensibles al tamaño (Beninde et al., 2015). Los cambios en la interfaz urbano-natural (urbano-rural) también disminuyen la permeabilidad de la matriz, lo que se traduce en mayor asociación entre áreas naturales y urbanas y en la alteración de servicios ecosistémicos como la infiltración de agua. Además, en la zona costera, la urbanización dispersa ha propiciado fragmentación del paisaje y pérdida de conectividad ecológica y de servicios ecosistémicos (Aguilera et al., 2020; Martínez et al., 2020; Rojas et al., 2019). Entonces, las formas urbanas fragmentadas restringen el flujo de especies y fomentan el aislamiento, mientras que el uso mixto del suelo puede favorecer la interacción de especies al mantener una conectividad moderada (Delaney et al., 2010), es decir las densidades compactas pueden ayudar a conservar la biodiversidad (Rojas y Jorquera, 2021).

Los humedales, y en particular los costeros, han sido afectados por la urbanización (Ekumah et al., 2020; Lin y Yu, 2018), pero son ecotonos que conectan ecosistemas terrestres y acuáticos, elementos clave para la conectividad ecológica, la sustentabilidad y la resiliencia (Nguyen et al., 2022). Así, estudios recientes subrayan la necesidad de conservarlos y zonificarlos (Nguyen et al., 2022; Rojas et al., 2019), así como de integrarlos como infraestructura verde-azul en el tejido urbano (McPhearson et al., 2023; Rojas y Jorquera, 2021; Seddon et al., 2020), considerando que dicho tejido es parte de un ecosistema donde interactúan componentes sociales, ecológicos y físicos (Pickett et al., 2013).

Los humedales como infraestructura verde-azul en el tejido urbano son clave para maximizar servicios ecosistémicos, mitigar riesgos y garantizar la sustentabilidad urbana (Stefanakis, 2019; Alves et al., 2020; Bellezoni et al., 2021; Ferreira et al., 2023; Gato-Trinidad et al., 2023). Las estrategias de infraestructura

verde-azul (en adelante IVA) deben considerar contextos específicos como la densidad urbana y las condiciones climáticas (Kumar et al., 2024). En Chile, existe una enorme oportunidad para integrar humedales como IVA en las etapas de planificación gracias a la Ley 21.202 de Humedales Urbanos, que promueve la protección de los humedales en ciudades y los reconoce como áreas de valor natural en los instrumentos de planificación. Entonces, el estudio analiza el impacto de la densificación como variable importante del tejido urbano sobre la estructura ecológica del humedal Boca Maule (Coronel, Chile), urbanizado con tejidos de baja y media densidad (Rojas y Jorquera, 2021), y propone lineamientos de planificación basados en IVA para su protección e integración territorial. A pesar de los avances teóricos conseguidos en torno al rol de los humedales en las ciudades, aún persisten vacíos metodológicos para vincular los procesos de densificación con la degradación ecológica en contextos costeros intervenidos (Lin y Yu, 2018; Aguilera et al., 2020; Nguyen et al., 2022). Asimismo, la literatura nacional ha abordado ampliamente la pérdida de humedales urbanos (Rojas et al., 2019; Novoa et al., 2020), pero son escasos los estudios que proponen lineamientos operativos para integrar IVA en instrumentos de planificación a escala local. Por lo tanto, la pregunta esencial que cabe hacerse es de qué manera los procesos de densificación del tejido urbano han transformado la estructura ecológica y la conectividad del humedal costero Boca Maule en las últimas dos décadas, y qué oportunidades ofrece la IVA para su integración en la planificación urbana. Para responderla, se plantean los siguientes objetivos: (1) caracterizar los cambios espaciales y ecológicos del humedal Boca Maule entre 2002 y 2022 y (2) analizar la configuración y la evolución del tejido urbano adyacente al humedal, considerando densidad, ocupación de suelo y morfología. Además, este estudio propone un enfoque original al vincular el análisis multitemporal de transformación ecológica con la lectura morfológica del tejido urbano, integrando

ambos resultados en la proyección de lineamientos de planificación basados en IVA. Este enfoque permite trascender la caracterización descriptiva tradicional y avanzar hacia una lectura aplicada del territorio, capaz de identificar áreas de fragmentación ecológica y orientar decisiones de planificación urbana en contextos costeros vulnerables. La metodología propuesta es replicable en otros humedales urbanos del país, lo cual refuerza el aporte aplicado del estudio.

### DENSIFICACIÓN Y HUMEDALES COMO INFRAESTRUCTURA VERDE-AZUL (IVA)

El concepto de IVA se entiende aquí como una red interconectada de espacios naturales y seminaturales para sostener procesos ecológicos, mejorar la conectividad territorial y proveer servicios ecosistémicos (Ahern, 2013; Mell, 2016). En esta perspectiva, los humedales urbanos constituyen infraestructura ecológica estratégica dentro de dicha red al regular flujos hidrológicos, preservar biodiversidad y actuar como zonas de amortiguación frente a riesgos. A nivel internacional, la planificación basada en IVA se ha consolidado como un enfoque territorial integrador, orientado a compatibilizar conservación y desarrollo urbano. Un referente clave es la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas impulsada en España (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021), que promueve la articulación de corredores ecológicos y áreas núcleo como soporte de la planificación de la ciudad. Este enfoque resulta pertinente para la realidad chilena, que recién está desarrollando su Estrategia de Ciudades Verdes (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2025).

En el contexto costero, como aquél del humedal Boca-Maule, la interfaz urbano-natural o ecotono es un espacio híbrido de transición, donde interactúan procesos ecológicos y sociales que exigen una lectura del tejido urbano no solo física, sino también ecológica (Wu, 2013). Desde esta

perspectiva, el tejido urbano constituye una trama socio-ecológica donde se enfatiza la importancia de los bordes ecológicos (Pickett *et al.*, 2013). Por ello, se espera aportar en desentramar la relación entre humedales, tejidos, densificación y planificación que aún está levemente documentada. A menudo, la mirada es más física; por lo tanto, la discusión se centra entre la ciudad dispersa versus la ciudad compacta. De hecho, se ha señalado que la compacidad tiene menor impacto ambiental debido al uso más eficiente del suelo (Holden, 2004; Muñiz *et al.*, 2016). Así, el tejido de baja densidad compromete la conectividad ecológica y reduce los beneficios ecosistémicos (Zumelzu-Scheel, 2016).

Entre humedales, tejidos y densificación se han encontrado relaciones entre los niveles de densificación y parámetros de calidad de agua, biodiversidad de especies, abundancia de nutrientes y conectividad ecológica. Específicamente en el Norte de Chile, la urbanización y sus obras asociadas reducen la extensión de los humedales y su conectividad (Aguilera *et al.*, 2020); mientras que en el Sur, particularmente en Concepción, la expansión portuaria y de carreteras fragmentó humedales costeros (Rojas *et al.*, 2019), y provocó impactos negativos sobre los macroinvertebrados y la calidad del agua (Novoa *et al.*, 2020). En otros contextos del sur global, como en Ghana (Ekumah *et al.*, 2020), el suelo urbanizado se asocia a una disminución de la cobertura vegetal, y en India se reportan disminuciones en aves y en la dinámica de nutrientes (Das y Mehrotra, 2023). Aunque los estudios difieren en las métricas utilizadas para medir la densidad urbana, en varios de ellos se emplean indicadores como la cobertura de superficies impermeables y la densidad de carreteras, relacionándolos directamente con alteraciones en el ciclo de nutrientes y respuestas diferenciadas entre sistemas de agua dulce y marinos.

En términos de planificación urbana, contestar la pregunta indica definir adecuadamente las áreas de amortiguación y transición en los bordes ecológicos entre la densificación del

entorno del humedal y el propio ecosistema fragmentado. Por tanto, la incorporación de IVA eventualmente reduce la fragmentación entre ciudad y naturaleza (Mell, 2016) y considera los ecotonos urbanos como estructuras clave del tejido con enfoque socioecológico (Pickett *et al.*, 2013). Esta integración se vincula estrechamente con la seguridad de los recursos, la mitigación de impactos ambientales y la promoción de la justicia social (Bellezoni *et al.*, 2021).

## METODOLOGÍA

Este estudio adopta un enfoque descriptivo-analítico con perspectiva territorial, articulando herramientas de análisis espacial, ecología del paisaje y morfología urbana. La investigación se estructura en tres etapas metodológicas complementarias que permiten vincular el análisis ecológico del humedal con la evaluación de la densificación urbana y la propuesta de estrategias IVA.

## Estudio de caso

El estudio se desarrolla en el humedal costero Boca Maule, ubicado en la comuna de Coronel, región del Biobío, Chile. Este ecosistema ha sido reconocido oficialmente como humedal urbano según la Resolución Exenta N.º 1137 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), en el marco de la Ley 21.202. El humedal presenta una superficie total de 65,04 hectáreas y se emplaza en la parte baja de la cuenca del estero Maule, conformando un ecotono costero de alta relevancia ecológica. La geomorfología local corresponde a terrazas marinas del Pleistoceno-Holoceno, con depósitos de dunas y sedimentos costeros, influenciados por la dinámica tectónica del Gran Concepción. El sistema hidrológico se alimenta de microcuencas asociadas a los esteros La Posada, Calabozo, Quiñenco y El Manco, además de aportes de escorrentía superficial, infiltración subterránea y canales artificiales. Entre las principales amenazas

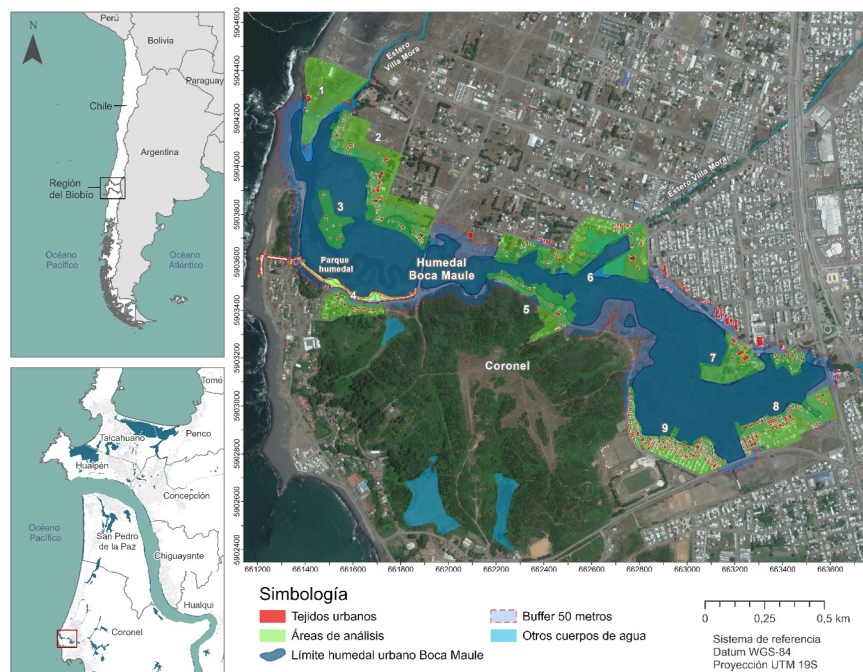


Figura 1. Área de estudio humedal urbano Boca Maule (fuente: elaboración propia, 2025).

identificadas se encuentran la urbanización informal en zonas de riesgo e inundación, el relleno de suelos, la presencia de vertederos ilegales, la modificación artificial de la barra costera y la pérdida de biodiversidad nativa, factores que deterioran la funcionalidad ecológica del humedal. De todas estas amenazas, se ha comprobado en terreno que la urbanización informal y los basurales constituyen los problemas más evidentes, y se manifiestan en el relleno de terrenos y en la construcción de viviendas al margen de lo establecido por el Plan Regulador comunal de Coronel (Municipalidad de Coronel, 2013).

**Análisis ecológico multitemporal del humedal (2002-2022)**

Se evaluó la transformación espacio-temporal del humedal mediante imágenes satelitales *QuickBird* correspondientes a los años 2002, 2011 y 2022, obtenidas desde Google Earth Pro. Se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés) LIDAR de 1x1 m para mejorar la precisión altimétrica y distinguir unidades topográficas. El procesamiento se realizó en ArcGIS Pro, aplicando correcciones geométricas RMS.

Para el análisis espacial, se delimitó un *buffer* ecológico de 50 metros desde el borde oficial del humedal, definido como zona de transición crítica para mantener flujos ecológicos y amortiguar perturbaciones antrópicas, según principios de ecología del paisaje (Forman, 1995; Bentrup, 2008). Los *buffers* actúan como áreas de protección que amortiguan las perturbaciones externas y facilitan el flujo de especies y procesos ecológicos entre hábitats. La elección de un ancho de 50 metros se alinea con estudios que apuntan a la efectividad de *buffers* de esta magnitud para preservar la integridad ecológica de humedales urbanos y reducir impactos antropogénicos (Bentrup, 2008; Mayer *et al.*, 2007; Sawatzky y Fahrig, 2019). Este enfoque es coherente con estudios que demuestran que la pérdida de conectividad ecológica y la fragmentación aumentan significativamente en los bordes urbano-naturales (Ro y Hong, 2008).

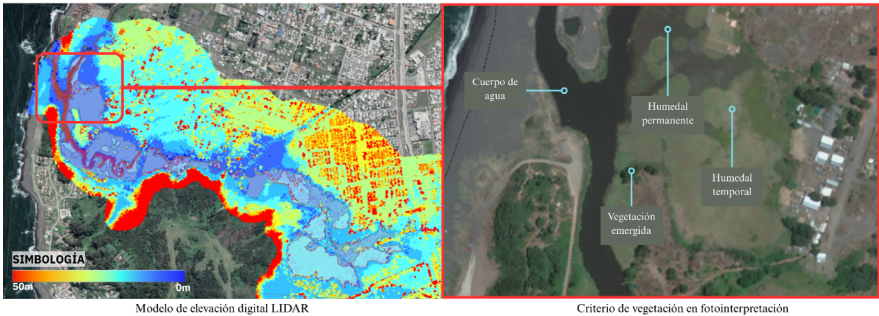


Figura 2. (a) Modelo de elevación digital LIDAR; (b) Criterios de vegetación (fuente: elaboración propia, 2025).

A partir del procesamiento multitemporal, se clasificaron tres categorías de cobertura de acuerdo con su grado de inundación y tipo de vegetación, siguiendo criterios de Nguyen *et al.* (2022) y Mayer *et al.* (2007):

- Humedal permanente: áreas con elevación entre 0 y 0,5 m, con vegetación adaptada a saturación hídrica constante.
- Humedal temporal: zonas con elevación media, caracterizadas por vegetación

intermedia y ciclos estacionales de inundación.

- Humedal emergente: sectores de transición donde la cobertura vegetal refleja presión antrópica o modificaciones del régimen hídrico.

Esta etapa permitió identificar la pérdida de superficie húmeda, la expansión de coberturas antrópicas y los patrones de fragmentación ecológica asociados a la densificación urbana,

| DIMENSIÓN                        | DEFINICIÓN                                                                                                                                          | INDICADORES                                                                                         | MEDIDA                       |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Densidad                         | Número de habitantes por hectárea cuya superficie a considerar es aquella del predio donde se emplaza la vivienda                                   | Número de habitantes por predio. Se consideran cuatro habitantes por unidad de vivienda             | Habitantes / Hectárea Hab/ha |
| Porcentaje de ocupación de suelo | Porcentaje de ocupación del suelo de acuerdo a la silueta del volumen construido del edificio y el tamaño del predio según los deslindes existentes | Porcentaje de la superficie construida / superficie lote                                            | % m <sup>2</sup>             |
| Superficie lote                  | Medida del lote según los deslindes existentes, excluidos los Bienes Nacionales de Uso Público                                                      | Superficie lote de acuerdo con medida de deslindes o cerritos existentes georeferenciados estimados | Hectáreas                    |
| Tipo de agrupamiento             | Distintas alternativas de agrupamiento donde se puede emplazar una edificación en un predio o conjunto de predios                                   | Aislado - disperso, pareado, semi agrupado, continuo - compacto                                     | No aplica                    |
| Zona de uso de suelo PRC         | Uso de suelo establecido por el IPT vigente PRC Coronel                                                                                             | Zonificación vivienda, zona de protección, zona inundable, zona mixta                               | No aplica                    |

Tabla 1. Dimensiones de análisis espacio temporal (fuente: elaboración propia, 2025).

aportando la base para las posteriores etapas de análisis urbano e integración territorial.

### Análisis de densificación y tejidos urbanos

Para evaluar la presión urbana sobre el humedal, se delimitó un área de influencia directa mediante un *buffer* ecológico de 50 metros desde el borde oficial del humedal, conforme a criterios de ecología del paisaje (Forman, 1995; Bentrup, 2008). Sobre esta área se definieron nueve sectores de análisis representativos. Se examinaron cinco variables urbanas (tabla 1): densidad habitacional (hab/ha) según OGUC Art. 2.1.22; porcentaje de ocupación del suelo (COS); superficie media de lote; tipo de agrupamiento edificatorio; y tipo de zona de uso de suelo del Plan Regulador Comunal de Coronel (Municipalidad de Coronel, 2013). Los tejidos urbanos fueron clasificados en cuatro categorías morfológicas: aislado/disperso, pareado, semiagrupado y continuo-compacto (Oliveira, 2016).

## RESULTADOS

### Análisis multitemporal del humedal Boca Maule (2002-2022)

El análisis multitemporal de las coberturas del humedal Boca Maule (figura 4) revela transformaciones significativas en su estructura ecológica entre los años 2002 y 2022. Si bien se observa un crecimiento de superficie total del humedal entre 2002 (32,78 ha) y 2011 (50,70 ha), esta tendencia se revierte hacia 2022, año en el cual la superficie desciende a 43,51 ha. Esta variación sugiere un patrón oscilante, condicionado por procesos naturales y antrópicos.

En relación con las coberturas de humedal, el humedal temporal registra el mayor incremento relativo, pasando de 9,76 ha en 2002 (29,77%) a 20,18 ha en 2022 (46,38%). Esto se interpreta como una respuesta hidrológica a la pérdida de superficie permanentemente inundada. En contraste, la superficie del humedal permanentemente inundado muestra una dinámica regresiva: se expande de 17,18 ha en 2002 a 22,99 ha en 2011, pero luego disminuye a 16,94 ha en 2022, posiblemente reflejando la alteración del régimen hídrico

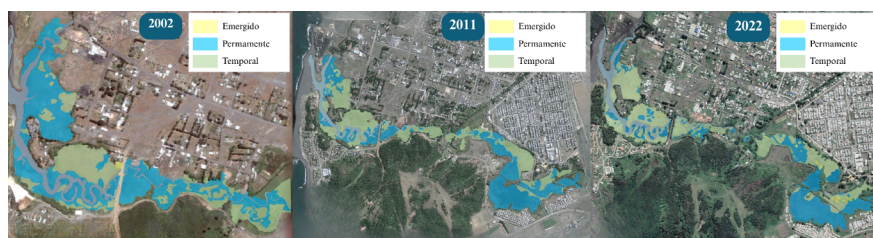


Figura 3. Cambio multitemporal humedal Boca Maule (fuente: elaboración propia, 2025).

| Tipo de cobertura |                | 2002  |       | 2011  |       | 2022  |       |
|-------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                | Ha    | %     | Ha    | %     | Ha    | %     |
| Humedal           | Cuerpo de agua | 5,72  | 17,44 | 6,20  | 12,24 | 5,63  | 12,97 |
|                   | Emergido       | 0,12  | 0,37  | 0,26  | 0,51  | 0,76  | 1,74  |
|                   | Permanente     | 17,18 | 52,42 | 22,99 | 45,33 | 16,94 | 38,93 |
|                   | Temporal       | 9,76  | 29,77 | 21,26 | 41,92 | 20,18 | 46,38 |
| Total             |                | 32,78 | 100   | 50,70 | 100   | 43,51 | 100   |

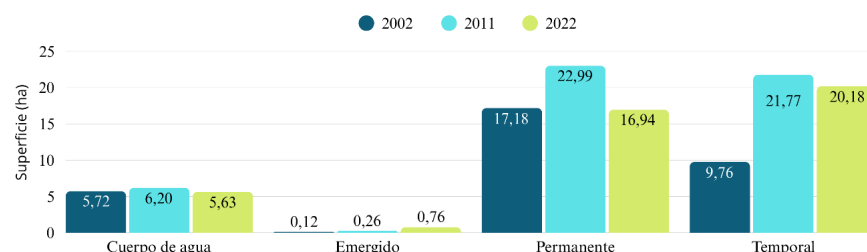


Figura 4. Cambios en la superficie del humedal Boca Maule por tipo de cobertura (2002, 2011 y 2022) (fuente: elaboración propia, 2025).

por acciones de relleno, obstrucciones o modificación del flujo superficial.

La categoría humedal emergido, aunque de menor extensión relativa, evidencia crecimiento constante en el período estudiado: de 0,12 ha (0,37%) en 2002 a 0,76 ha (1,74%) en 2022. Esta expansión puede estar vinculada con procesos de colmatación, reducción de anegamiento estacional o avance de vegetación pionera en zonas degradadas.

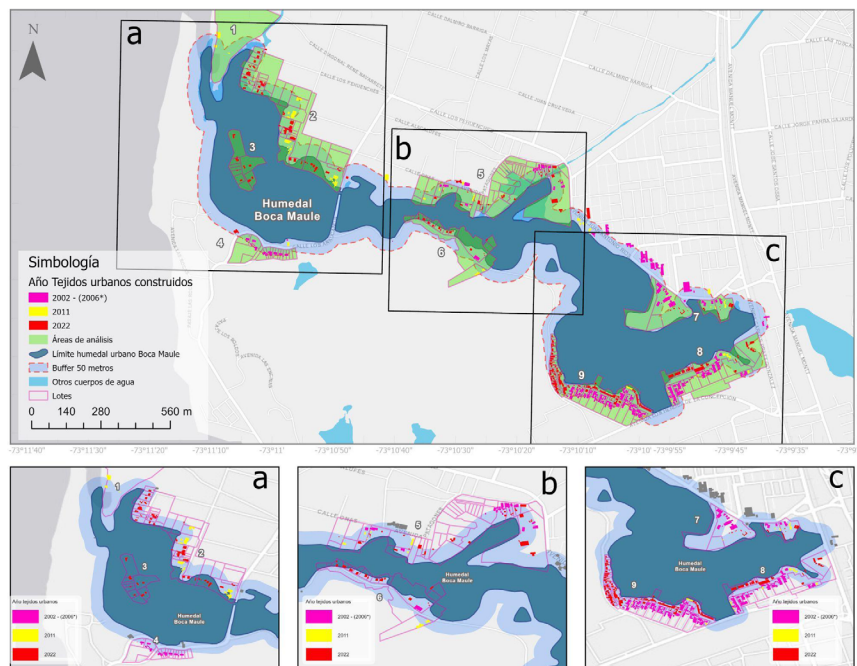
### Análisis multitemporal de los tejidos urbanos

En los nueve sitios identificados, adyacentes al humedal urbano Boca Maule (figura 5), se analizó la densidad habitacional, el porcentaje de ocupación de suelo, la evolución temporal de los tejidos (2002, 2011, 2022),

la zonificación según el PRC y la tipología de agrupamiento (tabla 2).

La urbanización del borde muestra un aumento progresivo de la superficie construida entre los años 2002 y 2022, evidenciando mayor concentración de desarrollo en las áreas de tejidos 7, 8 y 9. Esta tendencia sugiere un proceso de expansión urbana direccionado hacia las zonas contiguas al humedal Boca Maule.

El porcentaje de ocupación presenta variaciones entre los nueve sitios de tejidos. El Área 4 destaca como aquella de mayor ocupación histórica puntual, alcanzando un 45,82% en 2002. Posteriormente, en 2022, se observa un incremento en las áreas 5 y 9, que alcanzan porcentajes de ocupación de



**Figura 5.** Áreas de análisis multitemporal de tejidos urbanos construidos entre 2002<sup>1</sup>-2022 próximos al humedal urbano Boca Maule; (a) áreas 1,2,3 y 4; (b) áreas 5 y 6; (c) 7,8 y 9 (fuente: elaboración propia, 2025).

7,58% y 7,87%, respectivamente. No obstante, en términos generales, los porcentajes de ocupación se mantienen bajos respecto de la superficie disponible total, lo cual sugiere una densidad baja del tejido urbano consolidado. Este comportamiento evidencia que, a pesar del crecimiento, la intensidad de uso del suelo en la mayoría de los sectores analizados sigue siendo limitada.

La densidad habitacional revela valores más bajos en comparación con urbanos, densidades altas que suelen ser superiores a 100 habitantes por hectárea. La densidad fluctuó entre 21,9 y 78,3 habitantes por hectárea en el año 2022. El mayor valor de densidad se registra en el Área 9, con 78,3 habitantes por hectárea, seguido por el Área

6, con 72,8 habitantes por hectárea y el Área 5, con 70,7 habitantes por hectárea. Por otro lado, las menores densidades corresponden al Área 1, con 21,9 habitantes por hectárea, y al Área 7, que registra 49,7 habitantes por hectárea. Estos resultados evidencian un patrón de urbanización más compacto y consolidado en las áreas cercanas al núcleo urbano existente o consolidado con equipamiento, en contraste con la menor ocupación en zonas periféricas y/o restringidas por riesgo de inundación. La distribución de la densidad permite reconocer sectores de mayor dinamismo urbano en áreas cercanas a la ocupación histórica como el barrio Schwager (4), similar a la densificación de la Villa San Pedro en San Pedro de la Paz (Rojas y Jorquera, 2021).

El análisis de la distribución de los tejidos urbanos en relación con la zonificación establecida en el PRC de Coronel muestra diferencias importantes en las condiciones normativas de las áreas de estudio. Una proporción significativa de lotes se localiza en zonas de riesgo de inundación (ZRI) y en zonas de protección del borde costero (ZP-1), como ocurre en las áreas 1, 2, 3, 4 y 5. Esta situación impone restricciones severas al uso residencial y limita la posibilidad de incrementos sustanciales en la densidad urbana en áreas inadecuadas. En contraste y como se señaló, las áreas 7, 8 y 9 presentan una predominancia de zonas residenciales de alta densidad (ZU-4 y ZU-2), donde las normativas urbanas permiten y fomentan un desarrollo urbano, relativamente más compacto. La presencia de zonas de equipamiento (ZE-5) y de conservación histórica (ZCH) en sectores específicos, como el Área 5 y el Área 4, introduce además regulaciones particulares que buscan proteger tanto infraestructuras comunitarias como valores patrimoniales, condicionando así el tipo y la intensidad de las intervenciones posibles. Esta distribución normativa evidencia una clara diferenciación territorial entre sectores destinados a conservar características ambientales y culturales, y sectores orientados a la expansión urbana residencial, especialmente en las proximidades del núcleo urbano consolidado. El estudio de la tipología de agrupamiento de las áreas permite identificar tres patrones de tejidos urbanos: aislado/disperso, pareado/semiagrupado y continuo/compacto. Las áreas 1 y 3 presentan un patrón de tipo aislado o disperso, caracterizado por un escaso número de lotes, rodeados en su mayoría por el humedal con potencial para implementar zonas de amortiguamiento o *buffer* de por lo menos 50 metros, con un desarrollo mínimo de baja densidad y de restauración de vegetación nativa. Por su parte, las áreas 2, 4, 5 y 6 muestran un patrón

1 En el sector (c), el año de análisis fue 2006 debido a su ocupación posterior.



Figura 6. Orientaciones IVA por patrones de tejidos (fuente: elaboración propia, 2025).

|               |                   | Lotes                 |        | Superficie (m²) de tejidos urbanos construidos |        |        |      | Cantidad de tejidos urbanos construidos |      |       |       | % de ocupación |      | Densidad habitacional real (OGUC art.2.1.22) | Zonas Plan Regulador Comunal               |                                        |                                                         |                                          |                                  |                                                  |                                            |                    |          |           | Tipología de agrupamiento |                                                                                                    |
|---------------|-------------------|-----------------------|--------|------------------------------------------------|--------|--------|------|-----------------------------------------|------|-------|-------|----------------|------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|----------|-----------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área análisis | Cantidad de lotes | Superficie total (ha) | 2002   | 2011                                           | 2022   | Total  | 2002 | 2011                                    | 2022 | Total | 2002  | 2011           | 2022 | Hab/ha                                       | ZE-1<br>(Zona de Protección Borde Costero) | ZE-1<br>(Zona de Riesgo de Inundación) | ZE-7<br>(Zona Urbana Residencial Mixta, Densidad Media) | ZE-8<br>(Zona de Conservación Histórica) | ZE-5<br>(Zona de Equipamiento 2) | ZE-4<br>(Zona Urbana Residencial, Densidad Alta) | ZE-2<br>(Zona Urbana Mixta, Densidad Alta) | AV<br>(Área Verde) | Sin dato | Tipología | Justificación             |                                                                                                    |
|               |                   |                       |        |                                                |        |        |      |                                         |      |       |       |                |      |                                              |                                            |                                        |                                                         |                                          |                                  |                                                  |                                            |                    |          |           |                           |                                                                                                    |
| 1             | 1                 | 14,56                 | -      | 547,6                                          | -      | 547,5  | -    | 3                                       | -    | 3     | —     | 0,38           | —    | 21,9                                         | 2                                          | 1                                      | -                                                       | -                                        | -                                | -                                                | -                                          | -                  | -        | -         | Aislado/Disperso          | Muy pocos lotes rodeados de humedal y buffer, desarrollo mínimo.                                   |
| 2             | 25                | 50,94                 | -      | 2048,5                                         | 3927,2 | 5975,6 | -    | 27                                      | 61   | 88    | -     | 0,40           | 0,77 | 58,9                                         | -                                          | 60                                     | 27                                                      | -                                        | -                                | -                                                | -                                          | -                  | -        | 1         | Pareado/ Semiagrupado     | Lotes agrupados, pero sin continuidad total; patrón de agrupamiento en el borde del humedal.       |
| 3             | 7                 | 2,81                  | -      | -                                              | 729,9  | 729,9  | -    | -                                       | 11   | 11    | —     | —              | 2,60 | 60,2                                         | -                                          | 11                                     | -                                                       | -                                        | -                                | -                                                | -                                          | -                  | -        | -         | Aislado                   | Pocas parcelas, ubicadas en zonas más naturales, baja densidad.                                    |
| 4             | 10                | 3,21                  | 1471,5 | -                                              | 8,9    | 1480,3 | 24   | -                                       | 1    | 25    | 45,82 | —              | 0,03 | 67,5                                         | -                                          | -                                      | -                                                       | 25                                       | -                                | -                                                | -                                          | -                  | -        | -         | Pareado/ Semiagrupado     | Lotes agrupados, no forman manzanas continuas; urbanización dispersa.                              |
| 5             | 12                | 9,96                  | 309,3  | 292,8                                          | 754,6  | 1356,6 | 2    | 6                                       | 16   | 24    | 3,11  | 2,94           | 7,58 | 70,7                                         | -                                          | 13                                     | -                                                       | -                                        | 11                               | -                                                | -                                          | -                  | -        | -         | Pareado/ Semiagrupado     | Tejido compacto en sectores pero aún fragmentado, tendencia a agrupamiento.                        |
| 6             | 18                | 41,89                 | 1737,4 | 345,3                                          | 1756,3 | 3838,9 | 28   | 8                                       | 34   | 70    | 0,41  | 0,08           | 0,42 | 72,8                                         | -                                          | 14                                     | 52                                                      | -                                        | -                                | -                                                | -                                          | -                  | -        | 4         | Pareado                   | Lotes agrupados siguiendo vialidad y borde, con menor continuidad.                                 |
| 7             | 6                 | 30,54                 | 2683,3 | 269,7                                          | 665,3  | 3618,2 | 19   | 9                                       | 17   | 45    | 6,79  | 0,68           | 1,68 | 49,7                                         | -                                          | 13                                     | -                                                       | -                                        | -                                | -                                                | 32                                         | -                  | -        | -         | Continuo/Compacto         | Desarrollo en bloque alineado, alta densidad, fuerte presencia de lotes recientes.                 |
| 8             | 14                | 57,13                 | 4870,8 | 591,2                                          | 2383,2 | 7845,1 | 88   | 16                                      | 27   | 131   | —     | 1,03           | 4,17 | 66,8                                         | -                                          | -                                      | -                                                       | -                                        | -                                | -                                                | 126                                        | 4                  | -        | 1         | Continuo/Compacto         | Patrones densos y lineales, expansión reciente, lotes alineados en el borde urbano.                |
| 9             | 32                | 72,74                 | 6831,5 | 294,3                                          | 5725,3 | 12851  | 147  | 7                                       | 98   | 252   | 9,39  | 0,40           | 7,87 | 78,3                                         | -                                          | 16                                     | -                                                       | -                                        | -                                | -                                                | 209                                        | -                  | 8        | 19        | Continuo/Compacto         | Mayor concentración de lotes alineados, expansión hacia la ciudad, desarrollo reciente y continuo. |

Tabla 2. Cambios en la superficie del humedal Boca Maule por tipo de cobertura (2002, 2011 y 2022). (fuente: elaboración propia, 2025).

pareado o semiagrupado donde los lotes se disponen de manera agrupada, aunque no conforman manzanas contiguas ni patrones de urbanización homogéneos. Si bien se observa una urbanización fragmentada del borde ecológico, aquí es recomendable consolidar corredores ecológicos que conecten el humedal con los espacios verdes y abiertos dispersos. Dada la densificación de los barrios

con el ecosistema, se pueden implementar bordes permeables con sistemas de drenaje sustentable. Finalmente, las áreas 7, 8 y 9 se caracterizan por un patrón continuo y compacto, donde los lotes se disponen de forma alineada y densa, generando un tejido urbano más homogéneo. Este patrón refleja un proceso reciente de expansión urbana intensiva -orientado hacia el borde

del humedal- que debe ser aprovechado mediante conectividad ecológica para IVA que articule parques de borde y senderos ecológicos que potencien la recreación y la contemplación (figura 6).

DISCUSIÓN

Los resultados evidencian una fragmentación progresiva del entorno urbano del humedal

Boca Maule, reflejo de patrones de expansión informal y procesos de densificación no regulada sobre suelos ecológicamente sensibles. Este patrón confirma lo planteado por Jaque *et al.* (2020) respecto de la competencia territorial entre urbanización y ecosistemas, donde el suelo urbano tiende a imponerse a las funciones ecológicas. Esto configura un fenómeno de “cercamiento” que restringe la accesibilidad, la conectividad ecológica y las funciones ecosistémicas (Hodkinson, 2012).

Entre 2002 y 2022, la superficie del humedal disminuyó de 65,04 ha a 43,51 ha, principalmente por prácticas de relleno y ocupación informal del borde, tendencia también observada en otros humedales del Biobío (Rojas *et al.*, 2019). El aumento del humedal temporal y la reducción del permanentemente inundado sugieren alteración del régimen hídrico, fenómeno que podría estar asociado a cambios climáticos regionales o interrupción de flujos naturales por infraestructura urbana (Ro y Hong, 2008). En términos urbanos, se identifican tres tipos de tejido: aislado/disperso, semiagrupado y compacto. Los tejidos de baja densidad constituyen bordes de oportunidad ecológica al conservar espacios abiertos que pueden operar como IVA de amortiguación y restauración, mientras que los tejidos semiagrupados configuran zonas de transición donde es posible consolidar corredores ecológicos y bordes permeables. En contraste, las áreas compactas (7, 8 y 9), presentan una consolidación urbana sin medidas de mitigación ambiental, incrementando la impermeabilización y la escorrentía superficial (Oliveira, 2016), por lo que requieren de IVA orientada a la conectividad y la regulación hídrica. La evidencia coincide con estudios recientes que muestran que los impactos de la densificación urbana pueden mitigarse si se integra la IVA como estructura territorial, manteniendo servicios ecosistémicos clave

(van Oorschot *et al.*, 2024). Estos autores demostraron que los modelos urbanos que combinan crecimiento compacto con IVA mantienen mejores niveles de regulación hídrica, temperatura y biodiversidad, en comparación con aquellos basados solo en expansión edificada. Esto refuerza la necesidad de orientar el desarrollo urbano de Boca Maule hacia un enfoque de IVA que articule conectividad ecológica y resiliencia. Los resultados refuerzan la urgencia de incorporar IVA en la zonificación de la planificación urbana (Ahern, 2013; Beninde *et al.*, 2015; Kometa *et al.*, 2018). La articulación de corredores ecológicos, sistemas de drenaje urbano sustentable y zonas de amortiguación son claves para restaurar funciones críticas del humedal y anticipar riesgos como inundaciones costeras. Si bien las medidas de planificación pueden no ser suficientes para la conservación de humedales (Sizo *et al.*, 2015), la zonificación y las políticas ambientales son recomendadas para alinear el crecimiento urbano con los esfuerzos de conservación (Athukorala *et al.*, 2021).

## CONCLUSIONES

El análisis del entorno del humedal urbano Boca Maule evidencia que los procesos de densificación y crecimiento urbano desregulado han provocado una progresiva fragmentación ecológica, afectando los bordes del humedal, su conectividad y la provisión de servicios ecosistémicos. La evaluación morfológica de los nueve tejidos urbanos revela una marcada heterogeneidad en los patrones de ocupación del suelo y en su relación con las áreas de conservación y riesgo de inundación. En este contexto, el diagnóstico realizado permite identificar atributos territoriales favorables para el desarrollo de una futura red de infraestructura verde-azul, constituyendo una base operativa para orientar decisiones de planificación urbana con enfoque ecosistémico y de resiliencia.

La integración de IVA y soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en la planificación urbana requiere reconocer los procesos de densificación y fragmentación ecológica como fenómenos simultáneos. En contextos costeros y de borde urbano —como los humedales de Coronel—, la expansión del tejido urbano modifica las dinámicas hidrológicas y ecológicas, generando “zonas de transición” donde la IVA puede desempeñar un rol restaurador. Incorporar este tipo de análisis territorial permitirá orientar estrategias hacia la identificación de áreas críticas y la tipificación de soluciones que fortalezcan la conectividad ecológica estructural.

A partir de estos hallazgos se proponen orientaciones para la implementación de IVA en el entorno del humedal Boca Maule. En primer lugar, se plantea la actualización del Plan Regulador Comunal (PRC), mediante la creación de zonas de amortiguación ecológica que restrinjan nuevos loteos y fomenten usos compatibles con la conservación. En segundo lugar, se recomienda la integración funcional del humedal al sistema urbano, reconociéndolo como infraestructura natural estratégica para la resiliencia. Para ello, resulta fundamental ampliar la red de IVA, restaurar la vegetación ribereña, habilitar bordes permeables y reconvertir suelos degradados en espacios multifuncionales para la conectividad ecológica y la recreación sustentable. ▲▲▲

## Agradecimientos:

Proyecto ANID FONDECYT REGULAR N° 1250128. “Accesibilidad y valor percibido de humedales urbanos y parques de humedales: soluciones basadas en la naturaleza para la sustentabilidad de ciudades costeras”. Fondo de Investigación en Ciencia y Tecnología de la ANID.

CEDEUS - Fondo de Financiamiento de Centros de Excelencia en Investigación ANID FONDAP 1523A0004.

## REFERENCIAS

- Abrego L., J. Rivera, J. A. Garrido, A., y Wilkie, E. (2024). Revisión bibliográfica del impacto de la fragmentación y la urbanización sobre las comunidades de insectos. *Mesoamericana*, 26(1), 33-40. <https://doi.org/10.48204/j.mesoamericana.v26n1.a5079>.
- Aguilera, M. A., Tapia, J., Gallardo, C., Núñez, P., y Varas-Belemmi, K. (2020). Loss of coastal ecosystem spatial connectivity and services by urbanization: Natural-to-urban integration for bay management. *Journal of Environmental Management*, 276, 111297. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111297>.
- Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 28(6), 1203-1212. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9799-z>.
- Alves, A., Vojinovic, Z., Kapelan, Z., Sanchez, A., y Gersonius, B. (2020). Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. *Science of The Total Environment*, 703, 134980. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134980>.
- Athukorala, D., Estoque, R. C., Murayama, Y., y Matsushita, B. (2021). Impacts of urbanization on the Muthurajawela Marsh and Negombo Lagoon, Sri Lanka: Implications for landscape planning towards a sustainable urban wetland ecosystem. *Remote Sensing*, 13(2), 316. <https://doi.org/10.3390/rs13020316>.
- Bellezoni, R. A., Meng, F., He, P., y Seto, K. C. (2021). Understanding and conceptualizing how urban green and blue infrastructure affects the food, water, and energy nexus: A synthesis of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125825. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125825>.
- Beninde, J., Veith, M., y Hochkirch, A. (2015). Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intraurban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 18(6), 581-592. <https://doi.org/10.1111/ele.12427>.
- Bentrop, G. (2008). *Conservation Buffers—Design guidelines for buffers, corridors, and greenways*. <https://doi.org/10.2737/SRS-GTR-109>.
- Das, N., y Mehrotra, S. (2023). Impact of Urban Expansion on Wetlands: A Case Study of Bhøj Wetland, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 51(8), 1697-1714. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01728-7>.
- Delaney, K. S., Riley, S. P. D., y Fisher, R. N. (2010). A Rapid, Strong, and Convergent Genetic Response to Urban Habitat Fragmentation in Four Divergent and Widespread Vertebrates. *PLoS ONE*, 5(9), e12767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012767>.
- Ekumah, B., Armah, F. A., Afrifa, E. K. A., Aheto, D. W., Odoi, J. O., y Afitiri, A.-R. (2020). Geospatial assessment of ecosystem health of coastal urban wetlands in Ghana. *Ocean & Coastal Management*, 193, 105226. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105226>.
- Ferreira, C. S. S., Kašanin-Grubin, M., Solomun, M. K., Sushkova, S., Minkina, T., Zhao, W., y Kalantari, Z. (2023). Wetlands as nature-based solutions for water management in different environments. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 33, 100476. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100476>.
- Festus, I. A., Omoboye, I. F., y Andrew, O. B. (2020). Urban Sprawl: Environmental Consequence of Rapid Urban Expansion. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 5(6), 110-118. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v5i6.411>.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/978107050327>.
- Gato-Trinidad, S., Carroll, J., Aladin, E., y Gilbert, T. (2023). Understanding the Role of Constructed Wetlands in Stormwater Management. In *Flood Risk in a Climate Change Context - Exploring Current and Emerging Drivers*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102912>.
- Hodkinson, S. (2012). The new urban enclosures. *City*, 16(5), 500-518. <https://doi.org/10.1080/13604813.2012.709403>.
- Holden, E. (2004). Ecological footprints and sustainable urban form. *Journal of Housing and the Built Environment*, 19(1), 91-109. <https://doi.org/10.1023/B:JOHO.0000017708.98013.cb>.
- Jaque, E., Ojeda - Leal, C., y Almendra, D. (2020). Presiones por el uso de los comunes urbanos en Áreas Metropolitanas. Caso del humedal Boca Maule en Chile. *Atelie Geográfico*, 14(3), 74-99. <https://doi.org/10.5216/agv14i3.60518>.
- Kometa, S. S., Kimengsi, J. N., y Petiangma, D. M. (2018). Urban development and its implications on wetland ecosystem services in Ndop, Cameroon. *Environmental Management and Sustainable Development*, 7(1), 21-41. <https://doi.org/10.5296/emds.v7i1.12141>.
- Kumar, P., Debele, S. E., Khalili, S., Hallios, C. H., Sahani, J., Aghamohammadi, N., Andrade, M. de F., Athanassiadou, M., Bhui, K., Calvillo, N., Cao, S.-J., Coulon, F., Edmondson, J. L., Fletcher, D., Dias de Freitas, E., Guo, H., Hort, M. C., Katti, M., Kjeldsen, T. R., y Jones, L. (2024). Urban heat mitigation by green and blue infrastructure: Drivers, effectiveness, and future needs. *The Innovation*, 5(2), 100588. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100588>.
- Nguyen, N. T. H., Friess, D. A., Todd, P. A., Mazor, T., Lovelock, C. E., Lowe, R., Gilmour, J., Chou, L. M., Bhatia, N., Jaafar, Z., Tun, K., Yaakub, S. M., y Huang, D. (2022). Maximising resilience to sea-level rise in urban coastal ecosystems through systematic conservation planning. *Landscape and Urban Planning*, 221, 104374. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104374>.
- Lin, Q., y Yu, S. (2018). Losses of natural coastal wetlands by land conversion and ecological degradation in the urbanizing Chinese coast. *Scientific Reports*, 8(1), 15046. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33406-x>.
- Martínez, C., López, P., Rojas, C., Qüense, J., Hidalgo, R., y Arenas, F. (2020). A sustainability index for anthropized and urbanized coasts: The case of Concón Bay, central Chile. *Applied Geography*, 116, 102166. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102166>.
- Mayer, P. M., Reynolds, S. K., McCutchen, M. D., y Canfield, T. J. (2007). Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *Journal of Environmental Quality*, 36 4, 1172-1180. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:12266866>.
- McPhearson, T., Kabisch, N., y Frantzeskaki, N. (2023). *Nature-Based Solutions for Cities*. Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781800376762>.
- Mell, I. (2016). *Global Green Infrastructure: Lessons for successful policy-making, investment and management* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315720968WU>.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2025). Estrategia de Ciudades Verdes: Anteproyecto. Documento de consulta pública. Gobierno de Chile.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (Orden PCM/735/2021, de 9 de julio). Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es>.
- Municipalidad de Coronel. (2013). *Plan Regulador Comunal PRC*. <https://www.coronel.cl/plan-regulador-coronel/>.
- Municipalidad de Coronel. (2021). *Solicitud declaratoria humedal urbano: Humedal Boca Maule*. <https://sistemahumedales.mma.gob.cl/HumedalesUrbanos/DetailsPublico/24>.
- Muñiz, I., Rojas, C., Busuldu, C., García, A., Filipe, M., y Quintana, M. (2016). Forma urbana y Huella Ecológica en el Área Metropolitana de Concepción (Chile). *EURE (Santiago)*, 42(127), 209-230. <https://doi.org/10.4067/S0250-71620160003000009>.
- Novoa, V., Rojas, O., Ahumada-Rudolph, R., Sáez, K., Fierro, P., y Rojas, C. (2020). Coastal Wetlands: Ecosystems Affected by Urbanization? *Water*, 12(3), 698. <https://doi.org/10.3390/w12030698>.
- Oliveira, V. (2016). *Urban Morphology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32083-0>.
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., y McGrath, B. (2013). Ecology of the city as a bridge to urban design. En: S. T. A. Pickett, M. L. Cadenasso, y B. McGrath (Eds.), *Resilience in Ecology and Urban Design: Linking Theory and Practice for Sustainable Cities* (pp. 1-20). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-5341-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-5341-9_1).
- Ro, T. H., y Hong, S.-K. (2008). Landscape Ecology for Biodiversity. In *Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas* (pp. 149-161). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/1-4020-5488-2\\_10](https://doi.org/10.1007/1-4020-5488-2_10).
- Rojas, C., Sepúlveda-Zúñiga, E., Barbosa, O., Rojas, O., y Martínez, C. (2015). Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitana. *Revista de Geografía Norte Grande*, 61, 181-204. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022015000200010>.
- Rojas, C., de la Barrera, F., Aranguiz, T., Munizaga, J., y Pino, J. (2017). Efectos de la urbanización sobre la conectividad ecológica de paisajes metropolitanos. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2), 155-182. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-42652017000200007&ing=es&nrm=iso&tng=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652017000200007&ing=es&nrm=iso&tng=es).
- Rojas, C., Munizaga, J., Rojas, O., Martínez, C., y Pino, J. (2019). Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning. *Land Use Policy*, 80, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.036>.
- Rojas, C., y Jorquera, F. (2021). Urban Fabrics to Eco-Friendly Blue-Green for Urban Wetland Development. *Sustainability*, 13(24), 13745. <https://doi.org/10.3390/su132413745>.
- Sawatzky, M. E., y Fahrig, L. (2019). Wetland buffers are no substitute for landscape-scale conservation. *Ecosphere*, 10(4). <https://doi.org/10.1002/ecs2.2661>.
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., y Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>.
- Sekovski, I., Newton, A., y Dennison, W. C. (2012). Megacities in the coastal zone: Using a driver-pressure-state-impact-response framework to address complex environmental problems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.011>.
- Simkin, R. D., Seto, K. C., McDonald, R. I., y Jetz, W. (2022). Biodiversity impacts and conservation implications of urban land expansion projected to 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(12). <https://doi.org/10.1073/pnas.2117297119>.
- Sizo, A., Noble, B., y Bell, S. (2015). Futures analysis of urban land use and wetland change in Saskatoon, Canada: An application in strategic environmental assessment. *Sustainability*, 7(1), 811-830. <https://doi.org/10.3390/su7010811>.
- Stefanakis, A. (2019). The Role of Constructed Wetlands as Green Infrastructure for Sustainable Urban Water Management. *Sustainability*, 11(24), 6981. <https://doi.org/10.3390/su11246981>.
- Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 999-1023. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>.
- Zumelzu-Scheel, A. (2016). Forma urbana y sostenibilidad: pasado, presente y desafíos. Una revisión. *AUS*, 20, 77-85. <https://doi.org/10.4206/aus.2016.n20-12>.