

Tipologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible para la reducción del riesgo de inundación en la cuenca del río Andalién, Concepción

Typologies of sustainable urban drainage systems to reduce the risk of flooding in the Andalién River Basin, Concepción

¹Ignacio Felis, ²Natalia Candia Barrera, ³Andrea Fernández

RESUMEN

El Área Metropolitana de Concepción (AMC) enfrenta un crecimiento urbano que ha impactado significativamente en la fragmentación de los ecosistemas naturales, especialmente en el sistema hídrico del AMC. La urbanización de las últimas décadas ha causado alteraciones considerables en los tramos urbanos de los ríos y los sistemas de agua, generando impactos en sus funciones, procesos y dinámicas (Espinosa et al., 2018). El modelo de urbanización actual se desarrolla mediante rellenos y compactación de suelos abarcando extensas áreas de humedales y zonas ribereñas del AMC. Estos procesos de urbanización han tenido efectos negativos, incluyendo la pérdida de biodiversidad, deterioro de la calidad del agua y alteraciones en procesos ecológicos esenciales. Desde una perspectiva socioambiental, la reducción e impermeabilización de superficies urbanas ha aumentado la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, incrementando los riesgos asociados a inundaciones. El objetivo principal de la investigación es analizar

el espacio público del área urbanizada de la cuenca del río Andalién (específicamente en el sector Valle Noble) con el fin de proponer estrategias de diseño urbano sensible al agua para reducir el riesgo de inundación pluvial, mediante la integración de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDs). Para ello, se revisan y sistematizan los SUDs existentes, identificando aquellos que pueden contribuir a la reducción del riesgo de inundación pluvial en la cuenca del río Andalién. Los resultados muestran que las actuales formas de urbanización, no reconocen en su estructuración el sistema natural de zonas ribereñas. Se identifican cinco tipologías de espacios públicos de acuerdo a sus necesidades y características específicas para los cuales se proponen cinco tipologías correspondientes de implementación de SUDs en el planeamiento de las nuevas urbanizaciones que pueden contribuir a la reducción de los riesgos de inundación pluvial en urbanización en torno al borde río Andalién.

Palabras clave

Crecimiento urbano; Tipologías; Sistema hídrico; SUDs; Riesgo de inundaciones

¹Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
<https://orcid.org/0009-0001-6249-0223>

²Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
<https://orcid.org/0009-0001-8308-6115>

³Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
<https://orcid.org/0000-0003-3309-1968>

Autor de correspondencia: Ignacio Felis.
Dirección: Victoria 486-490, Concepción, Chile.
E-mail: ignaciofelis@gmail.com

ISSN 2735-6078 Impresa
ISSN 2735-606X on-line
DOI:10.29393/UR17-4TSIA30004

ABSTRACT

The Metropolitan Area of Concepción (AMC) faces urban growth that has had a significant impact on the fragmentation of natural ecosystems, especially the water system of the AMC. Urbanization in recent decades has caused considerable alterations in urban stretches of rivers and water systems, generating impacts on their functions, processes and dynamics (Espinoza et al., 2018). The current urbanization model is developed through landfill and soil compaction covering extensive wetland and riparian areas of the AMC. These processes of urbanization have had negative effects, including loss of biodiversity, deterioration of water quality and alterations in essential ecological processes. From a socio-environmental perspective, the reduction and waterproofing of urban areas has increased vulnerability to extreme weather events, increasing the risks associated with flooding. The main objective

of the research is to analyze the public space of the urbanized area of the Andalién River basin (specifically in the Valle Noble sector) in order to propose water-sensitive urban design strategies to reduce the risk of rain flooding, through the integration of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDs). To this end, the existing LDSs are reviewed and systematized, identifying those that can contribute to reducing the risk of rain flooding in the Andalién River basin. The results show that the current forms of urbanization do not recognize in their structure the natural system of riparian areas. Five typologies of public spaces are identified according to their needs and specific characteristics, for which five corresponding typologies are proposed for the implementation of LDSs in the planning of new urbanizations that can contribute to reducing the risks of rain flooding in urbanizations around the edge of the Andalién River.

Keywords

Urban growth; Typologies; Water system; SUDS; Flood risk

INTRODUCCIÓN

Las cuencas en Chile son fundamentales para la sustentabilidad de las ciudades, debido a la configuración territorial del país. Estos sistemas conectan cursos de agua, tierras altas y bajas, y desempeñan un papel clave en aspectos como el clima, los suelos, la provisión de agua y la vegetación (Vidal y Romero, 2010). El crecimiento urbano en la ciudad de Concepción que se establece cerca de los ríos Biobío y Andalién se ha expandido mediante relleno y compactación de suelos hacia los límites geográficos de la ciudad, afectando ampliamente su territorio (Espinoza et al., 2017).

El estudio de Vidal y Romero (2010) indica que las transformaciones urbanas del territorio implican la modificación sistemática de la naturaleza de las redes hidrográficas (lechos de inundación fluvial, alteración de fondos y bordes de cauces fluviales), alterando significativamente la calidad y cantidad de aguas superficiales y subterráneas. Adicionalmente, indica que el reemplazo de superficies agrícolas, sitios eriazos y naturales por superficies impermeabilizadas, como calles y pavimentos duros, aumenta la escorrentía superficial y subterránea. Se concluye que las inundaciones y anegamientos de mayor magnitud se concentran en zonas donde se ha incrementado

la capacidad de erosión y transporte de sedimentos, añadiendo la impermeabilización del suelo y su poca capacidad de infiltración que aumenta el escurrimiento.

El campo de estudio se ha centrado en las inundaciones desde el enfoque de los riesgos y amenazas asociadas a cambios ambientales y las dinámicas de las inundaciones fluviales (Rojas, 2015) a través de análisis espaciales cartográficos. Sin embargo, resulta necesario profundizar en mecanismos que permitan complementar los estudios existentes que consideren particularidades vinculadas a la colaboración ante riesgos de inundación pluvial, mediante de la integración de estrategias de diseño urbano sensible al agua y su representación en el espacio. Todo esto con el fin de contribuir en la estructuración de las nuevas urbanizaciones del AMC.

El sector urbanizado del borde del río Andalién en la ciudad de Concepción, sector Valle Noble, está emplazado sobre la llanura de inundación sur del río, con expansión hacia el sector noreste, donde la llanura se ensancha en superficie. Su urbanización comenzó en el año 2005 y actualmente continúa en ejecución. La forma de urbanización corresponde a rellenos y compactación de suelos en grandes superficies de la llanura de inundación del borde río Andalién.

Este artículo se plantea en el marco del trabajo final de grado asociado a la carrera de Arquitectura. El objetivo fue analizar las características físicas y urbanas del área urbanizada de la cuenca del río Andalién en el sector Valle Noble, para una posible implementación de estrategias de diseño urbano sensible al agua, a partir de la integración de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDs). Con ello se espera abordar un ejercicio propositivo que representa una forma de acercamiento proyectual sostenible a la relación de la ciudad con su entorno natural, específicamente asociado a las zonas ribereñas.

Para analizar las características físicas y urbanas del sector urbanizado de la cuenca del río Andalién (Valle Noble) se propone una metodología mixta cualitativa y cuantitativa en base a variables como características físicas y análisis del medio urbano. Para identificar los SUDs pertinentes para su implementación se realiza el levantamiento a partir de los datos y fuentes de información asociada manuales y metodologías de diseño urbano sensible al agua. Finalmente, mediante información espacial se plantea la representación de la propuesta de integración de estrategias de diseño urbano sensible al agua, a través de la definición de tipologías de espacios públicos del sector Valle Noble.

METODOLOGÍA

Expansión Urbana y Riesgo de Inundación

La expansión urbana determina un crecimiento expansivo que se sobrepone al contexto natural. Históricamente, los ríos han constituido focos preferenciales de concentración de poblaciones, las cuales han sometido a una gran presión y modificación de sus cauces, llanuras de inundación, esteros y humedales (Romero et al, 2014).

Por otra parte, los usos urbanos y la red de transporte que intervienen y, en ocasiones, reemplazan los cursos naturales de agua, afectan la geometría de la red de drenaje a partir de la superposición de redes viales u otros espacios de características altamente impermeables, disminuyendo la recarga de acuíferos e incrementando el escurrimiento superficial del agua (Vidal y Romero, 2010). Lo anterior se traduce en poblaciones urbanas cada vez más vulnerables frente a este tipo de desastres (Rojas, 2015).

Las zonas ribereñas desempeñan un papel fundamental en la prestación de servicios ecosistémicos a la población (Romero et al., 2014). Estas áreas cumplen funciones esenciales para la preservación de ecosistemas y relaciones territoriales, influyendo en el paisaje en términos de riqueza y belleza natural y proporcionando bienes y servicios tanto para la biota como para el bienestar humano. En este sentido, mejoran la calidad del curso de agua, controlan la erosión y las inundaciones, proporcionan hábitat para la fauna silvestre, regulan el microclima, reducen el ruido y la temperatura del agua, y facilitan la infiltración de agua en el suelo. Asimismo, si son bien preservadas, las zonas ribereñas pueden actuar como corredores verdes efectivos, brindando valiosos servicios ecosistémicos, permitiendo el desarrollo de actividades sociales y culturales, presentando oportunidades para la recreación y conservación del patrimonio cultural (Vásquez, 2016).

Tabla 1.
Tabla de tipologías y funciones de SUDS.

Tipos de sistemas	Tipologías SUDS	Función principal				
		Filtración	Detención	Tratamiento	Retención	Infiltración
1. Infiltración o control en origen	Superficies permeables	P				S
	Pozos y zanjas de infiltración	S				P
	Depósitos de infiltración		S			P
2. Transporte permeable	Drenes filtrantes	P	S			
	Cunetas verdes			P		S
	Franjas filtrantes	P		S		
3. Tratamiento pasivo	Depósitos de detención		P			S
	Estanques de retención			S	P	
	Humedales artificiales		S	P		

Fuente: Elaboración propia a partir de Manual CIRIA (2015).

Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

La integración de SUDS busca minimizar las inundaciones y tienen como objetivos principales reducir el volumen de agua que llega a los puntos de vertido y mejorar la calidad del agua que se devuelve al entorno natural. Además, los SUDS permiten aprovechar el agua de lluvia para diversos usos y también contribuyen a mejorar el paisaje circundante (Ministerio para la Transición Ecológica, España, 2019). Son sistemas alternativos al drenaje convencional que gestionan la escorrentía generada en superficies urbanas mediante técnicas que imitan los procesos naturales anteriores al desarrollo urbano (De la Fuente-García et al., 2021). Según Perales (2008), minimizan los impactos del desarrollo urbano y maximizan la integración paisajística, así como los valores sociales y ambientales de las intervenciones planificadas.

Los SUDs se caracterizan en tres variables y tipos de sistemas asociados principalmente en infiltración y control de origen; transporte permeable; y tratamiento pasivo. Los sistemas de infiltración o control en origen, permiten la infiltración superficial del agua de lluvia o la escorrentía superficial, cerrando el ciclo del agua al conectar la superficie con un sustrato permeable. Incluyen superficies permeables, pozos y zanjas de infiltración, y depósitos de infiltración. Los sistemas de transporte permeable, tienen por principal función transportar el agua pluvial hacia otros sistemas de tratamiento o puntos de vertido, aportando ventajas en el camino. Incluyen drenes filtrantes, cunetas verdes y franjas filtrantes. Los sistemas de tratamiento pasivo se encuentran al final de la red y retienen las aguas pluviales durante un período de tiempo antes de verterlas al medio receptor, proporcionando un tratamiento adecuado. Incluyen depósitos de detención, estanques de retención y humedales de retención (Construction Industry Research and Information Association [CIRIA], 2015).

La Tabla 1 muestra estas variables y tipos de sistemas, y su clasificación entorno a los SUDs existentes, asociando también las funciones principales (P) y secundarias más habituales (S).

La aplicación de estos modelos implica tener en cuenta tres principios básicos: maximizar la infiltración del agua pluvial en las superficies urbanas, favorecer la retención de la escorrentía cuando sea posible mediante nuevos espacios diseñados para tal fin, y buscar oportunidades para la reutilización del agua infiltrada o retenida (CIRIA, 2015). Como indican los distintos estudios (CIRIA, 2015; Castro et al., 2005), dentro de los datos iniciales se deben conocer aspectos del planeamiento. Entre ellos, destacan los usos de las superficies en las que se divide el emplazamiento: la localización de locales, aparcamientos, calles y zonas verdes.

METODOLOGÍA

Para analizar las características físicas y urbanas del sector urbanizado de la cuenca del río Andalién (barrio Valle Noble) se utiliza la base cartográfica de acuerdo con planimetrías. El análisis y diagnóstico se centra en identificar las características físicas del lugar y su relación con el entorno urbano. Esto incluye aspectos como superficies y dimensiones de la infraestructura del espacio público.

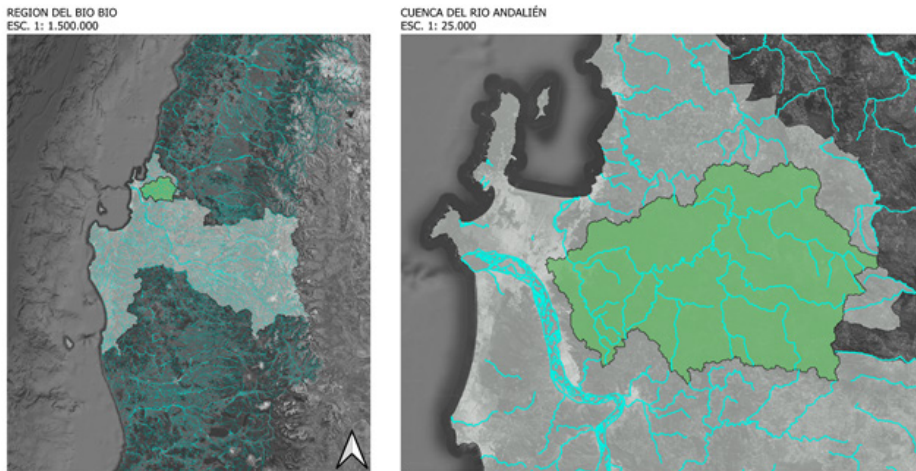
Analizando el medio urbano, se identifican las calles sin suficientes pendientes para evacuar el agua de drenaje por sí mismas y que, por tanto, podrían inundarse (conocidas como calles lago) y aquellas calles que tienen una elevada pendiente pudiendo generar velocidades de escorrentía peligrosas (conocidas como calles río). Se detectan también posibles áreas de infiltración, que se pueden proyectar o modificar para este propósito. Por ejemplo, los espacios urbanos degradados rehabilitables o restaurados mediante el reacondicionamiento de sus superficies o la implementación de SUDs específicos como humedales, áreas verdes o zonas de bio-retención, espacios verdes y áreas multifuncionales (Rodríguez-Rojas et al., 2017).

Tabla 2.
Análisis y diagnóstico Modelo DUSA.

	Variable	Función	Definición
V1	Medio urbano	Calle lago	Aquellas que no poseen suficiente pendiente para evacuar el agua de drenaje por sí mismas y que por tanto pueden inundarse.
		Calle río	Aquellas que tienen una elevada pendiente pudiendo generar velocidades de escorrentía peligrosas.
V2	Permeabilidad	Espacio urbano degradado	Que puedan ser rehabilitados y/o restaurados mediante el reacondicionamiento de sus superficies o a través de la implantación de algún SUDS Proyectado a tal efecto
		área de infiltración	Tipos de superficie que se pueden proyectar y/o modificar en el área de intervención de forma que se favorezca todo lo posible la infiltración de la escorrentía y se aumente al máximo el tiempo de retención de la misma.
V3	espacios de recogida y almacenamiento	Zonas verdes Áreas multifuncionales	Espacios de la función temporal para su posterior infiltración y retención pues su función será crucial para evitar inundaciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de Rodríguez et al., (2017).

Figura 1.
Cuenca del río Andalién.



Fuente: Elaboración propia.

Para identificar los SUDs se realiza el levantamiento de información a partir de los datos existentes y fuentes asociadas a Manual CIRIA 2015 y la Guía de Drenaje Urbano Sostenible para la Macrozona Sur de Chile (Centro de Desarrollo Urbano Sustentable [CEDEUS], 2021). Para la sistematización se consideró el planeamiento como el elemento base de reconocimiento inicial, identificando los usos del espacio público y las superficies en las que se divide el emplazamiento: calzada, acera y espacio abierto (Rodríguez-Rojas et al., 2017).

Finalmente, para la posible implementación de los SUDs en el sector Valle Noble, se genera información espacial que contribuye a la representación de la propuesta a través de la definición de tipologías de espacios públicos existentes del sector. El análisis se basa en caracterizar el espacio mediante la construcción de cortes espaciales. Utilizamos el corte urbano como herramienta técnica descriptiva, la cual constituye un “atravesamiento conceptual” de la realidad que necesita intención o dirección, con el objetivo de mirar, describir y recopilar (Rivas, 2015). Esta acción permite ver la espacialidad de la propuesta de integración de los diferentes elementos y alternativas de los SUDs en el espacio público.

RESULTADOS

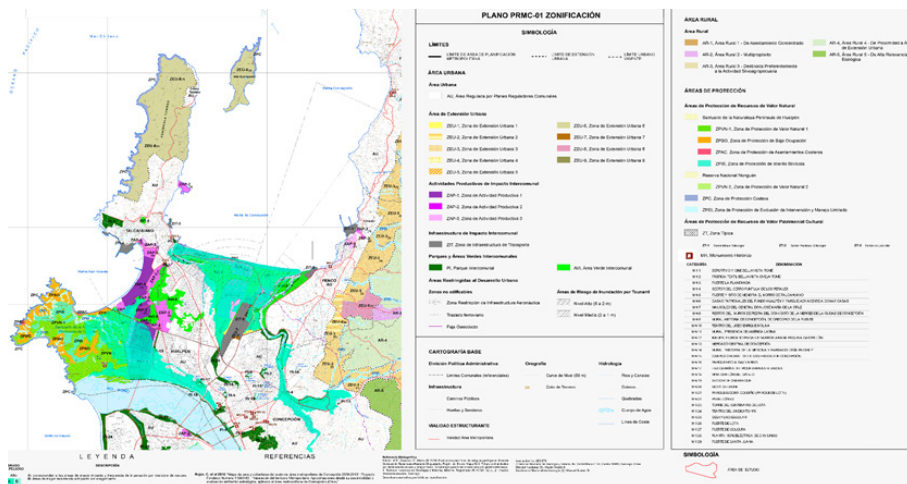
Contexto del Caso de Estudio Cuenca del río Andalién

La cuenca del río Andalién, situada en la región del Biobío, es un sistema hidrológico costero que abarca la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa en la latitud de los 36° Sur. La cuenca alberga aproximadamente 100.000 habitantes y se estima que el 10% de la población se concentra en la parte superior, mientras que el 90%

corresponde en su mayoría a población urbana distribuida en un 4% del área total de la cuenca (Jaque, 2010). Según estudios realizados por Rojas et al. (2015) se indica que el área de estudio reveló cambios significativos en la geomorfología debido a la expansión urbana.

Figura 2.

Plano Riesgo de Inundación y Anegamientos sobre Plan Regulador Metropolitano de Concepción.



Fuente: Elaboración propia a partir sobreposición de Plan Regulador Metropolitano de Concepción (mayo 2021) y mapa de Peligro de Inundación por desborde de cauces y anegamientos, (Falcón, M.F.; Ramirez, P. y Marín, M. 2010).

Sobre el área de estudio específica que se encuentra en la zona entre Collao y el estero Palomares, junto con uno de sus afluentes más importantes, el estero Nonguén, convierten a la zona en un área hidrológicamente dinámica y turbulenta (Espinosa et al., 2015). Es un área de alto riesgo de inundaciones, altamente presionada por el desarrollo inmobiliario de viviendas de construcción tradicional. Según el Servicio Nacional de Geología y Minería (2010), esta área se encuentra en grado de peligro de alto impacto y con frecuentes inundaciones.

Figura 3.

Suelo urbanización Valle Noble. Rellenos y drenajes artificiales.



Fuente: Elaboración propia.

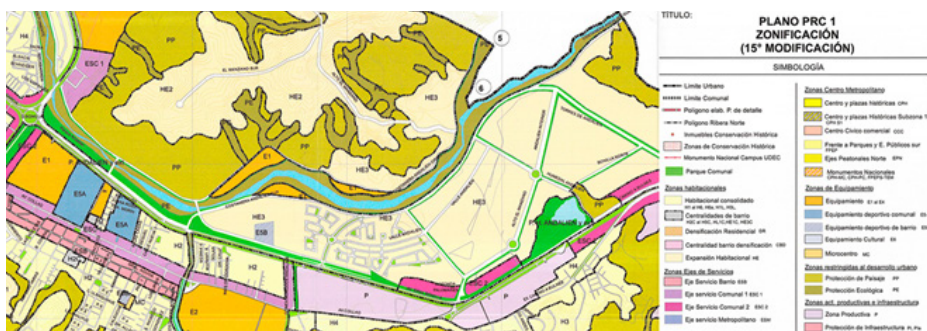
Suelos

Las llanuras de inundación presentan pendientes inferiores a 3.0% y una morfología plana, con anchos que van desde 500 hasta 1500 m. No obstante, debido a la presencia de infraestructura vial, el drenaje se ve parcialmente obstruido, lo que resulta en áreas permanentemente anegadas. Además, la altitud y ubicación de estas llanuras las hacen susceptibles a inundaciones y anegamientos durante la temporada de lluvias (Jaque, 2008).

El entorno construido se ha creado a través de la modificación de estos suelos, adaptando el medio físico mediante el relleno artificial y la sobreposición de capas de material a través de técnicas de compactación. Esta forma de urbanización ha modificado gran parte del suelo a lo largo del río Andalién relleno para ocupación urbana (Jaque, 2010). En este marco, esta área se encuentra definida dentro del Plan Regulador Intercomunal y el Plan Regulador Comunal, MINVU (2003) como futuras zonas de expansión de la ciudad, lo que implicará mayor carga poblacional aumentando los riesgos de inundación (Alarcón, 1995; Mardones y Vidal, 2001; Mardones et al., 2006).

Figura 4.

Plan Regulador y área de estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de Plan Regulador Comunal 15ª modificación, (2021).

Plan Regulador Comunal

Según el Plan Regulador actual (PRC, 2021), más del 80% de la expansión urbana de Concepción se encuentra en la cuenca del río Andalién, en áreas de humedales o con riesgo de remoción en masa e inundación (Ochoa, 2019). El área de estudio se encuentra en el sector habitacional HE3. Como se puede apreciar en la Figura 4, se propone la expansión similar al noreste del estero Palomares, se reduce la zona de protección del río y se incorporan áreas verdes que se conectan con las viviendas (PRC, 2021).

Características Urbanas, Sector Valle Noble.

La construcción del barrio Valle Noble comienza en el año 2005 y actualmente se encuentra en ejecución la séptima etapa de expansión residencial. Esta área residencial se compone de 1.167 habitantes, según el censo 2017. Se emplaza entre el río Andalién y la carretera

Avda. General Oscar Bonilla. Se compone de conjuntos habitacionales encapsulados interconectados entre sí por una trama urbana irregular en forma de arcos, tipo cul-de-sac. Es decir, condominios cerrados los que la calle es punto de entrada y salida principal, donde además otras calles internas del condominio no tienen conexión directa con vías principales. De esta manera, la falta de conectividad y accesibilidad restringida reduce las interacciones sociales, así como los espacios públicos son privatizados por encontrarse al interior de cada condominio.

Medio Urbano

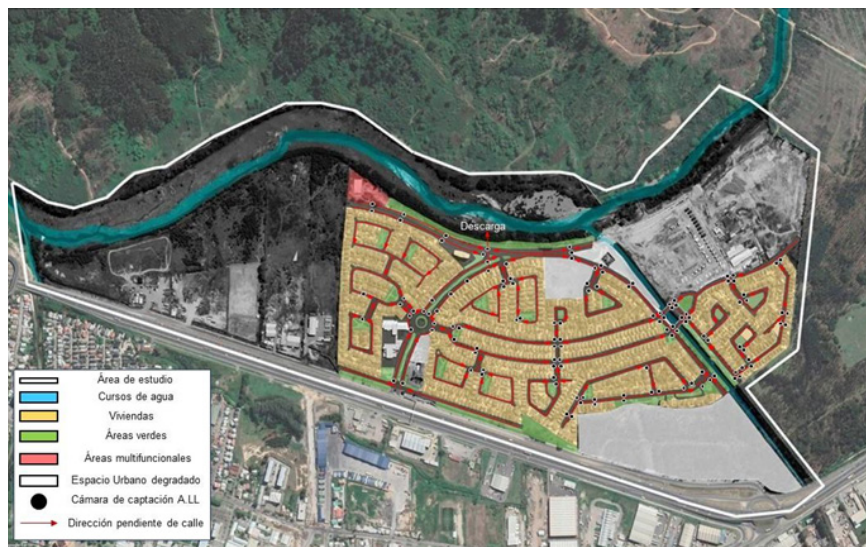
Al ser una zona compactada y modificada para su adaptación urbana, el suelo posee baja capacidad para infiltración, pues la topografía natural del terreno es rellenada mediante la superposición de capas de material de relleno artificial.

La forma de urbanización en base a rellenos planos se constituye mediante calles con pendientes insuficientes para evacuar aguas de drenaje por sí mismas y casi nulas con altas pendientes. Cabe mencionar que las formas de sus calles generan diversos direccionamientos de las aguas superficiales, y que hay predominancia de superficies asfaltadas en comparación con áreas verdes.

Asimismo, se pueden identificar espacios urbanos degradados. Por lo general, se encuentran asociados a sitios eriazos entorno al borde del río y a la carretera Avda. General Bonilla. Posee espacios verdes al borde río, estero y al interior de los condominios. Las áreas de infiltración se encuentran vinculadas a retazos entre condominios, así como áreas de borde calle. Además, se identifica un área multifuncional que provee de equipamientos para el conjunto residencial completo, tales como cancha de fútbol y sede junta de vecinos Valle Noble.

Figura 5.

Características urbanas sector Valle Noble hasta el año 2021.



Fuente: Elaboración propia a partir de reconocimiento en terreno y vía imágenes satelitales de Google Earth.

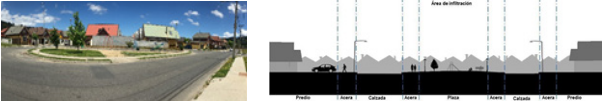
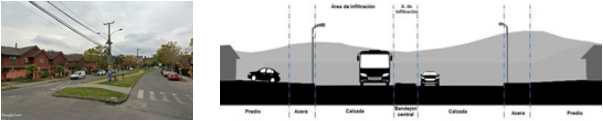
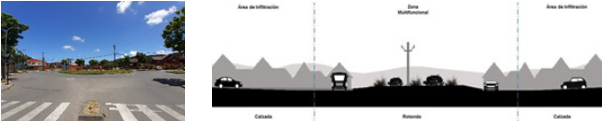
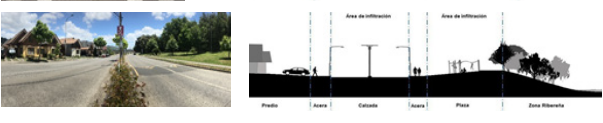
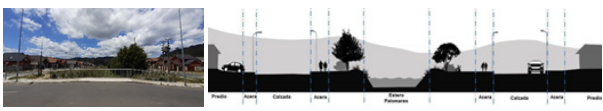
Figura 6.
Valle Noble a partir de Tipologías.



Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth.

No obstante a lo anterior, los espacios públicos del sector poseen características potenciales para la infiltración, retención y reutilización, porque cuentan con áreas permeables, con o sin cobertura vegetal, localizadas en calles (bordes entre vereda y acera); bandejones

Tabla 3
Tipologías del espacio público en el sector Valle Noble.

Tipologías del espacio público en el sector Valle Noble	
Tipologías del espacio público en el sector Valle Noble	
Tipología B. Calzada y acera: Bandejones centrales	
Tipología C. Calzada: Rotonda	
Tipología D. Espacio abierto: Calzada, acera y borde río	
Tipología E. Acera: Estero Palomares.	

Fuente: Elaboración propia a partir de Rodríguez et al., (2017).

centrales asociado a vías principales; rotonda que actúa como espacio funcional respecto a vías de transporte; plazas internas y en espacios públicos que incluyen el borde río Andalién y los esteros Palomares y Nonguén.

Tipologías de Espacios Públicos del sector Valle Noble

Los resultados muestran que existen 5 tipologías de espacios públicos en el sector. Estas tipologías están asociadas a las distintas condiciones relacionales y espaciales con el entorno.

Tabla 4.

Superficies en metros cuadrados de las plazas interiores ubicadas en Valle Noble.

Plaza 1	756
Plaza 2	749
Plaza 3	539
Plaza 4	765
Plaza 5	1031
Plaza 6	700
Plaza 7	396
Plaza 8	1120
Plaza 9	760
Plaza 10	545
Plaza 11	215
Plaza 12	570
Plaza 13	775
Plaza 14	355
Plaza 15	285
Plaza 16	465
Plaza 17	530
Plaza 18	1360
Plaza 19	805
Plaza 20	270
Plaza 21	340
Plaza 22	700
Plaza 23	210

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Tipología A: Espacio abierto: Plazas internas

El barrio Valle Noble se constituye de diversas microplazas, que se emplazan al interior de las distintas cápsulas que componen el conjunto habitacional. El barrio posee 23 plazas internas, que tienen usos recreacionales. Corresponden a espacios con o sin cobertura vegetal, de las cuales, por sus dimensiones (por ejemplo, plaza 5, 8 y 18) poseen más potencial para resolver el escurrimiento superficial causado por la excesiva pavimentación.

Tipología B: Calzada y acera: Bandejes centrales (BC)

Los bandejes centrales están presentes en la principal avenida de acceso al conjunto habitacional, llamada Avenida Valle Noble. Destacan por su tamaño y capacidad, sobre todo el BC 2. Esto le otorga la potencialidad para canalizar aguas superficiales.

Tabla 5.
Superficies Bandejes centrales (BC) Valle Noble.

Bandejes centrales	Superficie m ²
BC 1	757
BC 2	1800
BC 3	181
BC 4	95
BC 5	131
BC 6	94
BC 7	50
BC 8	25

Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

Tipología C: Calzada: Rotonda

El nodo central del barrio, corresponde a la rotonda en la cual convergen las pendientes de las calles circundantes. Dentro del conjunto habitacional existe tan solo una rotonda en la Avenida Valle Noble, que tiene una superficie de 703 m². La rotonda cumple la función de distribuir los flujos vehiculares al interior del barrio y actuar como un punto de acumulación de agua, debido al flujo de escorrentía superficial en esa dirección.

Tipología D: Espacio abierto: Borde río

El espacio público asociado al borde río comprende una plaza que se encuentra sobre el nivel de la calle. Estos rellenos fueron diseñados para proteger la plaza de las crecidas del río Andalién. Sin embargo, obstaculizan el flujo adecuado de las aguas hacia el río, generando un punto de inundación justo en la calzada anterior a la plaza. Este problema se agrava debido al exceso de pavimento impermeable en la zona. Este espacio, por su ubicación y superficie de 6.024 m², es potencial para el desarrollo de estrategias como los SUDs que colaboren a la escorrentía superficial, así como la integración de otras soluciones basadas en la naturaleza para restauración de zonas ribereñas que contribuyan al riesgo de inundación fluvial, respecto a las viviendas del entorno.

Tipología E: Acera: Borde Estero Palomares

El estero Palomares se compone de un borde público asociado a una vereda que circunda el estero y a la vegetación ribereña. Posee una superficie total de 8.634 m². Las intervenciones llevadas a cabo en la canalización del estero Palomares y canalización de aguas subterráneas dirigidas en su dirección, contribuyen al aumento de las inundaciones en la zona. Este problema se agrava debido a la expansión continua del área sin la implementación de métodos adecuados para el manejo de las aguas y el medio ambiente.

Identificación de los SUDs y su pertinencia para implementación en sector Valle Noble.

Para identificar los SUDs y su pertinencia en relación al sector Valle Noble, se realiza su sistematización respecto al planeamiento, el conocimiento de los usos posibles de las superficies en las que se divide el emplazamiento y su localización aplicable al espacio público, respecto a la calzada, acera y espacio abierto. De esta manera, la clasificación de las diferentes tipologías de SUDs, atribuidas a cada espacio público se relaciona con las características que definen su posible implementación en el espacio público, específicamente asociado a sus dimensiones, superficies y anchos, respecto a su emplazamiento en calles, espacio urbano degradado, áreas de infiltración, espacios verdes, y áreas multifuncionales (Rodríguez et al., 2016).

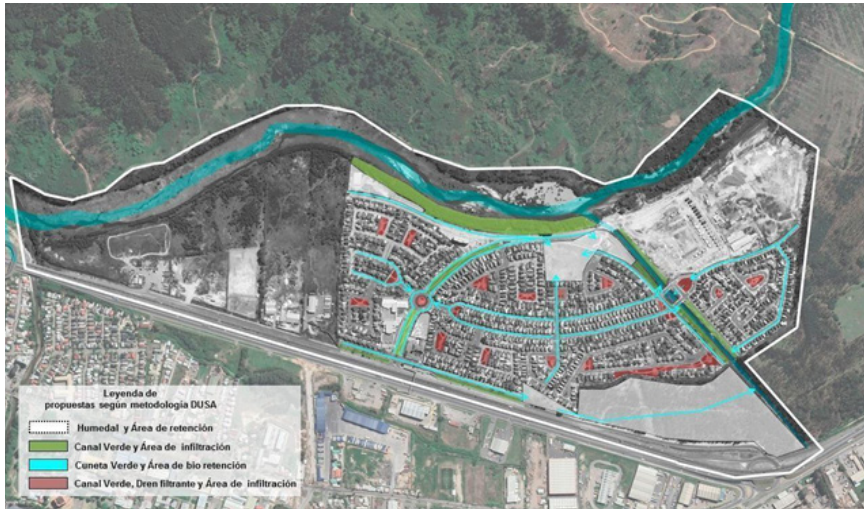
Tabla 6.
Clasificación de SUDs en base a metodología DUSA.

Tipología de SUDs	Definición	Imagen	Medio Urbano		Permeabilidad		Espacios de recogida y almacenamiento		Función		
			Calle río	Calle lago	Espacio urbano degradado	Áreas de infiltración	Espacios verdes	Áreas Multifuncionales	Infiltración	Filtración	Retención
Acequia urbana	Canal abierto que transporta la escorrentía hacia las zonas de infiltración, disminuyendo la temperatura del entorno y regenerando el paisaje.		x	x							x
Arroyo urbano	Canal vegetado abierto que transporta la escorrentía hacia las zonas de infiltración, disminuyendo la temperatura del entorno y regenerando el paisaje.		x	x							x
Jardín de lluvia	Elemento vegetado insertado en la acera que retiene, trata e infiltra la escorrentía procedente de la calzada, disminuyendo la temperatura del entorno y regenerando el paisaje.		x	x		x			x	x	x
Zanja de infiltración	Zanja de material granular que infiltra la escorrentía procedente de la calzada y aparcamientos recargando acuíferos.			x		x	x		x		
Quinta verde	Quinta vegetada que transporta, infiltra y trata la escorrentía procedente de la calzada y aparcamientos, recargando acuíferos y regenerando el paisaje.		x	x		x	x		x	x	x
Área de bioretención	Depresión vegetada del terreno que transporta, infiltra y trata la escorrentía procedente de la calzada y aparcamientos, recargando acuíferos y regenerando el paisaje.		x	x		x	x		x	x	x
Pavimento modular	Superficie modular que retiene e infiltra la escorrentía a través del espacio entre piezas, disminuyendo la temperatura del suelo y encharcamientos.								x		x
Canal verde	Canal vegetado que transporta, infiltra y trata la escorrentía procedente de zonas impermeables de la ciudad, recargando acuíferos y regenerando el paisaje.		x	x	x	x	x		x	x	x
Dren filtrante	Zanja de material granular que infiltra la escorrentía, procedente de zonas impermeables de la ciudad recargando acuíferos.		x		x	x			x		
Área de infiltración	Depresión vegetada del terreno que transporta, infiltra y trata la escorrentía procedente de las superficies impermeables de la ciudad, recargando acuíferos y regenerando el paisaje.			x	x	x	x		x	x	x
Área de retención	Estanque artificial que almacena temporalmente la escorrentía procedente de las superficies impermeables de la ciudad y la libera lentamente.		x	x				x	x	x	x
Humedal	Estaque de retención e infiltración natural, específico para tratar la escorrentía procedente de las superficies impermeables de la ciudad mediante vegetación natural.		x	x	x	x			x	x	x

Fuente: Elaboración propia, a partir de Manual CIRIA, (2015) y Rodríguez et al., (2017).

Figura 7.

Propuesta de estrategias según Metodología DUSA.



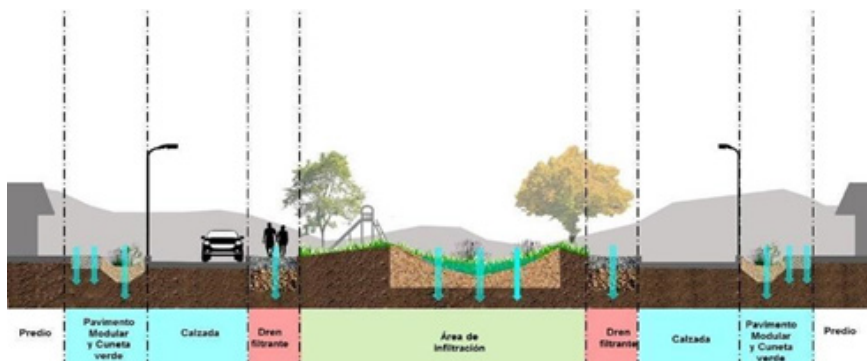
Fuente: Elaboración propia, a partir de Manual CIRIA, 2015 y Rodríguez et al., (2017).

Estrategias de diseño urbano sensible al agua. Propuesta para el sector Valle Noble

La propuesta considera mejorar la relación entre los cuerpos de agua y el entorno urbano del sector Valle Noble en el área urbanizada del río Andalién. Busca dirigir el agua a nuevos lugares adaptados para su almacenamiento, infiltración y retención (CIRIA, 2015). El mapa muestra la integración de los SUDs incorporándolos en los distintos espacios públicos urbanos: calles, plazas, borde río, rotonda. Con el fin de diseñar tipologías sensibles a los procesos hidrológicos y ecológicos, se proponen alternativas y combinaciones de SUDs pertinentes a los tipos de espacio público y usos existentes en el sector, dependiendo de sus características, dimensiones, superficies, materiales, etc.

Figura 8.

Propuesta tipología A. Plazas internas.



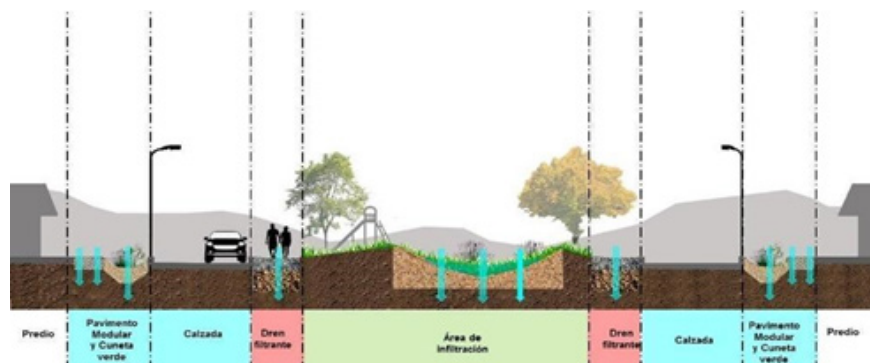
Fuente: Elaboración propia, (2021).

Tipología A: Plazas Internas

En plazas internas, se pueden implementar drenes filtrantes y cunetas verdes asociadas a la vía y calzadas para dirigirla hacia zonas de retención. Además, se identifican plazas internas que por sus dimensiones podrían facilitar la infiltración, retención y tratamiento, tales como las plazas 5, 8, y 18, y evitar acumulaciones de agua aprovechando su tamaño y potencial para la regeneración urbana. La integración de infraestructura verde podría aumentar el desarrollo de usos recreacionales otorgando valores ambientales a las plazas internas e integrarlas para cada grupo residencial.

Figura 9.

Propuesta tipología B, Bandejes Centrales.



Fuente: Elaboración propia,(2021).

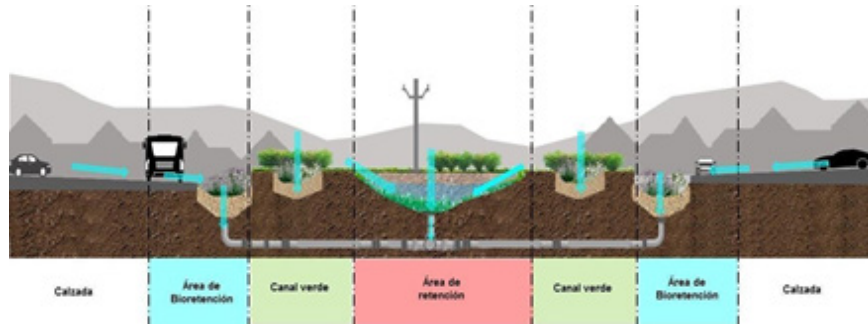
Tipología B: Bandejes centrales

La propuesta incluye SUDS de transporte, específicamente cunetas verdes en las veredas y un canal verde en los bandejes centrales que, junto con la pendiente de la calzada principal, permiten dirigir el flujo de agua hacia áreas de humedales para su obtención, tratamiento e infiltración. Asimismo, se propone reemplazar el pavimento de las calzadas por pavimento permeable, con el fin de facilitar el drenaje de las aguas pluviales.

Dado que la capacidad de infiltración de la cuenca del río Andalién es muy lenta (producto del relleno y compactación del suelo utilizado en las etapas de urbanización, inhibiendo su capacidad natural de infiltración, se propone utilizar un sistema de almacenamiento/retención de agua lluvia. Este sistema debe constar de: un área de captación; un sistema de recolección y transporte; un almacenamiento/retención y entrega o distribución.

Se sugiere instalar el sistema de retención en la rotonda alemana (tipo c), donde convergen las vías principales. Esta propuesta permitiría el mejoramiento paisajístico del espacio público que acompaña a las vías, a través de la introducción de elementos de vegetación.

Figura 10.
Propuesta D. Calzadas, aceras y borde río. Rotonda.

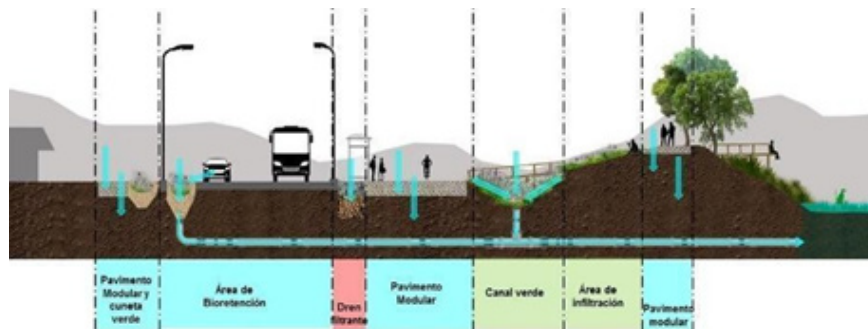


Fuente: Elaboración propia,(2021).

Tipología C: Rotonda

Las pendientes de las calles facilitan la recolección de aguas pluviales, ya que estas fluyen hacia áreas de bio retención encargadas de depurar el agua superficial. Además, se propone la creación de un área central de retención que por la superficie de la rotonda es posible permitir atenuar y tratar las aguas. La introducción de elementos vegetacionales, el diseño y mantenimiento de estas áreas pueden brindar beneficios paisajísticos y ambientales al espacio público.

Figura 11.
Propuesta D. Calzadas, aceras y borde río. Rotonda.



Fuente: Elaboración propia,(2021).

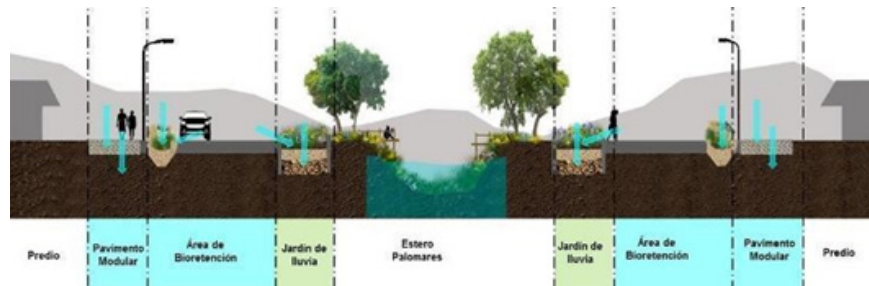
Tipología D: Calzadas, aceras y borde río

La intervención tiene como objetivo recuperar el borde del río, con el fin de fortalecer la conexión con el área residencial a través de la creación de espacio público de borde que permita acercar a la comunidad al sector. Para lograrlo, se propone la eliminación de carriles vehiculares y su reemplazo por pavimento modular y drenes filtrantes. Estas medidas permitirán tratar eficientemente el escurrimiento superficial. Además, se implementará un canal verde encargado de transportar, infiltrar y finalmente descargar el agua en el Río Andalién.

El potencial de esta área y su capacidad en superficie (6.024 m²) para crear estrategias de reducción de riesgo de inundación fluvial por desborde de cauce, permite incluir otras soluciones basadas en la naturaleza con foco en la restauración de zonas ribereñas a través del manejo y contención de inundaciones y crecidas de ríos (Marquet et al., 2021). La propuesta para este espacio público de borde aumentará los usos recreacionales de ocio, descanso y contemplación del río, fortaleciendo el contacto con la naturaleza del sector.

Figura 12.

Propuesta tipología E. Estero Palomares.



Fuente: Elaboración propia,(2021).

Tipología E: Borde Estero Palomares

El objetivo principal de esta tipología es promover la conexión a través del espacio público entre las áreas residenciales y el Estero Palomares mediante la mejora de sus bordes. Para ello, se propone la implementación de jardines de lluvia que recogerán el escurrimiento superficial de las calzadas, dado el potencial en superficie que existe en el largo y entorno al estero (8.634 m²). Estos jardines actuarán como sistemas de drenaje, permitiendo que el agua sea depurada por la flora, preferiblemente de especies nativas. De esta manera, se busca mejorar la calidad del agua y promover la integración del entorno natural con las zonas residenciales.

DISCUSIÓN

El análisis indica que los impactos generados por la expansión urbana y las nuevas formas de urbanización -que contemplan el reemplazo de zonas ribereñas por relleno de suelos húmedos e impermeabilización de suelo urbano-, aumentan la vulnerabilidad de riesgo por inundación, tal como indica estudios de Jaque (2008). Esta situación se incrementa cuando las superficies de asfalto son mayores que las de áreas verdes, porque el asfalto anula la infiltración e incrementa la escorrentía superficial.

Asimismo, desde el punto de vista del diseño, la desconexión con los elementos naturales del lugar desaprovecha su potencial para embellecer el barrio y contribuir al uso del espacio público. Esto se lograría contrastar al implementar la propuesta de esta investigación, que retoma la preferencia de la comunidad por visitar ríos y esteros fomentando su reconocimiento.

El presente trabajo permite identificar tipologías de espacios públicos desfavorables en las nuevas urbanizaciones, que, según las características físicas como por ejemplo, las bajas o altas pendientes en sus espacios públicos (calles)-, podrían integrar SUDs específicos colaboren ante el riesgo de inundación. De esta manera, el aporte de este trabajo consiste en la propuesta de tipologías de espacios públicos con integración de SUDs, como alternativa para las nuevas urbanizaciones emplazadas en contexto de borde a cuerpo de agua. Esto, a través de estrategias que imitan y se adaptan al propio sistema natural del entorno, mediante la diversificación de elementos naturales incorporados en la configuración y composición espacial de la calle y el espacio público.

De acuerdo con los autores de la Fuente-García (2021) y Perales (2008), la diversidad de usos y funciones urbanas asociadas al rol que cumple el paisaje en el entorno maximiza los valores sociales y ambientales de los espacios públicos y las intervenciones urbanas. En este sentido, la contribución de los SUDs y la integración de elementos vegetacionales en el espacio público fomenta los usos recreacionales, ofreciendo beneficios como lugares de encuentro, ocio y contemplación proporcionados por el contacto con el ambiente natural, lo que además, según diversos autores, supone el aumento de la salud física y mental de las personas.

En este marco, los SUDs relacionados con el espacio público del sector de análisis, según CIRIA (2015) y DUSA (Rodríguez-Rojas et al., 2017), deben contribuir a los objetivos específicos para cada una de ellas para mitigar inundaciones y reducir el impacto de la urbanización. De esta manera, la implementación de los SUDs en el caso de estudio (así como en nuevas urbanizaciones), cuando se integra en cadena, puede ser un primer paso de medida preventiva (Castro, 2005). Esto se consigue poniendo en marcha los sistemas de control de origen; las actuaciones de transporte permeable (transporte de agua pluvial hacia otros sistemas de tratamiento) y el tratamiento pasivo para retener aguas pluviales durante un tiempo determinado.

CONCLUSIONES

Es importante mencionar la limitación de los datos y las variables que se dispusieron para la elaboración de este trabajo. En este sentido, destaca la necesidad de estudios más detallados y actualizados para una gestión efectiva de aguas superficiales y escorrentía en urbanizaciones que se caracterizan por ser suelos rellenados y compactados, y con ello abordar los desafíos que implica el manejo hídrico en contextos urbanos similares. Se recomienda complementar esta investigación con estudios enfocados en otras soluciones basadas en la naturaleza para la restauración y conservación de los recursos hídricos asociados al río, considerando la integración de estrategias que permitan colaborar específicamente al riesgo de inundación fluvial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, F. (1995). "Evaluación de los riesgos naturales en el área metropolitana de Concepción, a través de la información del Diario *El Sur*", Memoria para optar al título de Licenciado en Educación, Concepción: Universidad de Concepción. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9456>
- Aros, V., Vargas, J. & Condemarín, M. (1995). *Rastreo de crecidas en el bajo Bío-Bío. Aplicación a problemas de inundación*, Memorias XII Congreso de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Santiago: Tomo 2, Vol. 1: 257-271. <http://www.sochid.cl/publicaciones-sochid/congresos-chilenos/congreso-xii/congreso-xii-trabajo-19/>
- Castro, D., Bayón J.R., Rodríguez J., & Ballester, F. (2005). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. *Interciencia*. 30 (5): 255-260. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1647.6003/1>
- CIRIA. (2015). *The SUDS Manual*. Londres, Reino Unido. https://www.unisdr.org/preventionweb/files/49357_ciriareportc753thesudsmanualv5.comp.pdf
- De la Fuente-García, L., Perales-Momparler, S., Rico Cortés, M., Andrés Doménech, I., & Marco Segura, J. B. (2021). *Guía Básica para el Diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la Ciudad de València*. Cicle Integral de l'Aigua. Ajuntament de València. https://www.ciclointegraldelagua.com/files/normativa/Guia_Basica_para_el_Diseño_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_en_la_Ciudad_de_Valencia_V01.pdf
- Espinosa, P., Meulder, B., Alarcon, M. & Pérez-Bustamante, L. (2015). *Interacciones de agua y ciudad/Una investigación de Urbanismo del Paisaje aplicado al caso del río Andalién, Concepción*. 45-65. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2015.36569>.
- Espinosa, P., García, J., Meulder, B., & Ollero, A. (2017). *Diseñando el (al) límite*. Negociaciones de agua y ciudad en Chile. https://www.researchgate.net/publication/326837489_Diseñando_el_al_limite_Negociaciones_agua_y_ciudad_en_Chile
- Espinosa, P., Meulder, B., Alarcon, M., & Pérez-Bustamante, L. (2018). *Interacciones de agua y ciudad/Una investigación de Urbanismo del Paisaje aplicado al caso del río Andalién, Concepción*. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2015.36569>
- Falcón, M.F., Ramírez, P., & Marín, M. (2010). *Evaluación preliminar de peligros geológicos: Área de Concepción-Talcahuano-Hualpén-Chiguayante, Región del Biobío*. Mapa 12-3: Peligro de inundación por desborde de cauces y anegamiento. In *Geología para la reconstrucción y la gestión del riesgo*, 1. Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://www.sernageomin.cl/peligrosgeologicos/>

- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Entrega Final CENSO 2017*. [En línea]. <http://www.censo2017.cl/>
- Jaque C, E. (2008). *Geomorfología de la cuenca del río Andalién, Chile*. Revista Geográfica. 97-116. <https://doi.org/10.2307/40996764> .https://www.researchgate.net/publication/261933509_Geomorfologia_de_la_cuenca_del_rio_Andalien_Chile
- Jaque C., E. (2010). *Diagnóstico de los paisajes mediterráneos costeros. Cuenca del río Andalién, Chile*. Boletín de la Asociación de Geógrafos españoles.<https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/1281>
- Mardones M. & Vidal, C. (2001). *La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción*. Eure-Revista Latinoamericana De Estudios Urbano Regionales - EURE, 27. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612001008100006>.
- Mardones, M., Echeverría, F. y Jara, C. (2006). *Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile central sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción*. Revista Investigaciones Geográficas de Chile, 38, 1-25. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2004.27748>
- Marquet, P.; Arellano, R.; Arriagada, M.; Fernández, A.; Gaxiola, C.; León, F.; Meza, R.; Larraín, P.; Pliscoff, S.; Reyes, S.; Vargas, J. (2021). *Soluciones Basadas en la Naturaleza para Chile*. Resumen para Tomadores de Decisiones. TNC, CCG, Santiago, Chile. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5736938>
- Marquet, Pablo A., Maisa Rojas, Alejandra Stehr, Laura Farías, Humberto González, Juan Carlos Muñoz, Elizabeth Wagemann, Carolina Rojas, Ignacio Rodríguez y Jorge Hoyos (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza*. Coordinado por Pablo A. Marquet y Maisa Rojas. Santiago: Comité Científico de Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5736938>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. *11^{va} modificación al Plan Regulador Metropolitano de Concepción*. (2021). https://prmconcepcion.minvu.gob.cl/?page_id=237/
- Ministerio para la Transición Ecológica *Guía de adaptación al riesgo de inundación: Sistemas urbanos de drenaje sostenible*. (2019). España, https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/guia-adaptacion-riesgo-inundacion-sistemas-urbano-drenaje-sostenible_tcm30-503726.pdf

- Ochoa, J. (2019, 22 de diciembre). *Nueva inversión inmobiliaria consolida sector norte como polo habitacional*. [En línea]. Diario Concepción. Nueva inversión inmobiliaria consolida sector norte como polo habitacional <https://www.diarioconcepcion.cl/economia-y-negocios/2019/12/22/nueva-inversion-inmobiliaria-consolida-sector-norte-como-polo-habitacional.html>
- Ollero, A. (2014). *Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones*. https://www.researchgate.net/publication/271845559_GUIA_METODOLOGICA_SOBRE_BUENAS_PRACTICAS_EN_GESTION_DE_INUNDACIONES
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *CARTILLA TÉCNICA: BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL* (1^{ra} ed.). Número de depósito legal 2012-08873. <https://vdocuments.mx/document/-contribuyendo-al-desarrollo-de-una-cultura-del-agua-y-la-gestion-integral-de.html?page=1>
- Patagua, CEDEUS, Fundación Legado Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile. (2021). *Ciudades sensibles al agua*. Guía de drenaje urbano sostenible para la Macrozona Sur de Chile. <https://ciudades-sensibles-al-agua.cl>
- Perales Momparler, S. (2008). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), Expo Zaragoza 2008, Agua y Servicios de Abastecimiento y Saneamiento*. <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/33S8-P3-Sara%20PeralesACC.pdf>
- Plan Regulador Comunal de Concepción-PRC. (2021). *Instrumentos de Planificación Territorial*. [En línea]. Concepción: Municipalidad de Concepción. <https://concepcion.cl/plan-regulador/>
- Rivas J.L. (2015). *Un urbanismo de la observación*. Metodologías prospectivas entorno a la idea de calle ciudad en tres capitales andaluzas (Córdoba, Málaga y Granada). *Revista EURE* 41: 131-158. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000300006>
- Rodríguez, L., Jaques, G. & Sepúlveda, A. (2005). *Hidrología urbana: una aproximación transdisciplinaria. hacia la re-estructuración de las ciudades hídricas*. Síntesis Tecnológica. 2. 37-45. <http://revistas.uach.cl/index.php/sintec/article/view/808>
- Rodríguez-Rojas, M. I., Cuevas-Arrabal, M. M., Moreno Escobar, B., & Martínez Montes, G. (2017). *El cambio de paradigma de la gestión del drenaje urbano desde la perspectiva del planeamiento*. Una propuesta metodológica. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (75). <https://doi.org/10.21138/bage.2492>
- Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., & Naulin, P. I. (2014). *Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile*. *Bosque (Valdivia)*, 35(1), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000100001>

- Rojas, O. (2015). *Cambios ambientales y dinámica de inundaciones fluviales en una cuenca costera del centro sur de Chile*. [Tesis doctoral publicada]. Universidad de Concepción. Recuperada de: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/1773>
- Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., & Naulin, P. I. (2014). *Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile*. *Bosque (Valdivia)*, 35(1), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000100001>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (s/f). *Informe Registrado IR-10-43: 12 p., 21 mapas diferentes escalas*. [revisado en línea el 18 de mayo de 2024]. Santiago. <https://www.sernageomin.cl/peligrosgeologicos/>
- Vidal, C., & Romero A., H. (2010). *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118084>
- Vásquez, A. E. (2016). *Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile*. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 63-86. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100005>