



Seminario de Licenciatura: Sostenibilidad y Hábitat
Semestre Otoño, 2022

Estrategias de diseño urbano sensible al agua:
Aprendiendo de la experiencia de la ciudad de Llanquihue.

Profesora Guía: Dr. Arquitecta Natalia Escudero
Alumna: Valentina Jerez

Agradecimientos:

Quiero agradecer a mi profesora guía, la Dr. Arquitecta Natalia Escudero por su ayuda y guía en el proceso de investigación.

Agradecer también a la Empresa Patagua por su confianza y disposición al facilitarme el borrador de su guía de drenajes, con su ayuda la investigación rindió frutos de forma exitosa.

Agradezco a mis amigas Belén Narváez, Belén Saravia, Catalina Jiménez, María Ignacia Suzarte, Magdalena Mansilla y a mi familia por su apoyo incondicional en el proceso de investigación.

Índice

1. Presentación de la Investigación	4 pág.
1.1 Problema de Investigación	4 pág.
1.2 Pregunta	5 pág.
1.3 Hipótesis	5 pág.
1.4 Objetivo General	5 pág.
1.4.1 Objetivos Específicos	5 pág.
2. Marco Teórico	6 pág.
2.1 Expansión Urbana	6 pág.
2.1.1 Expansión Urbana en el marco de la sostenibilidad	6 pág.
2.1.2 Expansión Urbana en Chile	7 pág.
2.1.3 Consecuencias de la expansión Urbana en el ciclo hídrico	8 pág.
2.2 Diseño Urbano Sensible al Agua y Drenaje Urbano Sensible al Agua	12 pág.
3. Metodología	15 pág.
3.1 Enfoque de la Investigación	15 pág.
3.2 Etapas de la Investigación	15 pág.
4. Desarrollo de Objetivos	16 pág.
4.1 Objetivo 1	16 pág.
4.1.1 Antecedentes de la Ciudad de Llanquihue	16 pág.
4.1.2 Antecedentes Históricos de la Ciudad de Llanquihue	18 pág.
4.1.3 Avance de la mancha Urbana	20 pág.
4.2 Objetivo N°2	28 pág.
4.2.1 Antecedentes del Proyecto	29 pág.
4.2.2 Emplazamiento del Proyecto	36 pág.
4.2.3 Objetivos, fundamentos y criterios de diseño	38 pág.
4.2.4 Diseño e Implementación de obras	40 pág.
4.3 Objetivo N°3	47 pág.
5. Conclusiones	52 pág.
6. Bibliografía	53 pág.

1. Presentación de la Investigación

1.1 Problema de Investigación

Las ciudades del mundo se están convirtiendo en centros de riesgos y desastres asociados a los efectos ambientales causados por la rápida urbanización, el crecimiento demográfico y los impactos del cambio climático (Wamsler C, 2013). El rápido crecimiento de las ciudades significa la pavimentación e impermeabilización del paisaje natural, que sustituye matorrales, humedales y campos agrícolas. Este crecimiento es desarrollado sin consideración por la conservación de los servicios ecosistémicos (Romero, 2020).

Dicha impermeabilización causada por la expansión urbana no planificada, está causando procesos críticos en el ciclo hídrico de la cuenca donde se ubican las ciudades, procesos que generan la disminución de caudales en los acuíferos, el deterioro de la calidad del agua por contaminación, catástrofes naturales como los son los aluviones, desprendimientos de tierra e inundaciones, estos se debe principalmente al cambio en el usos de los suelos debido al aumento del área urbana, el aumento de la demanda hídrica, entre otros procesos (Fundación Chile, 2018). La expansión urbana está agudizando las problemáticas hídricas sumando el impacto de los efectos del cambio climático, que tiene al país viviendo un déficit de lluvia y nieve provocando una disminución en el caudal medio anual de los principales ríos (Garreaud, 2017).

Es debido a los problemas anteriormente mencionados que se vuelve imperante que Chile logre desarrollar una mirada sustentable en el manejo y desarrollo de la planificación urbana, permitiendo integrar la gestión de los recursos hídricos dentro de su planificación y diseño urbano.

Las problemáticas de los impactos del calentamiento global y la creciente urbanización son de escala global, por lo que la urgencia para poder llegar a soluciones ha generado que entidades como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) se hayan comprometido a crear objetivos para la adaptación al cambio climático. Dentro de estos objetivos, se encuentra la meta de lograr una Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH) y estrategias de Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA). Este último es un diseño total del ciclo urbano del agua, basado en el concepto de agua como sistema incorporando el suministro, la gestión de aguas pluviales, subterráneas, y residuales. De esta manera el diseño urbano contribuye a la protección del medio ambiente. Los principios de los Diseños Urbanos Sensibles al Agua han ganado importancia guiando ciudades alrededor del mundo en la transformación socio técnica de los enfoques convencionales necesarios para poder transitar a convertirse en ciudades sensibles al agua (Wong, Brown, 2009).

Aplicar e implementar los principios de Diseño Urbano Sensible al Agua en las ciudades chilenas es una oportunidad para poder enfrentar las problemáticas hídricas y de planificación ya descritas. Se hace necesario poder entender cómo se están desarrollando estas estrategias en el país.

Hoy en día son pocas las entidades que se desarrollan en este campo. En su mayoría empresas privadas que se unen con entidades estatales para poder desarrollar estrategias urbanas sensibles al agua. Estrategias que se están implementando en el país y son de vital importancia poder analizar y comprender.

1.2 Pregunta

¿Cuáles son las estrategias de **diseño urbano sensible al agua** que se implementan en la ciudad de Llanquihue, para prevenir las consecuencias de **la expansión urbana** en el **ciclo hídrico**?

1.3 Hipótesis

La implementación de las estrategias de diseño urbano sensible al agua en la ciudad de Llanquihue previenen las consecuencias de la expansión urbana en el ciclo hídrico.

1.4 Objetivo General

Identificar y analizar las **estrategias** de **diseño urbano sensible al agua** que se implementan en la ciudad de Llanquihue para prevenir las consecuencias de la **expansión urbana** en el **ciclo hídrico**.

1.4.1 Objetivos Específicos

1. **Identificar** el avance de la mancha urbana de la ciudad de Llanquihue en los últimos 17 años.
2. **Analizar** las **estrategias** de **drenaje urbano sensible al agua** implementados en la ciudad de Llanquihue.
3. **Relacionar** las consecuencias del actual modelo de desarrollo y planificación territorial en el drenaje urbano.

2. Marco Teórico

2.1 Expansión Urbana

2.1.1 Expansión Urbana en el marco de la sostenibilidad

La relación entre la forma urbana y la sostenibilidad es actualmente uno de los problemas más debatidos en la agenda medioambiental internacional. La forma en que las ciudades deberían desarrollarse en el futuro, y los efectos que puede tener sobre el agotamiento de los recursos y la sostenibilidad económica, son centrales en este debate (Jenks., 1996). Por esto, las ciudades han emergido como elementos clave para el desarrollo de políticas que apunten hacia la sostenibilidad. Contra este panorama, la agenda urbana de las Naciones Unidas (UN Habitat III, 2017) ha desarrollado ambiciosas metas globales para la sostenibilidad en las cuales el rol de las ciudades ha sido destacado para poder lograr un desarrollo sostenible. Sin embargo, en este escenario, una de las principales problemáticas que enfrenta la ciudad para poder alcanzar estas metas es la denominada “expansión urbana” (Silva y Vergara, 2021).

La expansión urbana como forma de desarrollo urbano ha comenzado a ser objeto de crecientes críticas en los últimos años por los impactos negativos que tiene en el medio ambiente (Burton, 2000). La expansión urbana se diferencia de suburbios y de la periurbanización, la primera ya que se caracteriza por la producción de vecindarios residenciales de baja densidad y la segunda se enfoca principalmente en la transformación de zonas marginales de la ciudad y la división de lo urbano - rural. Mientras que la expansión urbana define un patrón de crecimiento específico que abarca ambos procesos antes mencionados, pero también la dispersión de infraestructura con usos de suelo agrario y terrenos baldíos.

Dado lo anterior, es que el entendimiento de expansión urbana que se utilizará en esta investigación se adhiere a la de la noción del arquitecto y urbanista alemán Thomas Sieverts con respecto a lo que él llama el *Zwischenstadt* (Sieverts 2003), que ha sido traducido como “donde vivimos hoy en día”, donde todos los elementos mencionados configuran un espacio geográfico en el cual suelos rurales, industriales, residenciales, de equipamientos y espacios de intersticio coexisten, una geografía de interrelaciones entre la ciudad y el campo. De la forma en que Sieverts aclara el alcance geográfico de la expansión urbana, el profesor de geografía de la Universidad de Chile, Hugo Romero, la caracteriza como la expansión dispersa de desarrollos residenciales, usurpación de tierras rurales, fragmentación ambiental, dependencia al automóvil, expansión inorgánica de los límites urbanos, la presencia de espacios intersticiales, la concentración de pobreza en la periferia y la saturación de servicios locales (Romero y Órdenes 2004). Hay un consenso con una amplia base en que la expansión urbana es una forma de desarrollo insostenible. Robert Bruegmann, historiador especializado en arquitectura y paisajismo, identifica que los principales impactos de la expansión urbana son; los problemas sociales, inconvenientes medioambientales, limitaciones en el crecimiento urbano, dependencia al automóvil, uso de suelos ineficientes, segregación socioespacial, y efectos a escala global relacionados con el cambio climático (Bruegmann, 2005).

Desde los años 20, las múltiples políticas de planificación han sido implementadas para poder hacerse cargo de los impactos de la expansión urbana tales como los “límites urbanos” (Grimes and Liang, 2009), “cinturones verdes” (Dockerill and Sturzaker, 2019), y “límites de crecimiento urbano” (Grimes and Liang, 2009). Sin embargo, estas medidas además de ser ineficientes también han dejado en muchos casos procesos de desarrollo acelerados y fragmentación del suelo, al igual que muchas otras políticas que buscan detener la expansión urbana en pos de desarrollos “sostenibles”, “compactos”. El fondo del problema lo encontraremos en las naciones inspiradas en el modernismo, donde las ciudades reflejan el proyecto nacional de desarrollo. Este modernismo es visto como un impulso de los valores en la agenda neoliberal que ha alcanzado participaciones transnacionales y se han introducido en políticas y prácticas de gobiernos, instituciones y organizaciones alrededor del mundo (Boland, 2017). De esta forma, por lo “natural” que podría parecer el surgimiento de la expansión urbana, ésta “ha sido completamente planeada como resultado de las intervenciones de los lazos del gobierno” (Phelps, 2015).

2.1.2 Expansión Urbana en Chile

En contra de todas las predicciones, la expansión urbana se ha convertido en un fenómeno global como consecuencia del crecimiento de la población y la rápida urbanización (Pawe and Saikia, 2020). En la actualidad la expansión urbana sigue siendo uno de los patrones más duraderos de desarrollo urbano y una estructura permanente en las ciudades desde el fin de la segunda guerra mundial. Sin embargo, la expansión urbana se ha manifestado de manera diferente en las distintas regiones. Por ejemplo, en Latinoamérica, para el año 2025, se proyecta que 575 millones de personas vivirán en ciudades, este incremento es más alto que el proyectado para Europa, África, y Asia para la misma fecha (Naciones Unidas, 2007). La intensidad, rapidez y el impacto en el ciclo natural del crecimiento urbano en las ciudades de Latinoamérica, y considerando la cada vez más segregada distribución de los grupos de la población, han despertado interés en el tema. Esta rápida urbanización de América Latina se ha caracterizado por una nueva configuración urbana de rápido crecimiento, en la cual se pueden distinguir tres tipos de regiones: la primera son los países que cuentan con más del 80% de la población viviendo en áreas urbanas, como lo son Argentina, Chile, Uruguay, Venezuela, en segundo lugar están los países con 50% a 80% de la población en centros urbanos, y en tercer lugar están los países con menos del 50% de la población en las ciudades (Barros, 2004).

Chile se encuentra hoy en día altamente urbanizado, con más del 80% (13.090.113 habitantes) de su población viviendo en áreas urbanas de más de 5000 habitantes. Sin embargo, este fenómeno se ha caracteriza principalmente por albergar ciudades medianas y pequeñas, con tres áreas metropolitanas consolidadas, Santiago, Concepción y Valparaíso, todas ubicadas en la zona microcentral, y las cuales reflejan un desarrollo espacialmente concentrado, con más de 6 millones de habitantes en estas ciudades, lo que representa el 48,3% de la población. Es por esto que se puede decir que Chile está tan centralizado en el sentido de que más de 5 millones de personas viven solo en la ciudad de Santiago.

Los cambios experimentados por las ciudades chilenas, como las del resto de América Latina, se describen como ligados a la globalización, particularmente desde que Chile comenzó a aplicar el modelo neoliberal ya en la década del 70 (Hidalgo, 2009). Esta nueva

configuración económica, impulsada por el gobierno militar de la época, trae por consecuencia una nueva política urbana en Chile. Este proceso llega a consolidarse con la Constitución de 1980 que manifiesta que “el suelo no es un recurso escaso”, que luego se vería reflejado en la política nacional de desarrollo urbano (PNDU) de 1979. Esta política urbana sigue la línea del pensamiento neocapitalista que establece principios como que el suelo no es un bien escaso, que el uso de este debe estar regido por la mayor rentabilidad que se le pueda dar a este rigiéndose por las disposiciones del mercado. Esta política es un ejemplo a nivel mundial debido al grado de liberalización del suelo desde una interpretación absolutamente económica de la cuestión urbana (Trivelli, 1981). Además esta política ejerce su influencia en el decreto 420 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de 1979 (MINVU), modificando el límite urbano de la ciudad de Santiago, añadiendo 64.000 hectáreas urbanizables al Plan Regulador Intercomunal de Santiago (PRIS), esto con el objetivo de poder reducir los costos del suelo urbano (Poduje, 2006).

En 1985 el PNDU de 1979 adopta una postura en donde se le entregan más atributos al estado para que este tenga un rol más activo en la planificación urbana, esto aun bajo el modelo económico vigente, pero reconociendo que “las acciones privadas, sean individuales o colectivas, orientadas por los mecanismos de mercado son insuficientes por sí solas” (MINVU, 2012). Es durante esta época, y bajo las modificaciones en el PNDU, que se promulga el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) vigente hasta el día de hoy, no obstante, cabe mencionar que con múltiples modificaciones, donde se abordan dos puntos importantes en la expansión urbana. El primer punto busca delimitar “los territorios susceptibles de acoger asentamientos humanos y aquellos que presentan restricciones” con el objetivo de poder asegurar, preservar, conservar y rehabilitar los recursos naturales. En segundo lugar, propone “mejorar la relación entre la ciudad y su entorno [...] orientando racional y convenientemente el crecimiento urbano, a objeto de preservar el patrimonio natural” (MINVU, 1994). Aunque este nuevo plan intenta volver a guiar los procesos de desarrollo urbano, antes lideradas por el sector privado, hacia una forma urbana definida por el Estado por medio de la planificación, este vuelve a ser encausado por el modelo económico-político, lo cual se puede ejemplificar con la ampliaciones del límite urbano y los mecanismo de planificación condicionado (como las Zonas de Desarrollo Urbano Condicionado y los Proyectos de Desarrollo Urbano Condicionado).

Es también en la década de los 80 que se crea el Decreto de Ley 3516 la cual será otra herramienta para la expansión urbana fuera de los límites de los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT). Este decreto, a través de las parcelas de agrado, ha dado lugar a procesos de expansión urbana caracterizados por tener una relación con el paisaje y estratos socioeconómicos medios altos y bajos, que crecen con una densidad baja y al borde de los Planes Reguladores (Ducci, 1998). Es de esta forma que el incremento y desarrollo de las parcelas de “agrado” conforman también una forma de expansión urbana.

2.1.3 Consecuencias de la expansión Urbana en el ciclo hídrico

La expansión urbana como se describe anteriormente por algunos autores, es un proceso insostenible, que tiene múltiples consecuencias, como por ejemplo en el medioambiente. Desde múltiples estudios y reportes mundiales sobre el agua, observan que cuando un área o zona es urbanizada, el efecto hidrológico inmediato es el incremento del área de baja o cero capacidad de infiltración. Una vez la vegetación y tierra es reemplazada por edificios y

superficies pavimentadas, el potencial de infiltración de las precipitaciones es reducido casi completamente, lo que ocasiona como resultado una mayor superficie de escorrentía, la disminución del tiempo de retraso y aumento de la descarga máxima en arroyos y caminos, lo que provoca inundaciones repentinas (Booth, 1991).

Son bastantes los autores y estudios de casos que buscaban una mejor comprensión del resultado de la urbanización en diferentes escalas, a través de la interacción entre el comportamiento del ciclo hídrico y los cambios de uso de suelo como resultado de la urbanización en diferentes escalas.

Tabla de revisión de literatura	
<p>Luna B. Leopold (1973)</p> <p>Fue un destacado geomorfólogo e hidrólogo estadounidense.</p>	<p>Leopold fue un pionero de la investigación científica que evalúa los cambios adversos que los humanos pueden imponer en los arroyos. Su trabajo sobre el afluente del río Anacostia en el condado de Prince George del río Potomac cerca de Rockville, Maryland es considerado un seminario entre las investigaciones sobre las consecuencias de la urbanización en la respuesta geomórfica fluvial temporal. Leopold ayudó a introducir la idea que la urbanización tiene un impacto en las cuencas hidrográficas, unidades geográficas que se consideran entornos significativos en forma y función.</p>
<p>William L. Graf (1976)</p> <p>Geógrafo Estadounidense.</p>	<p>Graf se enfocó en cómo los cambios en los flujos de canales son el resultado de superficies impermeabilizadas, proponiendo que: Los techos, aceras, calles y áreas de estacionamiento aceleran el flujo terrestre y restringieron las infiltración, lo que resulta en descargas e inundaciones de mayor magnitud.</p> <p>Sus primeros trabajos hacen referencia a Leopold, entre otros, pero son únicos por su tiempo debido a su enfoque multivariable. Graf examinó varios indicadores de cambio y clasificó la importancia de sus relaciones espaciales para el sistema de drenaje.</p>
<p>Booth (1990)</p> <p>Geólogo Estadounidense.</p>	<p>Booth indica que el aumento inmediato de la descarga puede, con el tiempo, causar un aumento en el área de la sección transversal del canal de la corriente o potencialmente incisión catastrófica del canal dependiendo de la pendiente y la geología.</p>

Tabla 1,Revisión de Literatura. Fuente: Traducción en base a Sharma. S (2017)

En el caso de Chile, se han desarrollado algunos proyectos de investigación científica para evaluar los efectos de la expansión urbana de las ciudades chilenas en el deterioro de la calidad ambiental urbana a lo largo del tiempo, y para poder tener un entendimiento de las profundas transformaciones que provocan las ciudades en el medio ambiente natural.

Uno de estos estudios es el realizado por el departamento de geografía de la Universidad de Chile conformado por los profesores; Hugo Romero, Claudio Moscoso y Pamela Smith, que evalúa los efectos ambientales de la expansión urbana en las metrópolis de Santiago, Valparaíso y Concepción, junto con las ciudades medias de Chillán, Los Ángeles y Temuco. Este estudio resume como los principales efectos ambientales a:

- Cambios en el clima urbano y pérdida de la calidad del aire como consecuencia de la incontrolada emisión de contaminantes, generación y fortalecimiento de islas de calor urbanas y desaparición y disminución de las islas frías
- Desaparición, reducción y deterioro de las cubiertas vegetales, incluyendo terrenos de cultivo y áreas naturales: ecosistemas valiosos como humedales
- Pérdida de servicios ambientales y de calidad de los paisajes naturales al interior y alrededor de las ciudades
- Pérdida de biodiversidad y reducción y desaparición de hábitats, corredores y parches de vida silvestre
- Generación y aumento de los índices de segregación socio ambiental al interior de las ciudades
- Falta de justicia ambiental y concentración de los efectos adversos –incluyendo enfermedades relacionadas con el medio ambiente urbano– en forma discriminatoria sobre los sectores sociales más vulnerables
- Comodificación creciente de los territorios, los recursos naturales y los servicios ambientales, representando en los mercados sólo los usos consuntivos y sin considerar los costos ambientales y sociales. Especulación y privatización de bienes comunes
- Creciente desacoplamiento y contradicciones entre las estructuras y dinámicas de la naturaleza y de los espacios construidos. Superación de la capacidad de carga y de resiliencia de los ecosistemas urbanos

Tabla 2, Resumen efectos ambientales de la expansión urbana. Fuente: Elaboración en base a Romero, H., Moscoso, C., Smith, P., (2009).

En la investigación realizada en las ciudades de Valparaíso y Concepción sobre los efectos de la expansión urbana, se hace una especial referencia al proceso de urbanización de cuencas. Donde se define a la Cuenca como *“una estructura ambiental delimitada, integrada e interactiva, empleada habitualmente como sistema territorial de gestión. Las cuencas urbanizadas perturban y alteran significativamente los balances de energía, materia e información de los sistemas naturales”* (Romero, H., Moscoso, C., Smith, P., 2009).

Esta investigación se dividió en el análisis del crecimiento espacial de las ciudades de Valparaíso y Concepción, los cambios en usos y coberturas de los suelos de las subcuencas del Gran Valparaíso, los usos y coberturas de suelos reemplazados por la

urbanización de cuencas y humedales del Gran Concepción, efectos de la urbanización sobre las Áreas Totales de Impermeabilización (ATIs) en Valparaíso y Concepción, los efectos de la urbanización sobre las inundaciones de las cuencas de Concepción y los cambios en la calidad ambiental de los humedales.

En el primer título se analiza el crecimiento de las ciudades de Valparaíso y Concepción, donde en ambas se ha experimentado un acelerado y constante crecimiento de la superficie urbana, caracterizada por nuevas áreas urbanas en la periferia de estas ciudades. Ambas ciudades tienen similares procesos de expansión. Dentro de está se asume el cambio de los usos y coberturas del suelo, que por lo usual, pasan de ser coberturas naturales a residenciales.

En el caso de Valparaíso y Viña del Mar, la característica en el cambio de uso de suelo ocurre en este proceso de expansión en la vegetación de laderas y quebradas de los cerros. Los casos de estudio que se analizaron en áreas residenciales de estas ciudades, eliminaron la cobertura de áreas verdes, lo cual generó la impermeabilización de las tierras de las cuencas, lo que genera un aumento de las Áreas Totales Impermeabilidad (ATIs) que son indicadores de la salud en las cuencas en general (Romero, H., 2009). Este aumento de ATIs produce efectos negativos en múltiples componentes del ciclo hidrológico (Romero y Vásquez, 2005), dentro de los cuales se encuentra la escorrentía superficial de aguas lluvias, que debido al proceso de urbanización aumenta en volumen y velocidad, el cual se traduce en episodios como inundaciones y anegamientos, entre otras consecuencias negativas tanto para las vidas humanas como para el medio ambiente urbano.



Foto sistema frontal Julio 2006, Región de Valparaíso.

Fuente: Informe sistema frontal 2006, Departamento de Protección Civil, Gobierno de Chile.

Otro efecto relacionado con los cambios en los usos de suelos es la modificación de las áreas de recarga (infiltración) y descarga (escurrimiento superficial) de los acuíferos. Esto debido a que al impermeabilizar el suelo se están llenando también áreas donde el agua deberá infiltrar, modificando el ciclo hidrológico natural y por lo tanto sus áreas de descargas, afectando sectores vulnerables de la población debido a los efectos antes

mencionados, como lo son las inundaciones, anegamientos y desplazamientos de tierra (Romero, 2009).

Otro punto importante de la investigación refiere a observar los efectos de la expansión urbana en relación a la calidad ambiental de los humedales, los cuales son reconocidos por su gran valor ecológico. Los humedales son zonas húmedas en las cuales se transiciona del ecosistema acuático al terrestre, estos son valorados por sus diferentes funciones; la depuración de las aguas, reserva de diversidad biológica, controlan las inundaciones, reponen las aguas subterráneas que representan el 95% de agua dulce disponible en el planeta y proporcionan corredores de seguridad ante el cambio climático (Conaf, 2006). No obstante, a pesar de su importancia, actualmente estos ambientes están siendo amenazados por la intervención humana, que drena, rellena, deseca, destruye su vegetación y contamina sus aguas (Ramírez et al., 2002). Un ejemplo de esto es lo ocurrido en los humedales del Gran Concepción, debido a la expansión urbana incontrolada, que ha afectado los sectores palustres cambiando los usos y coberturas del suelo (Romero, 2009).

Los riesgos producidos por las consecuencias de la expansión urbana en el ciclo hidrológico sólo serán más graves en el futuro con los avances de los cambios climáticos, por lo que es de vital importancia conservar y proteger el ciclo del agua. Chile es uno de los países con mayores posibilidades de enfrentarse con la disminución de suministros de agua dulce debido al alza de temperaturas y cambios en los patrones de precipitación, posicionando a al país dentro de los 30 países del mundo con mayor estrés hídrico, sumado a que se posiciona como el único país de Latinoamérica que alcanzará un estrés hídrico extremadamente alto al año 2040 (WRI, 2015).

2.2 Diseño Urbano Sensible al Agua y Drenaje Urbano Sensible al Agua

El Diseño Urbano Sensible al Agua, traducción del concepto Water Sensitive Urban Design (WSUD), nace en Australia en respuesta a las crecientes preocupaciones de los impactos negativos que estaba causando el desarrollo urbano en el ciclo hidrológico. En particular, se le quería dar importancia al agua en el proceso de planificación, entendiendo la importancia de generar una planificación integrada con el ciclo hídrico, para lo cual, algunas estrategias de este diseño son el reciclaje del agua y mitigar el impacto de las aguas pluviales en las ciudades, promoviendo la detención y retención de las aguas lluvias usando características del paisaje natural (Hedgecok, Mouriz, 1933).

Otro de los factores importantes que dio el impulso mundial para implementar estos tipos de modelo de diseño urbano sensible al agua, han sido los crecientes efectos del cambio climático que han obligado a las naciones del mundo a buscar una mayor sostenibilidad en las infraestructuras urbanas de agua, y tal como ya se expuso anteriormente, el impacto del desarrollo urbano sobre la eficacia del suelo para el drenaje también es un factor para impulsar estos nuevos diseños (Smith, 2016). La eficiencia del drenaje es la capacidad del suelo para absorber y almacenar el agua, una vez el suelo es sellado (por el desarrollo urbano como edificios y carreteras pavimentadas) priva a la lluvia de ser absorbida lo que lleva a un aumento en escorrentía superficial y riesgo de inundación (Rodríguez, 2014).

Una de las soluciones de este diseño es el Drenaje Urbano Sensible al Agua, también de la traducción del concepto Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), que se ha utilizado como una solución a la impermeabilización del suelo producida por la urbanización del

territorio, lo cual se realiza tratando de restaurar el ciclo hídrico natural que ha sido alterado constantemente por la expansión de las ciudades. Este sistema consiste fundamentalmente en la recopilación de aguas lluvias (esto por la filtración del agua a través de materiales permeables y tuberías, guiando y almacenando por el máximo tiempo posible para poder ser usada o para infiltrarla y así poder reponer los acuíferos) (CIRIA, 2007). Países como Estados Unidos, el Reino Unido, Francés o Australia han estado utilizando estos sistemas por más de una década, mejorando la calidad medioambiental de sus ciudades (CIRIA, 2000). La implementación de estos sistemas tiene numerosos beneficios que se podrían resumir en (CIRIA,2010) :

1. **Gestión de riesgos por inundaciones**, el diseño de los Sistemas de Drenaje Urbano Sensible al agua pueden estar orientados a atenuar o disminuir el flujo del agua antes de entrar a sus cursos naturales, generando áreas para el almacenamiento del agua en corredores naturales, y los SUDS también pueden ser usados para permitir la infiltración en el suelo o la evaporación de las aguas superficiales y la transpiración desde la vegetación conocida como evapotranspiración.
2. **Gestión de la calidad del agua**, algunos componentes de los SUDS proveen de mejoras en la calidad del agua, reduciendo sedimentos y contaminantes producidos por la escorrentía.
3. **Armonía y biodiversidad**, los SUDS pueden mejorar el desarrollo, esto debido a que crean hábitats que alientan la biodiversidad y simultáneamente proveen de espacios abiertos y oportunidades para crear corredores verdes (paisajes vegetales) o azules (agua) que puedan conectar a las personas con los ecosistemas acuáticos.
4. **Recursos hídricos**, algunos componentes de los SUDS que absorben el agua en el suelo pueden reponer acuíferos subterráneos (donde tampoco el acuífero corre riesgo de contaminación) y captura o almacena el agua lluvia que puede ser utilizado para funciones que no requieran agua tratada (como para los inodoros, riego, etc).
5. **Beneficios comunitarios**, los SUDS bien diseñados pueden incorporar espacios abiertos atractivos para el público que pueden crear mejores espacios para vivir, trabajar y jugar.
6. **Usos recreacionales**, los SUDS pueden entregar beneficios recreacionales desde el uso dual de componentes y facilidades como por ejemplo el usar las áreas de atenuación de escorrentía y almacenaje de aguas lluvias utilizandolas como rutas de juego o diferentes áreas de deporte.
7. **Beneficios educacionales**, en adición a las mejoras visuales de la apariencia del desarrollo, muchos SUDS han sido usados con propósitos educacionales y recreacionales ubicando estas estrategias en colegios generando resultados muy favorables.
8. **Beneficios para el desarrollo**, los SUDS pueden generar ahorros en el total de la construcción y el mantenimiento de los sistemas de drenaje y pueden integrarse en el desarrollo de estrategias para espacios públicos abiertos e infraestructuras verdes, generando uniones entre áreas urbanas a través de corredores verdes y/o azules.

Para que la implementación de los SUDS pueda producir todos estos beneficios, es fundamental la integración de estos en la planificación urbana, y no solo su aplicación como estrategias para solucionar los problemas ambientales existentes.

En el caso de Chile, la implementación de las estrategias del SUDS ha sido en una escala local y en la mayoría de los casos motivado por actores civiles y privados. Una de las aproximaciones a estas estrategias de diseño fue la creación de la Guía de Drenaje Urbano Sostenible para la Macrozona sur de Chile (2021) realizada por la Empresa Patagua, la Fundación Legado Chile y la Universidad Católica, y la cual tiene como objetivo acercar el concepto del SUDS y orientar su implementación. Esta guía fue creada con el objetivo de poder acercar estos conceptos de drenaje urbano sensible al agua, ofreciendo herramientas para su implementación, y entendiendo la importancia de la implementación de un nuevo modelo de desarrollo urbano sensible con el ciclo hídrico.

La guía se realiza específicamente para la macrozona sur del país, que contempla el territorio entre las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, y cuenta con dos volúmenes publicados y un tercero que se encuentra en desarrollo. El primer volumen de esta guía presenta el marco conceptual para la aplicación de estas estrategias, el segundo volumen presenta las etapas metodológicas que guían el proceso de planificación y diseño de los sistemas de drenaje urbano, y el tercer volumen presentaría la aplicación de esta propuesta metodológica en la ciudad de Llanquihue.

3. Metodología

3.1 Enfoque de la Investigación

La metodología que caracteriza esta investigación será mixta, el análisis será de tipo cuantitativo y cualitativo sobre cuales son las estrategias de diseño urbano sensible al agua que se están implementando en la ciudad de Llanquihue, para prevenir las consecuencias en el ciclo hídrico del proceso de expansión urbana.

Se ha seleccionado a la ciudad de Llanquihue por múltiples factores, el primero en relación a la expansión urbana, ya que se estima que la ciudad se ha desarrollado y sigue desarrollándose de forma extendida, al igual que otras ciudades de la zona sur de Chile. El segundo factor es la ubicación de humedales y cursos de agua en la ciudad, zonas de vital importancia tanto para el equilibrio del ecosistema, como para la identidad local. En tercer lugar porque en el caso de estudio, se encuentra en curso la ejecución del proyecto de "Ciudades Sensibles al Agua", realizado por la empresa Patagua, la Fundación Legado Chile, La Universidad Católica y el Gobierno de Chile, que buscan poner en práctica el concepto de drenaje sensible al agua en la ciudad de Llanquihue. Y por último, el cuarto atributo de este caso de estudio, fundamental para su elección, es el de ser una ciudad ubicada en Chile, siendo de gran importancia para esta investigación llegar a poder generar información sobre las estrategias innovadoras que se están implementando en el país y que comienzan a formar parte de nuevos modelos de planificación conscientes y respetuosos con la naturaleza.

3.2 Etapas de la Investigación

La presente investigación se desarrollará siguiendo los tres objetivos específicos. Es por ello que en la primera etapa de la investigación se analizará el crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Llanquihue en los últimos 13 años, utilizando imágenes satelitales de diferentes años de la ciudad, mediante Google Earth, junto con el análisis de los planes reguladores de la ciudad y sus cambios entre el periodo de 2010 y 2022.

Posteriormente se analizarán las estrategias de diseño urbano sensible al agua que se están implementando en la ciudad de Llanquihue, con información obtenida por la empresa Patagua, sobre su proyecto de drenaje sensible al agua, que conforma también el tercer volumen de la guía de drenaje urbano sostenible, encontrándose esta, en proceso de publicación. La etapa se realizará analizando las estrategias proyectadas por la empresa, con planimetrías y esquemas. Con esta información se busca poder generar un mejor entendimiento de la aplicación de las estrategias de diseño urbano sensible al agua en el caso de una ciudad chilena.

Finalmente el tercer objetivo busca poder relacionar las consecuencias del actual modelo de desarrollo y la planificación territorial en el drenaje urbano natural, este objetivo se realizará cruzando la información de los instrumentos de planificación territorial con la información levantada por el volumen III de la empresa Patagua, sobre el estado del drenaje natural de la ciudad de Llanquihue. Con el fin de comprender cómo esta planificación y desarrollo de la ciudad afecta la red de drenaje natural.

4. Desarrollo de Objetivos

4.1 Objetivo 1

4.1.1 Antecedentes de la Ciudad de Llanquihue

La Ciudad de Llanquihue homónima de la comuna de Llanquihue en la Región de Los Lagos, se encuentra ubicada a las orillas del lago Llanquihue, atravesada perpendicularmente por el río Maullín, en ejes que dividen la ciudad en dos, norte y sur

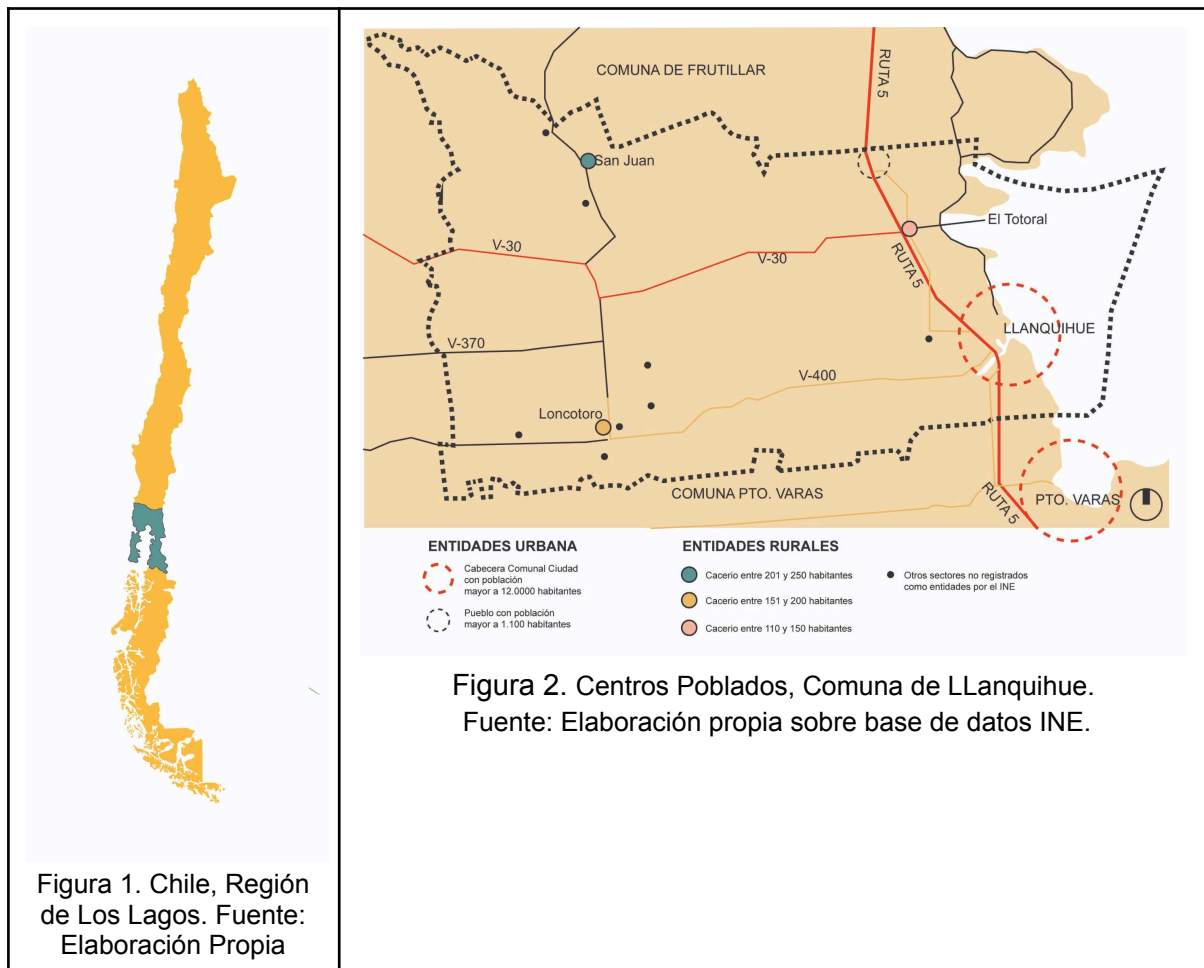


Figura 1. Chile, Región de Los Lagos. Fuente: Elaboración Propia

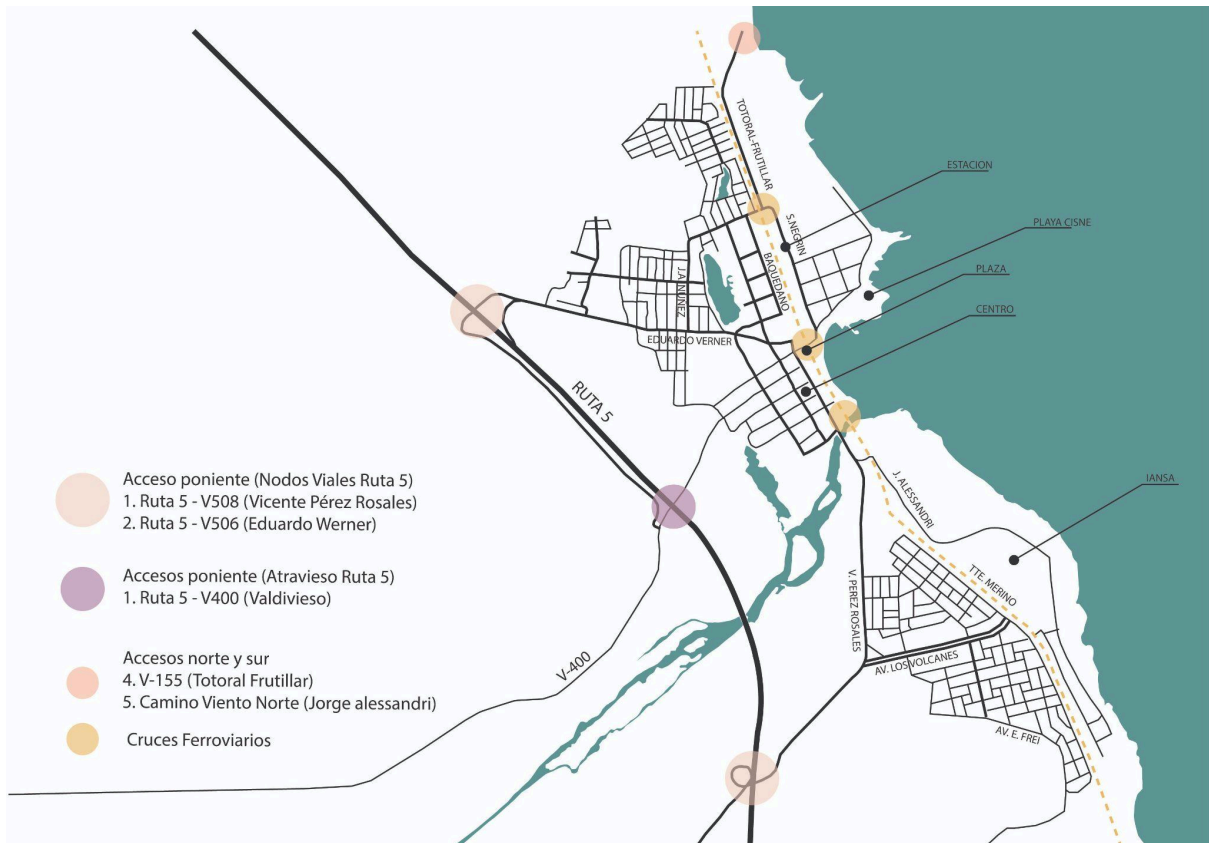


Figura 3, Estructura Urbana de la Ciudad de Llanquihue.
Fuente: Elaboración propia en base a google maps.

Según estimaciones realizadas por autoridades locales en la Memoria Explicativa del Plan Regulador Comunal de Llanquihue, 2019 (el cual se encuentra aún en proceso), mencionan que la superficie consolidada del área urbana que alcanza la ciudad al año 2017 son 242,8 ha, con una población de 12.945 habitantes (Censo, 2017). De acuerdo con el análisis anteriormente mencionado y en base a los resultados de los Censos 1991, 2002 y 2017, la comuna de Llanquihue debería experimentar un crecimiento demográfico en los próximos años.

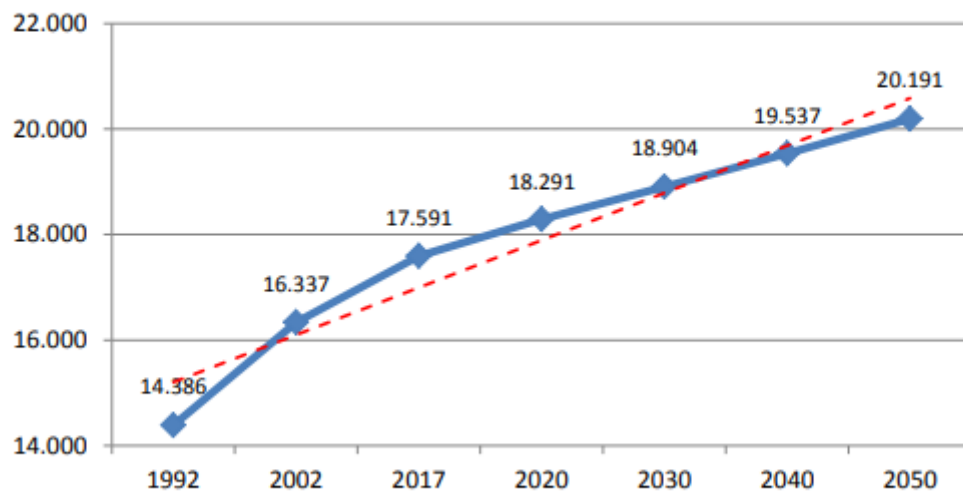


Figura 4, Proyección de la población, Comuna de Llanquihue. Fuente: INE.

En la ciudad de Llanquihue los elementos geográficos y paisajísticos como lo son el lago, el río y el sistema de humedales, elementos que son de suma importancia, pero en la actualidad han sido escasamente desarrollados en su carácter de espacio público relevante para la ciudad.

La ciudad alberga cuatro sitios de sensibilidad ambiental, correspondientes a una red de humedales urbanos, llamados Baquedano, el Loto, los Helechos y las Rañas. Este factor mencionado es de suma importancia para la elección del caso de estudio.

4.1.2 Antecedentes Históricos de la Ciudad de Llanquihue

La comuna de Llanquihue fue creada el 19 de junio de 1969, esto luego de la aprobación en el congreso de la Ley N°16.854, dejando como cabecera a la ciudad del mismo nombre, separando así, de la comuna de Puerto Varas. Aunque el origen de la ciudad es anterior a su separación, fue parte del proceso de colonización alemana desarrollado en el sur del país a mediados del siglo XIX. Colonización que se decretó en el año 1853 (Fuente).

El lugar escogido para emplazar la que sería la ciudad de Llanquihue fue la zona llamada "Desagüe", lugar donde el río Maullín permite desaguar el lago Llanquihue al océano Pacífico. El asentamiento original se estima fue fundado por colonos alemanes, pero pasó a ser definido como pueblo con la llegada del ferrocarril en 1907. Este hecho junto con la creación de la estación Llanquihue le dieron un gran impulso al pueblo, de ahí adquiriendo su nombre actual. La actividad ferroviaria permitió el desarrollo de la actividad industrial de la localidad, al sur del río Maullín donde hoy se encuentran ubicadas las plantas de la Ex IANSA Y Nestlé.

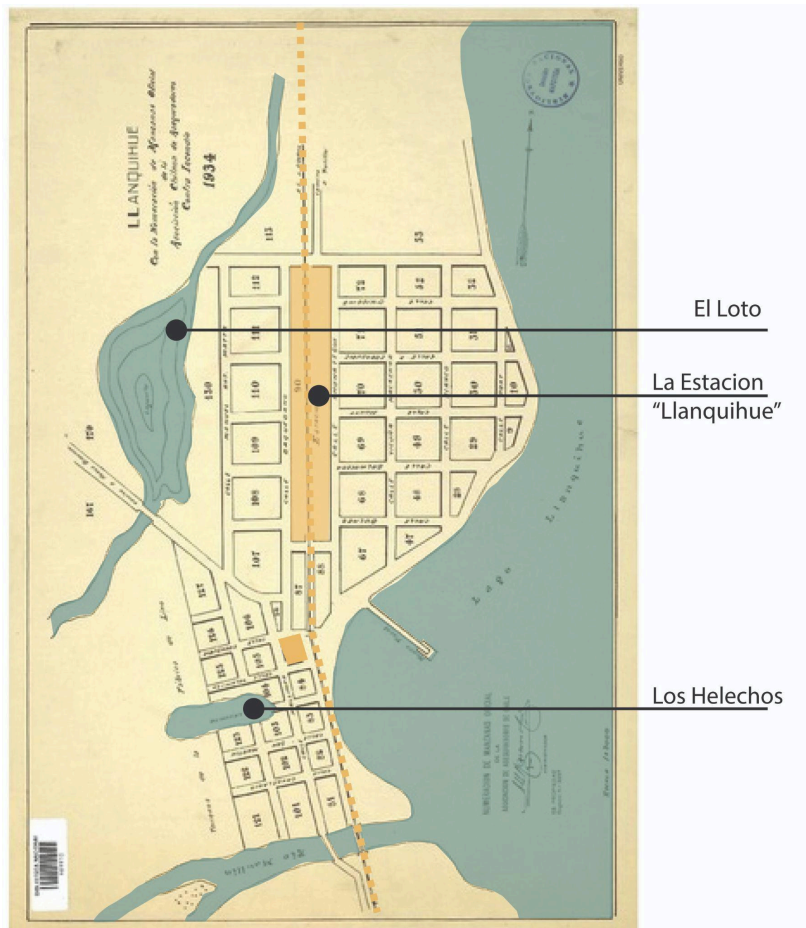


Figura 5, Plano de Llanquihue 1934 intervenido.

Fuente: Elaboración propia en base a plano de la Biblioteca Nacional de Chile.

El proceso de urbanización de la ciudad de Llanquihue comienza desde la zona donde se encuentra ubicada la estación del ferrocarril hacia el poniente, sector donde hoy se encuentran las calles Baquedano y Manuel Antonio Matta.

En la década del 50', con la construcción de la ruta Panamericana (Ruta 5), la forma urbana de la ciudad comenzó a sufrir cambios en los asentamientos urbanos. La principal ruta norte-sur de la provincia se alejó del centro de la ciudad, generando que las calles Eraldo Werner, Valdivieso y Vicente Perez Rosales se convirtieran en los principales accesos a la ciudad. Otro gran hito que contribuye al cambio morfológico de la ciudad fue el terremoto de Valdivia en 1960, esto provocó que la ciudad comenzará un proceso de urbanización que tendió a concentrarse al sur del río, acompañado con el desarrollo industrial en la comuna focalizado en ese sector.

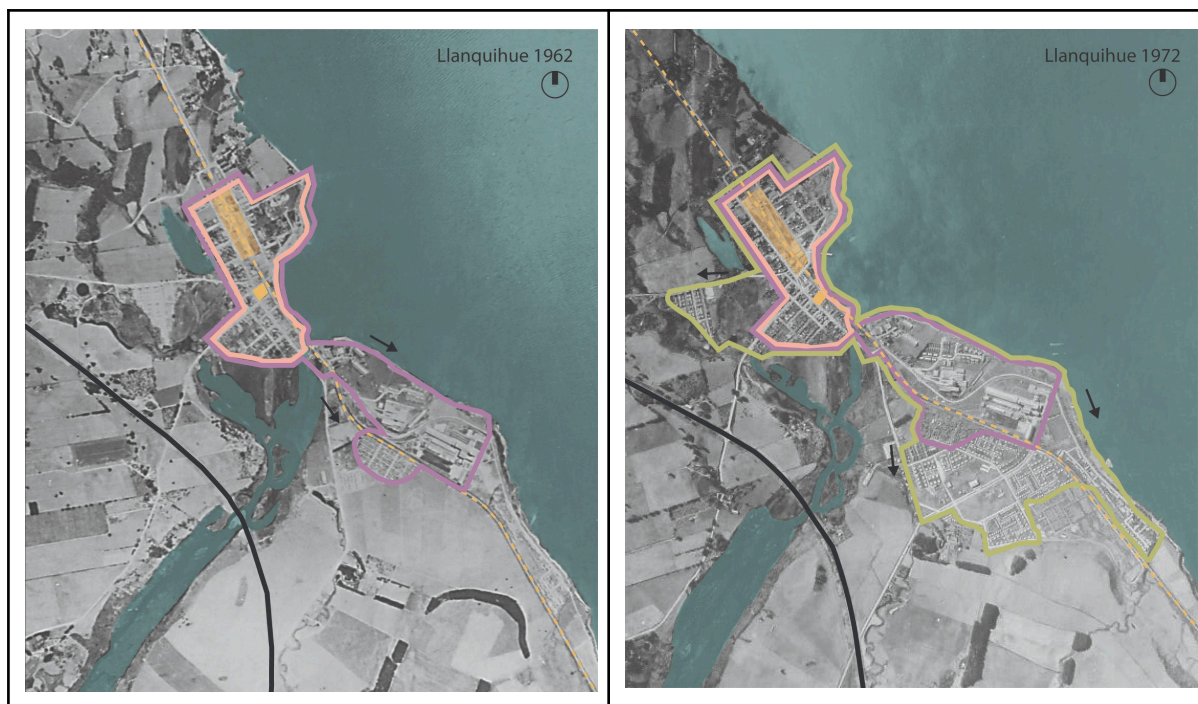


Figura 6, Fotografías Aéreas de Llanquihue. 1972 y 1982.

Fuente: Dirección de Obras Municipales de Llanquihue.

Lo antes expuesto, provocó que entre las décadas de 1960 y 1980 el proceso de urbanización tendiera a concentrarse al sur del río Maullín, de la mano con el desarrollo industrial de la ciudad. En este contexto, se desarrollan las poblaciones Los Volcanes, Manuel Montt, La Copa, La Esperanza, Villa Los Presidentes, Obrera Nestlé (Villa Nestlé e IANSA). En relación al desarrollo industrial aparecen grandes instalaciones de este tipo, donde destacan Nestlé, IANSA, Cecinas Llanquihue, entre otras, que desde sus inicios han aportado con la población y la expansión urbana.

En la década de 1980 gran parte del proceso de urbanización del sector sur de Llanquihue se encuentra consolidado. En tanto, el área relacionada con el centro de la ciudad mantiene su estructura urbana.

4.1.3 Avance de la mancha Urbana

La metodología para poder analizar el avance de la mancha urbana de la ciudad de Llanquihue cuenta con dos partes. La primera es la del análisis del Plan Regulador Comunal (PRC) de la comuna y sus modificaciones vigentes. La segunda es el uso de fotografías satelitales obtenidas de Google Earth, donde se analiza la mancha urbana en el periodo de años entre 2010 y 2022.

En la comuna de Llanquihue actualmente se encuentran vigentes dos áreas urbanas, estas son las de la ciudad de Llanquihue y la de la localidad de Los Pellines, en esta investigación nos centraremos en el área urbana de la primera. En el caso de la ciudad de Llanquihue, su límite urbano se encuentra definido en el Plan Regulador Comunal de Llanquihue de 1988 y sus modificaciones vigentes a la fecha.

Instrumento de Planificación	Decreto	Localidad/ Asentamiento	Publicación en el Diario Oficial
Plan Regulador Comunal de Llanquihue 1988 (Figura x)	Resolución 11	Llanquihue	04 de Marzo de 1988
Modificación Plan Regulador Comunal de Llanquihue 1997 / Ampliación Límite Urbano Norte	Resolución 49	Llanquihue	24 de Julio de 1997
Modificación Plan Regulador Comunal de Llanquihue 1997 / Diversos sectores	Resolución 49	Llanquihue	24 de Julio de 1997
Modificación Plan Regulador Comunal de Llanquihue 1997 / Ampliación Límite Urbano Norte	Resolución 20	Llanquihue	29 de Diciembre de 2000
Modificación Plan Regulador Comunal de Llanquihue 1997 / Ampliación Límite Urbano Norte	Resolución 44	Llanquihue	29 de Diciembre de 2000

Figura 7, Instrumentos de planificación territorial vigentes, Comuna de Llanquihue. Fuente: Observatorio Urbano, (MINVU, 2017).

Las siguientes figuras presentan las zonificaciones del Plan Regulador de Llanquihue de 1988 y sus modificaciones:

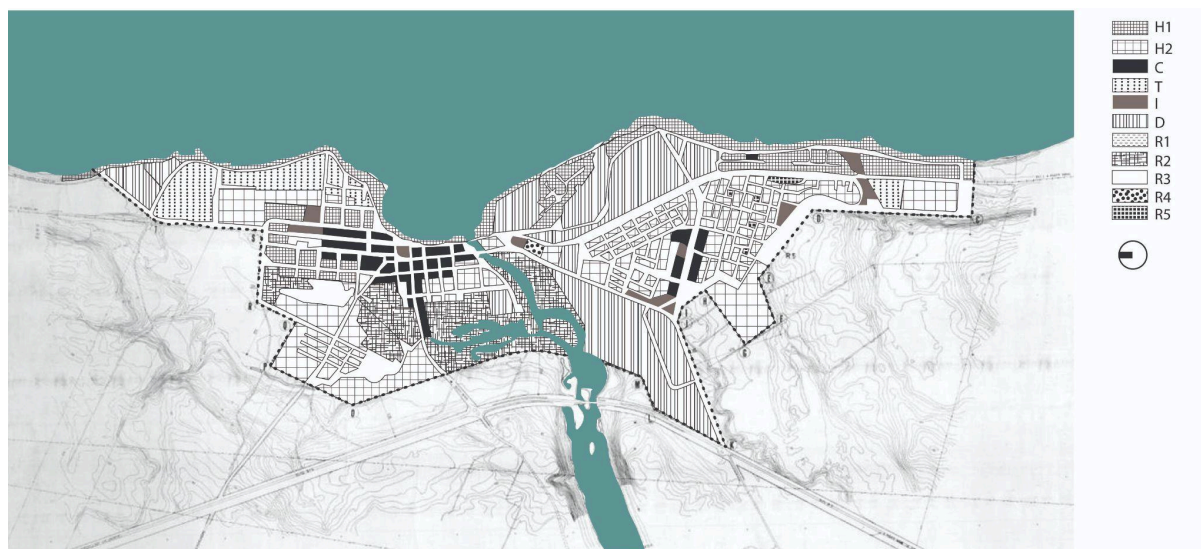


Figura 8. Plan Regulador Comunal de Llanquihue 1988.

Fuente: Elaboración propia en base a planimetría de la Dirección de Obras Municipales, I. Municipalidad de Llanquihue.

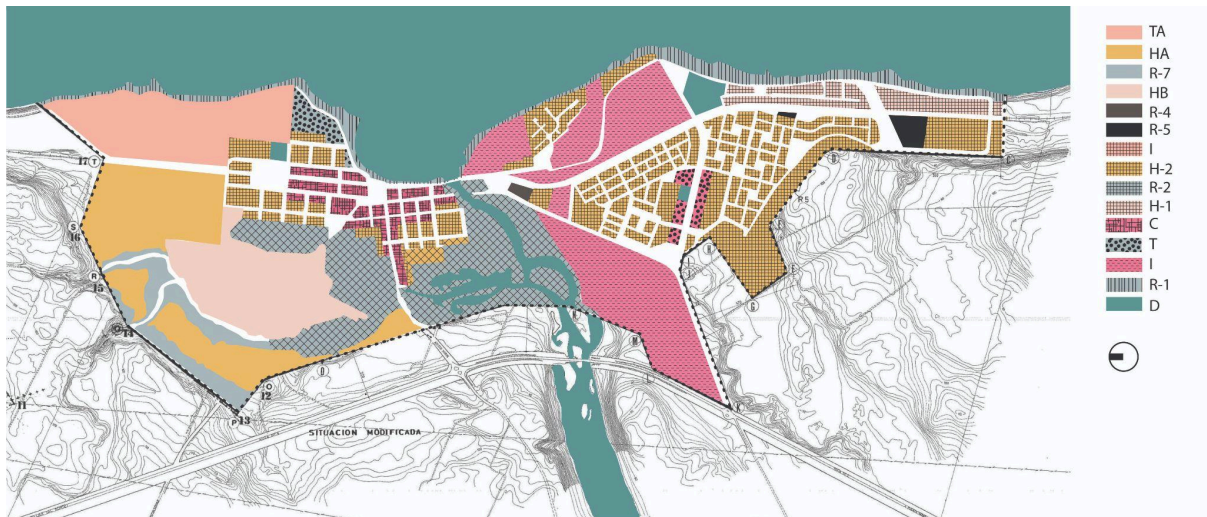


Figura 9, Plan Regulador Comunal de Llanquihue Vigente actualizado (Incluyendo modificaciones).
Fuente: Elaboración propia en base al PRC de Llanquihue y modificaciones.

El PRC de Llanquihue y sus modificaciones conforman una zonificación que en la actualidad establece 19 tipos de zonas y usos de suelo. Tales como, residenciales, equipamiento, actividades productivas y restringidas al desarrollo urbano (Tabla x).

Tipo de Zona	Zona	Interpretación de orientación de usos de suelo de acuerdo a revisión de la ordenanza Local
Residencial	H-1	(Pref. Residencial)
	H-1A	(Residencial)
	H-1B	(Residencial)
	H-2	(Pref. Residencial)
	HA	(Pref. Residencial)
	HB	(Pref. Residencial)
Actividad Productiva	I	(Industrial)
Equipamiento	C	(Comercial / Subcentro)
	D	Equipamiento Deportivo
	E	Equipamiento
Turística	T	(Turístico)
	TA	(Turístico)
Zonas restringidas al desarrollo urbano	R-1	Resguardo de Terrenos de playas de lago Llanquihue
	R-2	Alto riesgo para asentamientos humanos
	R-3	Protección de trazados ferroviarios

R-4	Restricción de cementerios
R-5	Protección de instalaciones de agua potable
R-6	Zonas de restricción de quebrada naturales sus laderas y franjas colindantes
R-7	Zona de restricción de protección de vertientes de agua

Figura 10, Resumen de Zonas Plan Regulador Comunal de Llanquihue y sus Modificaciones.

Fuente: Memoria explicativa Plan Regulador Comunal de Llanquihue, (2019).

Como síntesis del PRC de Llanquihue vigente (1997), incluyendo las modificaciones realizadas y aprobadas hasta la actualidad, presenta principalmente una propuesta de zonificación enfocada mayormente en usos de suelo residenciales y de equipamiento, admitiendo también el uso de actividades productivas e infraestructura de transporte, reconociendo áreas restringidas al desarrollo urbano, como quebradas y cursos de agua, con mayor énfasis las relacionadas al río Maullín, las áreas costeras y frente al lago Llanquihue.

Con respecto al límite urbano, los cambios que se han realizado al Plan se han orientado principalmente en el sector norte del área urbana, en torno al centro de la ciudad, y en la cual se da gran importancia y preferencia al uso residencial.

Las zonas residenciales se relacionan con los sectores que en la actualidad presentan un predominio de este tipo de actividad, como a su vez, en las áreas de extensión previstas por el Plan. Sin embargo, destaca la extensa zona de usos de actividades productivas, las que agrupan los sectores que presentaban este tipo de actividades al momento de la aprobación del PRC en 1988, como las relacionadas con las instalaciones de las plantas Nestlé, IANSA, Cecinas Llanquihue, entre otras.

La propuesta de zonificación tiene otro aspecto relevante, el cual tiene relación con las zonas restringidas al desarrollo urbano vinculadas al río Maullín, las cuales utilizan una considerable superficie al poniente y sur del área central de la ciudad (R-2), y cuya definición no está respaldada por un Estudio de Riesgos y Protección Ambiental, tal como dispone actualmente el artículo 2.1.10 de la OGUC.

También, es posible mencionar que otro aspecto importante del Plan es que este define una zona mixta en el centro de la ciudad (Zona C), la cual incorpora un fragmento de la Estación de Llanquihue y las manzanas ubicadas a lo largo de la Av. Vicente Pérez Rosales y Valdivieso. Dicha zona está definida en el sector sur, en el centro del área residencial que está integrada por las poblaciones Los Volcanes, La Esperanza, Manuel Montt y La Copa.

Con respecto a las disposiciones del Plan, pese a las actualizaciones realizadas a través de las distintas modificaciones, presenta normas que se encuentran obsoletas respecto a su aplicación, como es el caso de normas de frente predial y la exigencia de usos de suelo de acuerdo a escalas constructivas. Lo mismo es aplicable a las categorías de usos de suelo en general, no se condicen con las definiciones de acuerdo a la OGUC, como es el caso de los "equipamientos turísticos". Esto es extensivo a las disposiciones de actividades productivas son abarcadas en un contexto general y amplio, donde se confunden

definiciones de usos de equipamientos comerciales o de servicios con respecto a este tipo de actividades.

Por otro lado, sin bien no hay impedimento normativo de que los Planes Reguladores Comunales no definan rangos específicos como altura máxima y de densidades brutas, la ausencia de estas normativas no contribuyen a la adecuada aplicación del Plan. Esto genera ambigüedades que pueden ir en contra de la imagen urbana que se puede percibir en la ciudad, ya que las normas específicas no precisan parámetros máximos de su aplicación, especialmente en temas sensibles para la comunidad, como es caso de la altura máxima.

En definitiva, el Plan posee una estructura de aplicación normativa que es clara respecto a la zonificación pero que se encuentra desactualizada respecto a su aplicación normativa, además de presentar omisiones respecto a la aplicación de normas urbanísticas relevantes respecto a la imagen urbana, como es el caso de la densidad bruta máxima y alturas máximas de edificación.

A lo anterior se suma, en algunos casos, que la zonificación de la ciudad:

- No responde a las dinámicas de crecimiento urbano que se venían desarrollando desde los años 80', generando restricciones a usos de suelo necesarios como el residencial, además de mantener zonas de usos de suelo exclusivos, como son las zonas industriales. Estas impiden dar la posibilidad de reconversión de estos sectores a otros usos de suelo, ya que se encuentran en desuso en la actualidad.
- La definición de las áreas de restricción del Plan se encuentra desactualizada y no avalado por un estudio fundado de riesgos ambientales.
- En relación a las áreas de protección, estas no se encuentran incluidas en el Plan, respecto al reconocimiento de elementos de valor natural, como es el caso de los humedales.
- En el caso de las áreas de protección patrimonial y cultural, en el Plan vigente no se reconocen zonas o inmuebles de conservación históricas, que permitan preservar los elementos de valor arquitectónico presentes en este territorio.

Ahora, en la segunda parte del presente objetivo, se analizará el aumento y crecimiento de la mancha urbana en la ciudad, en el período que comprende los años 2010 hasta 2022. La elección de este período se basa en la fuente de las imágenes con las cuales se analizará el crecimiento, ya que serán imágenes satelitales de Google Earth, las cuales fueron seleccionadas desde la función de línea de tiempo que ofrece esta herramienta. Asimismo, como dicha línea de tiempo solo cuenta con imágenes de buena calidad en el período de tiempo mencionado (2010-2022), es que el análisis se centrará en ese rango de años.

Las imágenes del período que fueron seleccionadas, corresponden a los años 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 y 2022. Esta elección se debe a que el cambio de la mancha urbana entre un año y otro, en algunos años, no fue muy significativo, por ello se escogieron imágenes de la ciudad cada 2 años, desde el 2010 hasta el 2022.



2010



2012



2014





2016



2018



2020





Figura 11, Crecimiento de la mancha urbana entre los años 2010 y 2022. Fuente: Elaboración propia en base a fotografías satelitales de Google Earth.

Entre el periodo de tiempo entre el 2010 y el 2016 son pocos los cambios que se pueden observar en la mancha urbana, es en el 2016 que se puede ver el crecimiento con fines residenciales en la zona norte de la ciudad. Los cambios más significativos en el crecimiento de la mancha urbana de la ciudad se puede ver entre los años 2020 y 2022, esto con la expansión de áreas residenciales densas en la zona norte de la ciudad.

Otra característica del crecimiento de esta ciudad, es la fragmentación de la mancha urbana hacia el sector sur bajo el río Maullín. Estas manchas corresponden a grandes centros de almacenamientos de tiendas comerciales que se ubican a las afueras de la ciudad. Como por ejemplo el Outlet Llanquihue, Prodalam, SOSER Sucursal Llanquihue, comercio a gran escala ubicado principalmente en las zonas suburbanas de la ciudad.

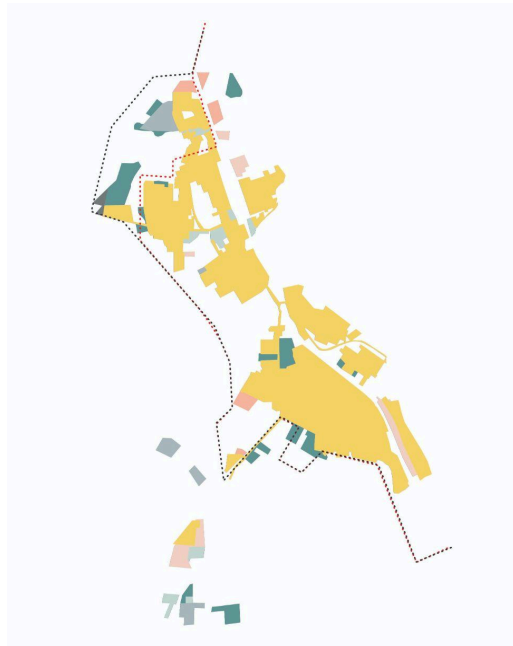


Figura 12, Diagrama del crecimiento de la Mancha Urbana de la ciudad de Llanquihue entre 2010-2022. Fuente: Elaboración Propia

4.2 Objetivo N°2

El segundo objetivo busca analizar las estrategias de drenaje urbano sensible al agua proyectadas en la ciudad de Llanquihue. Este proyecto está siendo realizado por la Empresa Patagua, la Fundación Chile, la Universidad Católica y el gobierno de Chile.

El análisis se hará en relación al documento “Ciudades Sensibles al Agua, Volumen III. Borrador mayo 2022”, siendo proporcionado por la empresa Patagua. Este volumen forma parte de tres volúmenes anteriores, estos conforman una guía de drenaje urbano sostenible para la macrozona sur. El primer volumen es el marco conceptual, estratégico, regulatorio y territorial para la aplicación del drenaje urbano sostenible, el segundo volumen es la propuesta metodología para la planificación, diseño e implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles, mientras que el tercer volumen, que aún se encuentra en proceso, es la aplicación de estas estrategias en una ciudad, que en este caso es la ciudad de Llanquihue.

El proyecto y el estudio en cuestión, se focalizará principalmente en la zona norte de la ciudad, ya que esta se caracteriza por la presencia de un sistema de humedales interconectados y cursos de agua, los cuales tienen el nombre humedal Baquedano, El loto, Los Helechos, El estero Teodosio Sarao y el río Maullin (figura x y x).



Figura 13: Sitios de Sensibilidad Ambiental de la Ciudad de Llanquihue.
Fuente: Elaboración Propia y Fotografías de Google Earth (2022)

Según estudios realizados por la fundación Legado Chile, se puede observar que la superficie de los humedales han disminuido casi en un 40% entre los años 1962 y 2018,

debido a la falta de planificación urbana sensible a los ecosistemas en el crecimiento de la ciudad (Figura 14). Esto ha traído múltiples complicaciones ambientales como los episodios de inundaciones que ocurren generando el anegamiento de calles y viviendas.

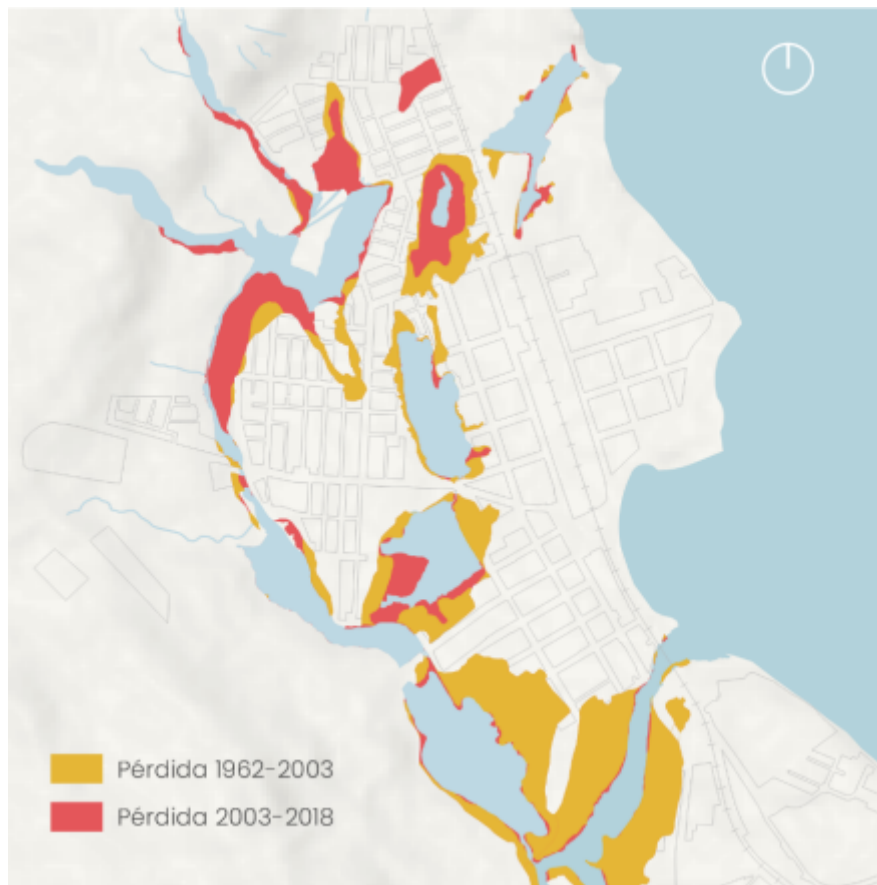


Figura 14, Disminución de la Superficie de humedales entre 1962 y 2018.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua, volumen III. Borrador mayo 2022.

4.2.1 Antecedentes del Proyecto

Parte de la metodología para la implementación de drenajes es el estudio de antecedentes para tener una mejor comprensión del territorio, metodología que se explica con mayor profundidad en el segundo volumen de esta guía. Este estudio de antecedentes cuenta con diferentes partes como; la identificación de la infraestructura verde de la ciudad, la red de drenaje superficial, la calidad del agua, la clasificación del uso de suelo, y una caracterización socioeconómica y urbanística de la ciudad.

La identificación de la infraestructura verde de la ciudad es de suma importancia, ya que serán fundamentales para poder realizar el proceso previo a la planificación y diseño de un proyecto de Drenaje Urbano Sostenible. Estas infraestructuras son las soluciones basadas en la naturaleza y ecosistemas sostenibles, siendo un aporte a la ciudad debido a sus funciones hidrológicas (Vol II).

En el caso de la zona norte de la ciudad de Ilanquihue, los resultados obtenidos de esta infraestructura fueron los siguientes:

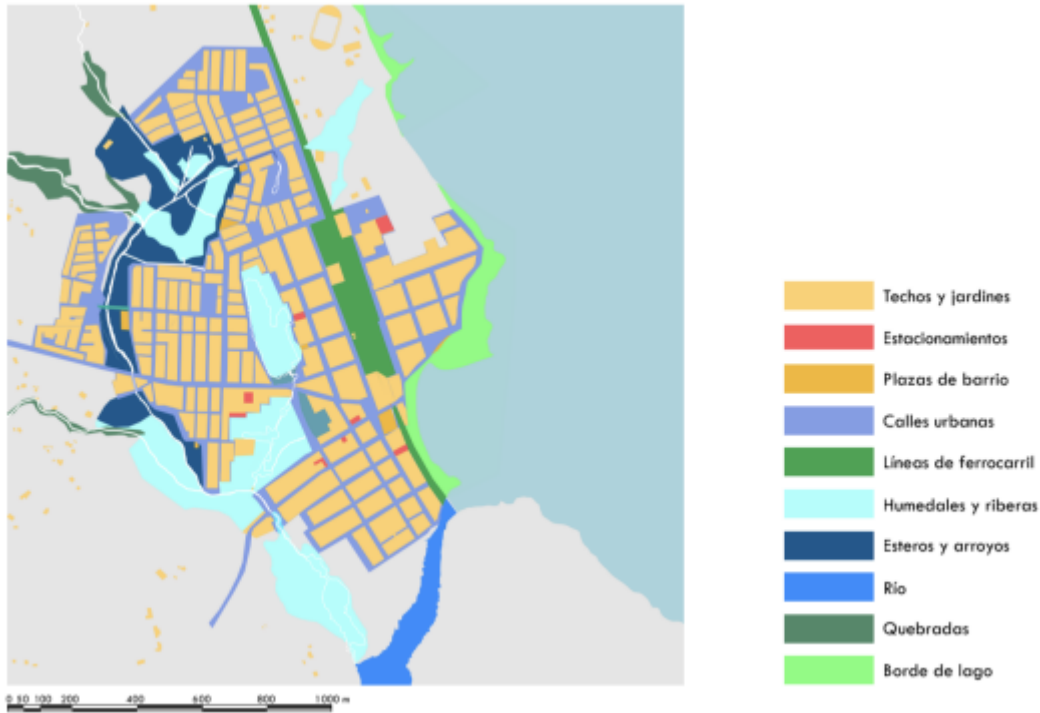


Figura 15, Resultados identificación de infraestructura verde en la zona norte de la ciudad de Llanquihue. Fuente: Ciudades Sensibles al Agua, volumen III. Borrador mayo 2022.

Otra parte del estudio de los antecedentes es el de la red de drenaje superficial, entendido como el movimiento de las aguas lluvias en la ciudad. Para esto, se analizan diferentes elementos claves; la topografía, los cursos y cuerpos de agua natural y artificial, las redes viales y las obras de drenaje.

Las características topográficas del área urbana se ubican en la cuenca de la ciudad zona más baja, donde el agua presenta un rol predominante y donde se encuentran emplazadas las áreas residenciales más urbanizadas y densas de la comuna.

Los cursos y cuerpos de agua natural, son parte de las características de la ciudad de Llanquihue, conformados por una red de humedales y esteros. Este sistema se ha visto afectado debido a los procesos de expansión urbana y densificación de la ciudad en desmedro de una planificación urbana sustentable (Vol III). En este volumen se caracterizaron cada uno de los humedales, cursos de agua y sus conexiones, como se observa en la figura 16.

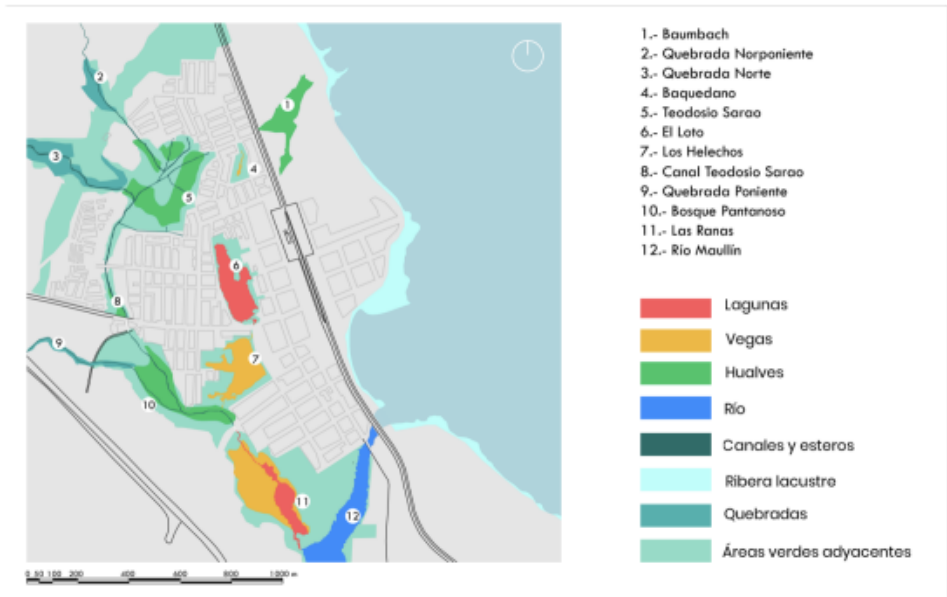


Figura 16. Cursos y cuerpos de agua naturales y artificiales.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

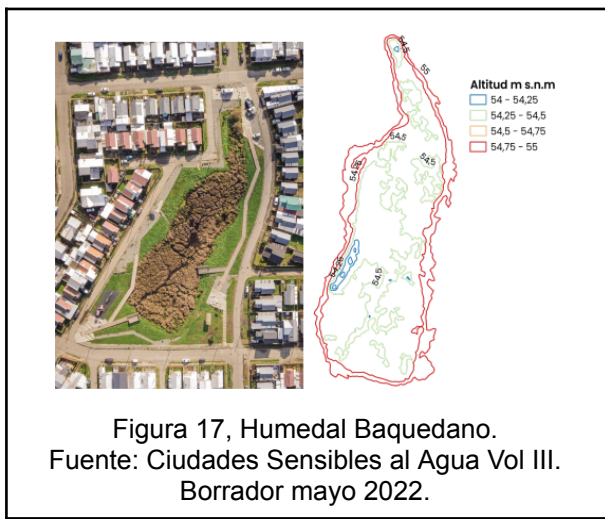


Figura 17, Humedal Baquedano.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III.
Borrador mayo 2022.

- El Humedal Baquedano (N°4, fig 17) según el estudio realizado, es el humedal que ha sufrido la mayor pérdida de superficie. Este aumenta o disminuye su dimensionamiento dependiendo las aguas lluvias superficiales, debido a que no cuenta con afluentes directos. En las épocas de mayores temperaturas el humedal suele perder su agua y los ecosistemas de este se ven amenazados por perros y gatos del sector.



Figura 18, Humedal Teodosio Sarao
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III.
Borrador mayo 2022.

- El humedal Teodosio Sarao (N°5,fig 18) cuenta con una superficie de 4.88 hectáreas, está ubicado en la zona noreste del centro urbano. El humedal tiene una función principal dentro de la distribución de aguas en Llanquihue, se conecta con las quebradas de la zona, la escorrentía de aguas lluvias de urbanizaciones cercanas y recibe la descarga del humedal baquedano.

Este humedal conduce aguas a una baja velocidad hasta desembocar en el estero con el mismo nombre.

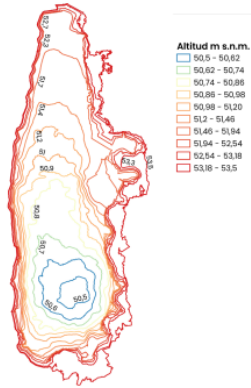


Figura 19, Humedal el Loto.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III.
Borrador mayo 2022.



Figura 20, Humedal los Helechos.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III.
Borrador mayo 2022.

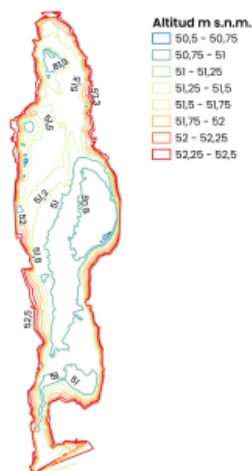


Figura 21, Humedal las Ranas.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III.
Borrador mayo 2022.

Esta zona actualmente está siendo víctima de disposiciones ilegales de residuos y escombros que están amenazando su ecosistema.

- El humedal del Loto (N°6, fig. 19) cuenta con una superficie de 3,39 hectáreas de superficie, su recarga se produce al igual que otros humedales del sector, por el almacenamiento de aguas lluvia que ingresan a través de sumideros y colectores de calles cercanas.

- El Humedal de los Helechos (N°7, fig. 20) tiene una superficie de 3 hectáreas, este se recarga a través del humedal del Loto, por escorrentía superficial de aguas lluvias y subterráneas. En los meses de mayores temperaturas por su abundante vegetación se genera una disminución del agua, esto debido al proceso de evapotranspiración.

- El humedal de las Ranas (N°11, fig. 21) es un cuerpo que recibe su afluente del estero Sarao y su descarga hacia el río Maullín. Este humedal reúne gran parte de las aguas lluvias que escurren desde la trama urbana hacia los cuerpos naturales.

En las épocas de mayor calor el caudal del Estero Sarao disminuye, esta baja en la circulación del agua genera procesos de eutrofización, este proceso es el de contaminación de las aguas provocado por el exceso de nutrientes en el agua procedentes en su mayoría por la actividad del hombre.

Otro factor que se analizó fue la red vial de la ciudad, esto debido que algunas de ellas son las que direccionan la escorrentía de las aguas lluvias que son finalmente recibidas por alguno de los cuerpos de agua. Es el tipo de camino el que puede ser relevante para el análisis de la calidad de agua, dependiendo si la calle es pavimentada, de tierra o peatonal vegetada.



Figura 22, Tipo de red vial.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

La ciudad de Llanquihue no cuenta con un Plan Maestro de aguas lluvias, por lo que no existe una red de drenaje en la ciudad, pero si se han hecho obras esporádicas de infraestructura gris, particularmente sumideros. El diseño de estos sumideros y su estado de mantenimiento no deja identificarlos como obras de drenaje reales (Vol III). Estos sumideros son ciegos, esto quiere decir que no se encuentran conectados con ningún colector, lo que trae como consecuencia que el agua que logra ser captada por estos no es evacuada a ningún lugar. Además de esto, los sumideros son impermeabilizados en su interior lo que significa que el agua no puede ser infiltrada.

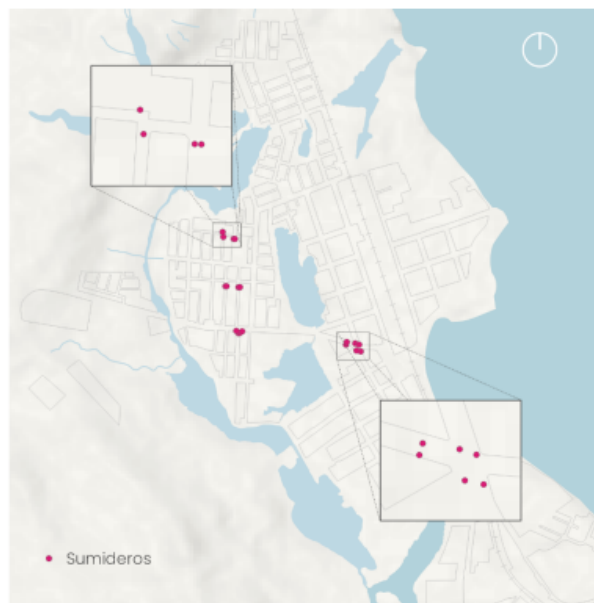


Figura 23, Ubicación de los sumideros en la ciudad de Llanquihue.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.



Figura 24, Fotografías de los sumideros de Llanquihue.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Dentro de la evaluación de los antecedentes realizados en esta guía se encuentra también el de la calidad de agua de los cuerpos receptores, en este caso los humedales, esteros y otros cuerpos antes mencionados. Se indica que este monitoreo de la calidad del agua debe ser realizado constantemente en el tiempo, en el contexto de drenaje urbano estos monitoreos pueden tener diversos objetivos, como por ejemplo, evaluar parámetros de contaminación en el agua de los cuerpos receptores, definido como masas de agua que son parte del sistema de drenaje natural.

Los resultados obtenidos por este estudio se dividen en los índices de calidad de agua y el estado trófico de los humedales. Los índices de calidad de agua que arrojaron la mayor parte de los cuerpos fue categorizado como “marginal” o “pobre”, siendo el humedal del loto que el que presentó los peores resultados y el humedal Baquedano el mejor (Figura 25). En este estudio también se caracterizó el estado trófico del agua, esto se define como el peso total de biomasa en un cuerpo de agua, esta medición se hace en relación a los rangos de fósforo y clorofila que se encuentra en el cuerpo de agua. Por lo que si el rango de fósforo se encuentra entre 35 y 100 $\mu\text{g/L}$ y la clorofila-a entre 8 y 25 $\mu\text{g/L}$, se puede identificar como eutrófico, pero cuando las concentraciones de estos superan los rangos establecidos, se consideran hipertróficos. En los resultados se observa que la mayor parte de estos valores se encuentran sobre los rangos antes mencionados, en específico los humedales el Loto y Teodosio Sarao se consideran hipertróficos (fig. 25).



Figura 25, Índice de Calidad de agua 2021.
 Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Uno de los puntos fundamentales dentro de la recopilación de antecedentes es poder conocer la clasificación de uso de suelo, esto es clave para poder identificar y luego proyectar los niveles de impermeabilización del suelo. Las superficies de la ciudad fueron clasificadas según las zonas presentes en el volumen II, los cuales son; zonas residenciales, parques urbanos, infraestructura deportiva, bosques, sitios eriazos, cultivos y humedales. Los resultados obtenidos muestran que la zona norte de la ciudad presenta una gran superficie de uso residencial de alta densidad, este tipo de uso de suelo se asocia a un porcentaje de 85% de impermeabilidad del suelo (fig. 26).

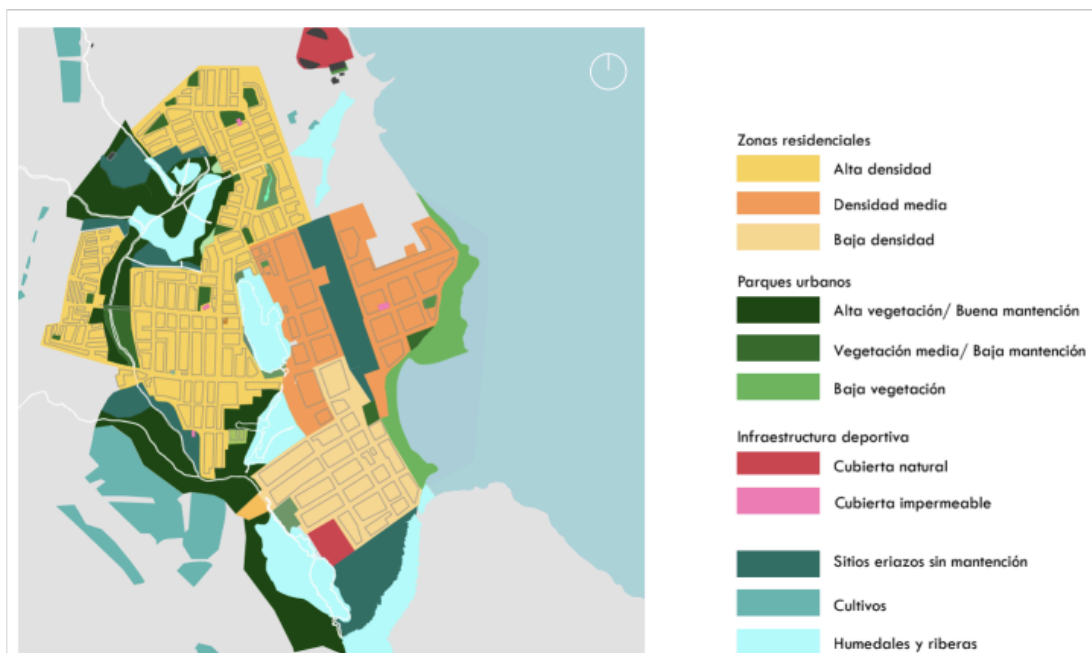


Figura 26, Resultado de estudio de la zonificación de uso de suelos.
 Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

4.2.2 Emplazamiento del Proyecto

Una vez realizado el estudio de los antecedentes necesarios para poder realizar la evaluación de las diferentes alternativas de diseño, se identificaron las oportunidades de diferentes sectores que podrían ser utilizados como parte de las soluciones a los problemas de inundaciones en los objetivos del proyecto.

Dentro de la zona norte de la ciudad de Llanquihue se encontraron seis zonas críticas de inundación (figura 27), estas zonas luego son caracterizadas para poder ayudar en el proceso de creación de soluciones (figura 28), estas nombradas subcuencas.

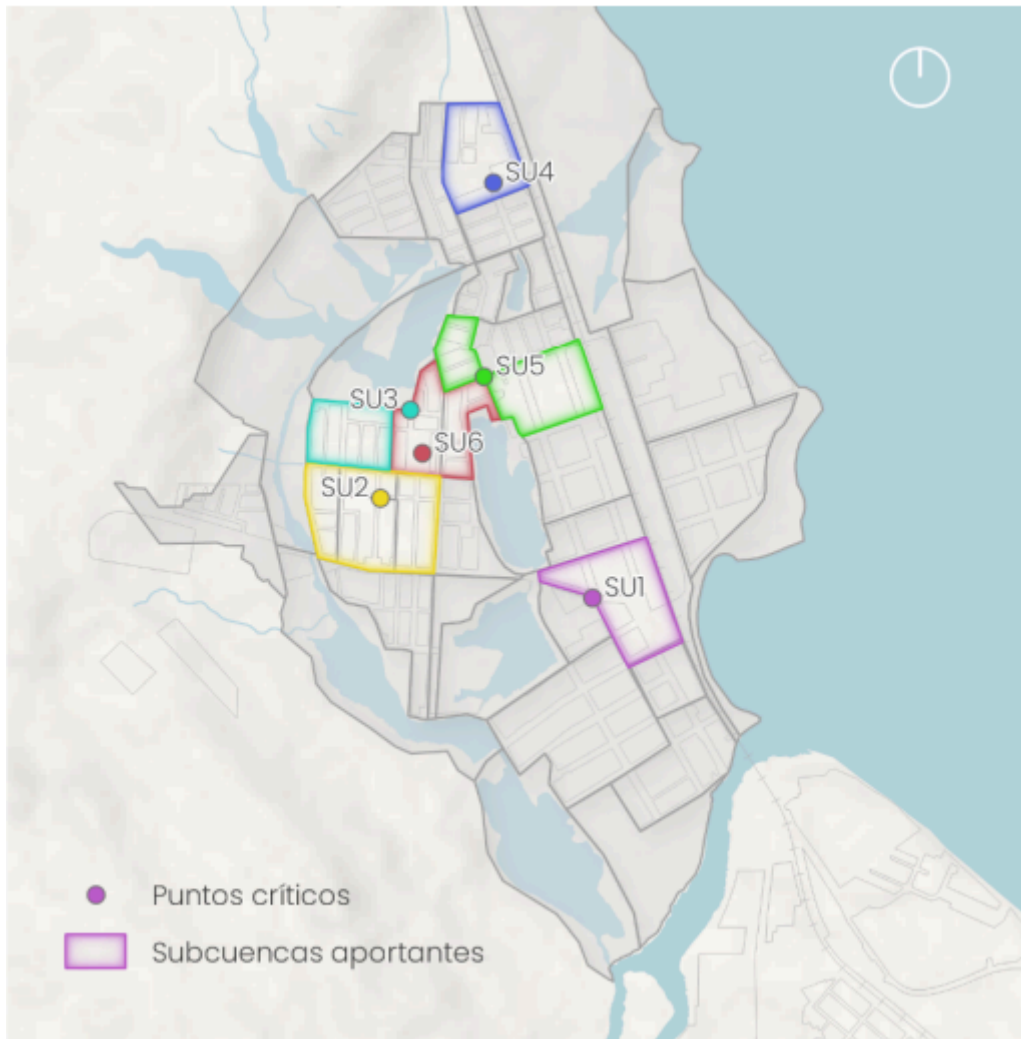


Figura 27, Subcuencas aportantes y sus puntos críticos.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Zona	Uso de suelo	Característica de inundación	Volumen de captura (m ³)
SU1	Residencial Media Densidad	Volúmenes de inundación menores que, al generarse en una zona central de la ciudad, impactan a gran parte de los habitantes y negocios locales.	294
SU2	Residencial Alta Densidad	Inundaciones recurrentes y de muy grandes magnitudes. En esta zona crítica el agua entra a las casas en tormentas anuales y se generan descargas unitarias sobre los cuerpos receptores de la ciudad.	648
SU3	Residencial Alta Densidad – Humedal	Inundaciones provocadas por el aporte del estero Teodosio Sarao.	276
SU4	Residencial Alta Densidad	Inundaciones de grandes magnitudes que comúnmente superan la altura de las veredas.	345
SU5	Residencial Alta Densidad	Inundaciones reportadas por el modelo, pero no validadas en terreno por los habitantes.	295
SU6	Residencial Alta Densidad-Parque	Inundaciones generadas, principalmente, por el aporte subterráneo producto de la antigua existencia de una laguna en el área (laguna Los Pompones). Según vecinos, la inundación se produce en su mayor parte en la plaza del punto crítico.	371

Figura 28, Características de las Subcuencas.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Aunque las zonas críticas encontradas son seis, el volumen III solo se enfocará en dar soluciones a dos de ellas, las subcuencas SU1 Y SU4.

En base a la selección de las cuencas de intervención por el guía de ciudades sensibles, es que se realiza una descripción general de estas. En el caso de la Subcuenca N°1 (SU1), se encuentra ubicada en una zona céntrica de la ciudad, la plaza de armas y el edificio consistorial son parte de sus áreas, además de otros como equipamientos, comercios y servicios públicos esta zona está también caracterizada por una alta impermeabilización del suelo. El estado de algunos lugares de esta subcuenca se caracterizan por sus áreas verdes en buen estado y con un alto grado de uso por la comunidad. Sin embargo, estos lugares cuentan con ciertas problemáticas como por ejemplo; las inundaciones recurrentes que dificultan el tránsito, la circulación peatonal y vehicular y espacios completamente impermeabilizados por la alta constructibilidad del suelo.

Por otra parte la subcuencas N°4 (SU4) se caracteriza por ser una área residencial que cuenta con una alta densidad de viviendas, este es un sector con una altura de edificación a una escala mayor al promedio. Dentro de esta zona se encuentran ubicadas dos plazas de barrio. El estado y problemáticas de esta subcuenca son; gran variedad de espacios públicos y zonas de recreación infantil que se encuentran en mal estado, la subutilización de plazas como estacionamiento de automóviles, entre otras.

4.2.3 Objetivos, fundamentos y criterios de diseño

Los principales objetivos que se plantean para el desarrollo del diseño de la SU1 fueron los siguientes:

- Fijar un límite de altura y ancho en el caso de inundación sobre calles, con el fin de reducir los problemas de las comunidades cercanas.
- Que la velocidad de la escorrentía sobre los canales vegetados sea menor, con el fin de proteger la vegetación

Los objetivos para la SU4 son:

- Asegurar que la descarga de los estanques de almacenamiento de aguas lluvias tengan un tiempo mínimo de vaciamiento entre 24 a 48 horas, de esta forma, proteger el cuerpo receptor.
- Que la obra cuente con una salida al vertedero de seguridad.

Subcuenca y elemento de IV	Componentes DUS	Tipo de obra	Fundamentos de diseño
SU4 - Plazas de barrio	Estanque de detención	Almacenamiento tipo detención	<ul style="list-style-type: none"> ● Se requiere de un espacio de entre 0,5% y 2% del total de la cuenca aportante ● Debe proveerse de un vertedero de seguridad ● La obra de salida debe diseñarse de forma diferenciada de la zona de almacenamiento
	Franja filtrante	Depuración e infiltración	<ul style="list-style-type: none"> ● Evitar construir en suelos con tasa de infiltración menor a 8 mm/hr ● El escurrimiento sobre el elemento debe ser distribuido uniformemente sobre la superficie para lograr un flujo laminar y evitar sobreacumulación de las agua
	Jardín de lluvia	Infiltración	<ul style="list-style-type: none"> ● Evitar construir en suelos con tasa de infiltración menor a 8 mm/hr ● Para evitar el aporte de aguas subterráneas se debe adoptar una distancia mínima de 1 a 1,2 m entre la base del elemento y la altura máxima de la napa. ● Se deben incorporar obras de salida para evitar rebalses ● Se debe evitar el uso de fertilizantes y pesticidas
	Pavimento permeable	Infiltración	<ul style="list-style-type: none"> ● El escurrimiento sobre el elemento debe ser distribuido uniformemente sobre la superficie para lograr un flujo

			<p>laminar y evitar sobreacumulación de las aguas. Para ello se pueden usar solerillas, bermas, zanjas, solers discontinuas u otro tipo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Para evitar el aporte de aguas subterráneas se debe adoptar una distancia mínima de 1 a 1,2 m entre la base del elemento y la altura máxima de la napa.
SU1 - Calles urbanas	Jardín de lluvia	Almacenamiento e infiltración	<ul style="list-style-type: none"> ● Evitar construir en suelos con tasa de infiltración menor a 8 mm/hr ● Para evitar el aporte de aguas subterráneas se debe adoptar una distancia mínima de 1 a 1,2 m entre la base del elemento y la altura máxima de la napa. ● Se deben incorporar obras de salida para evitar rebalses ● El fondo debe ser plano ● Se debe evitar el uso de fertilizantes y pesticidas
SU1 - Techos y jardines	Sistema de recolección de AALL/Ba	Almacenamiento tipo sistema de recolección	<ul style="list-style-type: none"> ● La estructura debe ser capaz de resistir la presión que se generará en el interior ● Los orificios de ingreso deben tener una malla fina que impida el ingreso de insectos y material particulado ● El agua almacenada no puede ser utilizada directamente como agua potable sin recibir un tratamiento. ● Se debe diseñar una salida para evitar rebalses.
SU1 - Otro: Canal vegetado		Conducción y depuración	<ul style="list-style-type: none"> ● La pendiente longitudinal debe ser menor a 1% (generalmente entre 0,2% y 0,5%) ● Pueden incorporarse gradas, escalones o pequeños muros transversales para reducir la pendiente. ● Las pendientes laterales de los taludes deben ser bajas para facilitar el mantenimiento (entre 3:1 y 5:1). ● Se debe tener precaución en la vegetación a utilizar para evitar erosión ● Se recomienda el uso de vegetación densa que facilita la sedimentación y recuperación de nutrientes, y reduce la velocidad de escurrimiento.

Figura 29, Fundamentos de diseño asociados a los principales componentes DUS de los elementos de IV proyectados.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

4.2.4 Diseño e Implementación de obras

El proyecto de intervención de la SU1 será emplazado entre las calles Av. Matta con Eduardo Wernes (figura 30). Este contará con tres propuestas diferentes, la primera se enfoca en los techos y jardines, mediante instalaciones de sistemas de recolección de aguas lluvias en el edificio consistorial, el supermercado y viviendas particulares. La segunda propuesta es la de intervenir las plazas del barrio, con la construcción de jardines de lluvia en la Plaza de Armas de la ciudad de Llanquihue. La tercera propuesta es mediante la instalación de jardineras de veredas tanto en las preexistentes como las proyectadas.



Figura 30, Planta general del proyecto de intervención en la subcuenca N°1.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Dentro de la propuesta en relación a las viviendas del barrio se propone promover a estas de almacenamiento temporal de aguas lluvias con un sistema de tres barriles. Esto con la idea de que puedan ser conectados al sistema de llenado de inodoros, lavadoras y riego de jardines (figura 31).

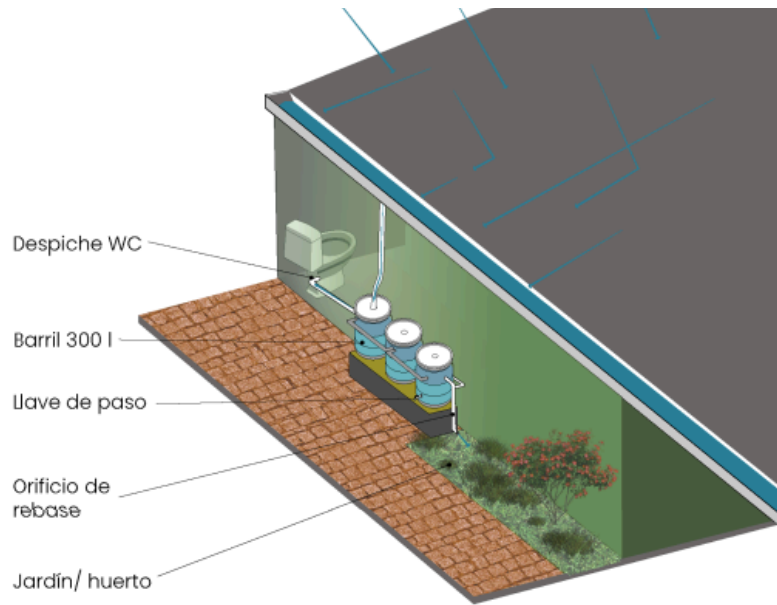


Figura 31, Detalle de la solución de acumulación de aguas lluvias a nivel de vivienda.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

En la propuesta enfocada a las calles de esta SU1 con la proyección de jardines de lluvias, ubicados en las calles Baquedano, Errazuriz, Vicente Perez Rosales, Erardo Werner y Marra, que tienen el propósito de almacenar temporalmente las aguas que escurren de los elementos impermeables cercanos, como lo son las calles y veredas. Todo depende de la altura de la napa donde se encuentren estos jardines. Si la napa se encuentra a un nivel superior o igual al nivel del suelo, este jardín tendría la función de infiltrar las aguas lluvias ; si esta, encuentra a una altura inferior en relación al nivel del suelo para poder infiltrar el agua, tendrá como función transportar esta mediante drenes perforados a zonas donde esta pueda ser infiltrada, en este caso al humedal Los Helechos. Esta propuesta también puede ser complementada con infraestructura y mobiliario que puedan generar zonas de permanencia en estos jardines, dándoles la característica de espacio público (Figura 32 y 33).

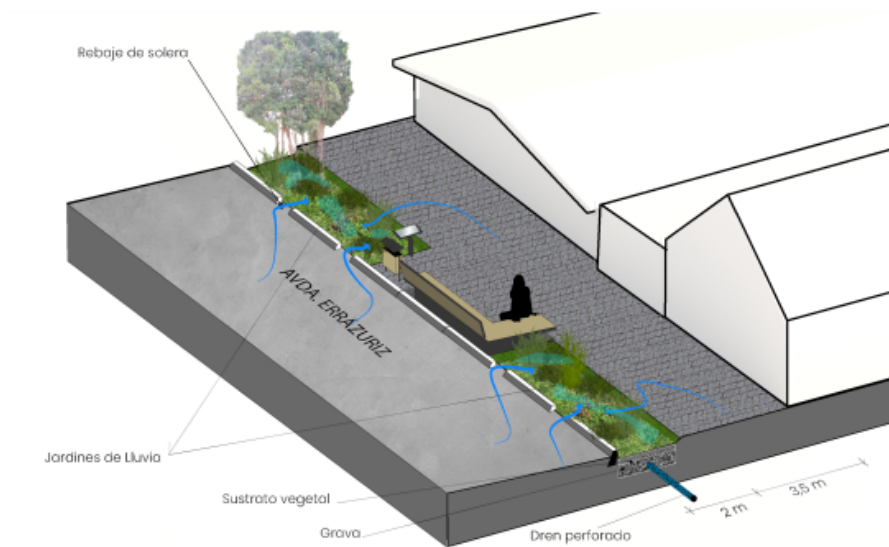


Figura 32, Detalle de la propuesta de jardineras de borde de calzadas.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

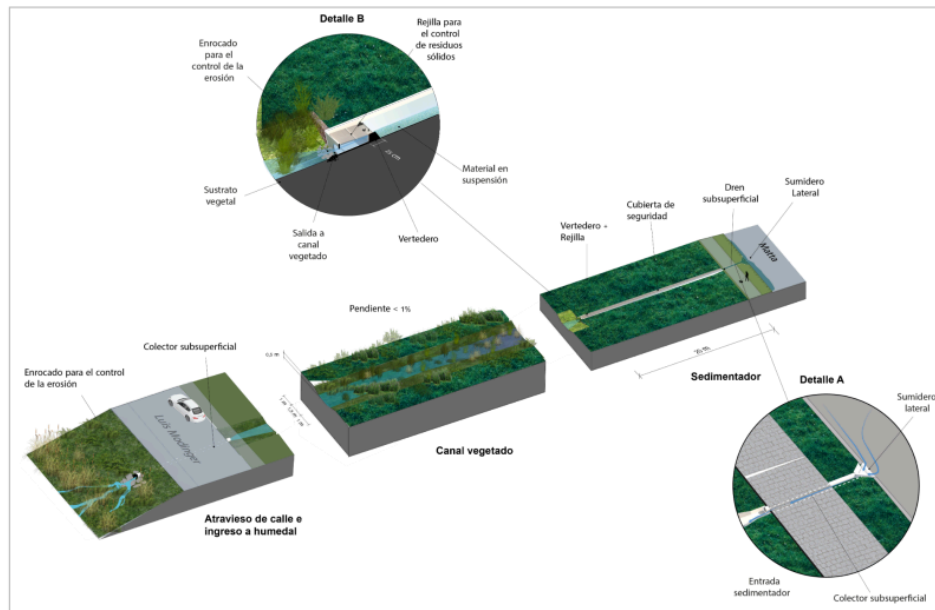


Figura 33, Detalles de la obra de conducción de aguas lluvias desde el punto crítico hacia el humedal Los Helechos.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

El proyecto de intervención de la SU4 está emplazada en la plaza de barrio Villahermosa, como elemento de infraestructura verde. Este diseño integra soluciones hidráulicas, circulaciones peatonales y programas de recreación (figura 34).

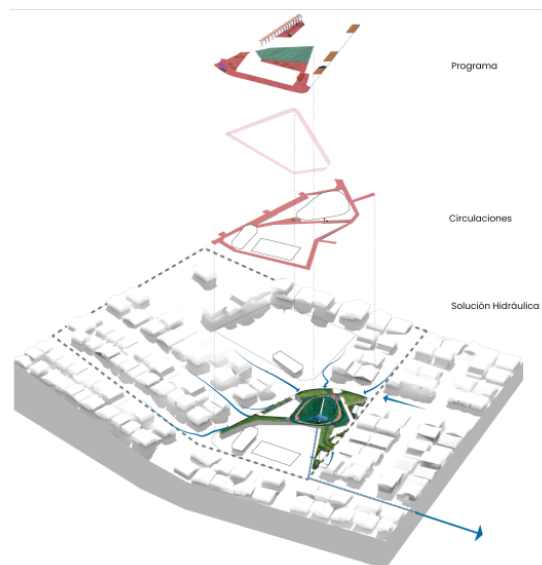


Figura 34, Situación general del proyecto de intervención, plaza Villahermosa.
 Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Este proyecto presenta múltiples componentes, como estanques de detención de aguas, jardines de lluvia, franjas de filtración, pavimentos permeables, rebajes de solera y canales vegetados. La plaza cumplirá el rol de amortiguador de tormentas, tanto como en cantidad como en calidad de aguas. La descarga de estas aguas lluvias se proyecta mediante un colector que redirigirá el agua hacia el humedal Teodosio Sarao (figura 34).



Figura 35, Planta general del proyecto de intervención en la plaza Villahermosa.
 Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

A continuación se presentan las figuras con mayor detalle del proyecto, como lo son el corte (figura 35), donde se visualiza la estructura frente a una gran tormenta. El corte A-A (figura 36) muestra la cancha preexistente de la plaza, un sector de área verde que cumplirá con el propósito de gradería en actividades recreacionales y el estanque de detención que es rodeado por diferentes circuitos peatonales, canales vegetados y jardines de lluvia. Mientras que el corte B-B (figura 37), muestra los jardines de lluvia que son responsables de la infiltración de la escorrentía superficial, un recorrido de viviendas techadas por el borde norte, pasarelas elevadas, estanque de detención, canales vegetados que conducen el agua a estanques que los lleva de vuelta a los jardines de lluvia. En este corte también se muestra la propuesta de paisajismo con árboles y arbustos preferentemente nativos y autóctonos de la zona. Ambos cortes A-A' y B-B', muestran cómo la morfología de la plaza proyectada se comprende como una cavidad multifuncional, en la que las aguas lluvias ingresan por sus bordes, funcionando como circuito del transcurso del agua.

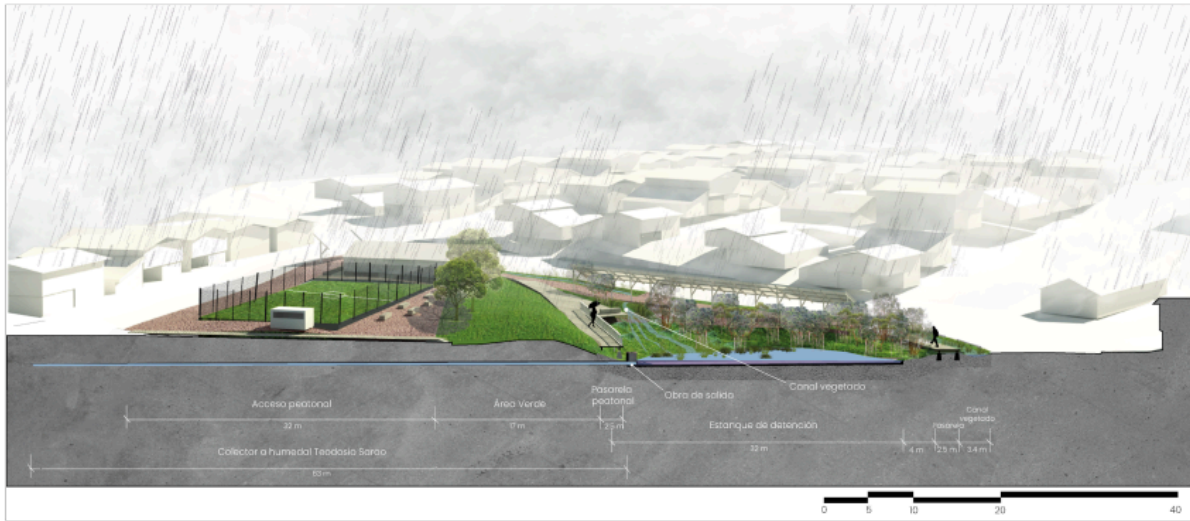


Figura 36, Corte A-A de la plaza Villahermosa.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

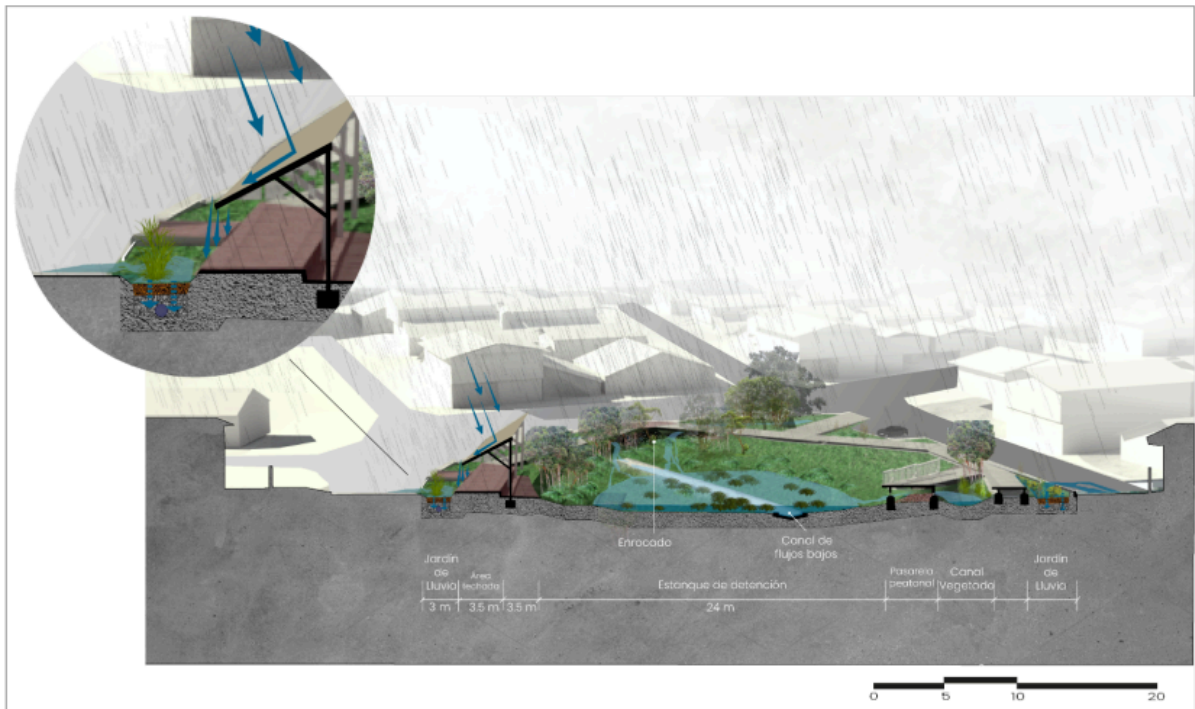


Figura 37, Corte B-B de la plaza Villahermosa y detalle de techumbre.
Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

Es fundamental para que este proyecto funcione adecuadamente que las aguas lluvias ingresen sin problemas ni obstáculos a la plaza, para esto se proyectaron rebajes de soleras en todos los contornos, como se muestra en la figura 38. Estos canales vegetados tienen como función principal el conducir las aguas hasta el estanque de detención.

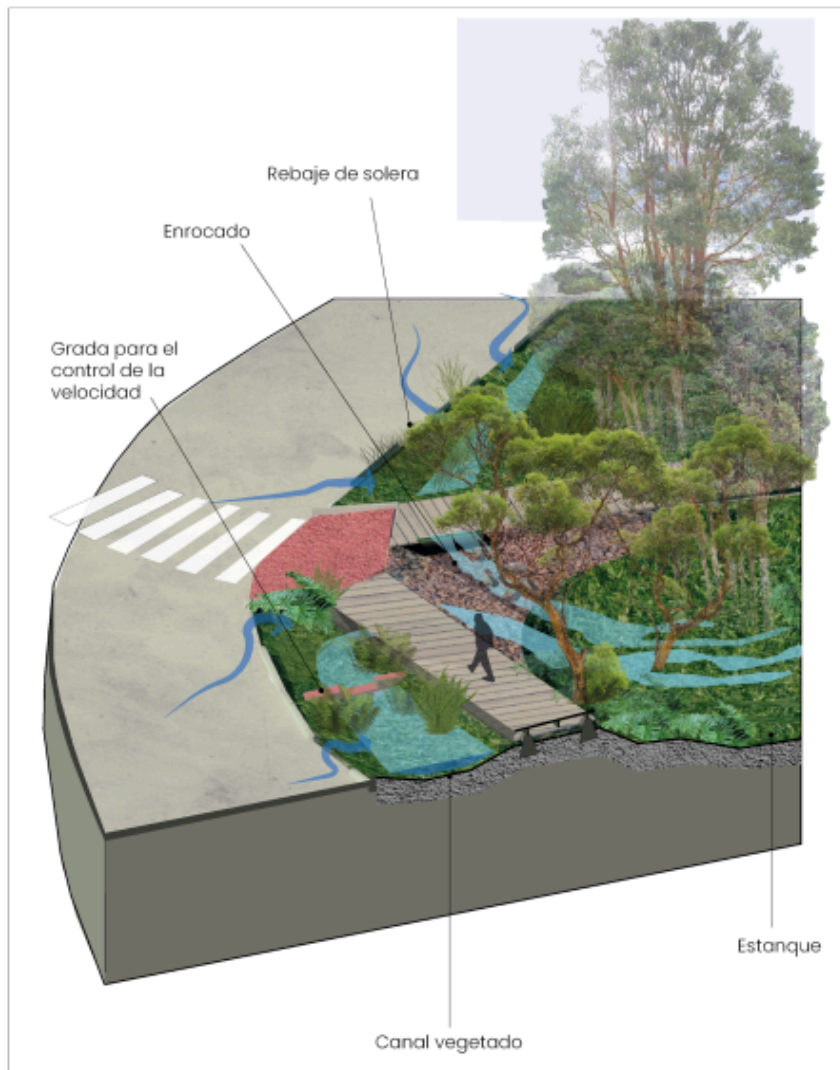


Figura 38, Detalle del empalme entre la calle y plaza por medio de rebaje de soleras y canal veteado.
 Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

El estanque de detención es fundamental para que se pueda descargar el volumen acumulado en la plaza. Este está compuesto por una cámara de hormigón con dos orificios y un vertedero, aperturas que están ubicadas a diferentes alturas, con el fin de poder controlar el volumen de agua en diferentes tormentas (figura 39).

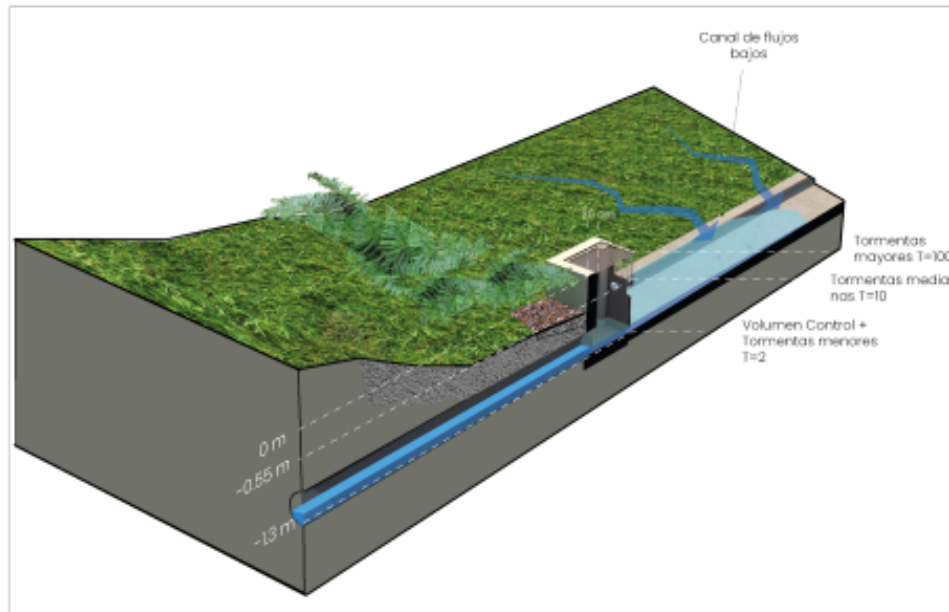


Figura 39, Detalle de la obra de salida del estanque de detenciones y sus 3 niveles de despiche de aguas.

Fuente: Ciudades Sensibles al Agua Vol III. Borrador mayo 2022.

4.3 Objetivo N°3

En el primer objetivo se estudió el avance de la mancha urbana de la ciudad y se revisó el Plan Regulador Comunal de Llanquihue. En el segundo objetivo se analizó el proceso desarrollado por el Borrador del Volumen III de la guía para la implementación de drenaje sostenible, en el cual se hace un estudio y caracterización de los cuerpos de agua que forman parte del drenaje urbano natural de la ciudad, e identifica las zonas de infiltración o exfiltración del agua. Con el cruce de esta información, a desarrollar en este tercer objetivo, es posible relacionar e inferir consecuencias de la planificación de la ciudad en la red de drenaje natural de la ciudad de Llanquihue.

La importancia de esta relación está dada por la necesidad de conocer tanto los usos de suelos existentes y sus características como los niveles de impermeabilización de estos. El diseño de soluciones puntuales y su planificación a nivel urbano dependen de ello. Es decir, la superposición de ambos estudios permitirá tomar decisiones asertivas con resultados efectivos para la mejora de la forma de habitar ciudades lacustres de forma respetuosa y sustentable.

Como primer paso para lograr esto, se debe entender la forma en que se drena el agua en la ciudad. Entender el sistema que conforman las subcuencas, escorrentías y su relación con las napas y su profundidad permitiría la planificación del flujo de aguas a través de la infraestructura existente y proyectada.

Como ya ha sido descrito anteriormente, los humedales y esteros forman parte fundamental dentro de la red de drenaje natural de la ciudad, ya que cumplen con la función de guiar e infiltrar las aguas lluvias. Como múltiples autores señalan, el cambio en el uso de suelo de las ciudades debido a su crecimiento expansivo provoca cambios en la infiltración y recarga de los cuerpos de agua. Esto se debe principalmente al nivel de impermeabilización del suelo, que según el estudio llevado a cabo por Patagua, puede llegar al 85% de impermeabilización en zonas de alta densidad habitacional.

Los instrumentos de planificación territorial muestran (como es en este caso el Plan Regulador Comunal con sus modificaciones actuales) que al superponer la información de la zonificación de los usos de suelo, nombrados en el objetivo N°1, en relación a el área donde en los meses de lluvia la napa freática se encuentra sobre el nivel del suelo, se puede observar (figura 43) que esta área coincide mayormente con las zonas HA y HB las cuales corresponden a zonas preferentemente residenciales.

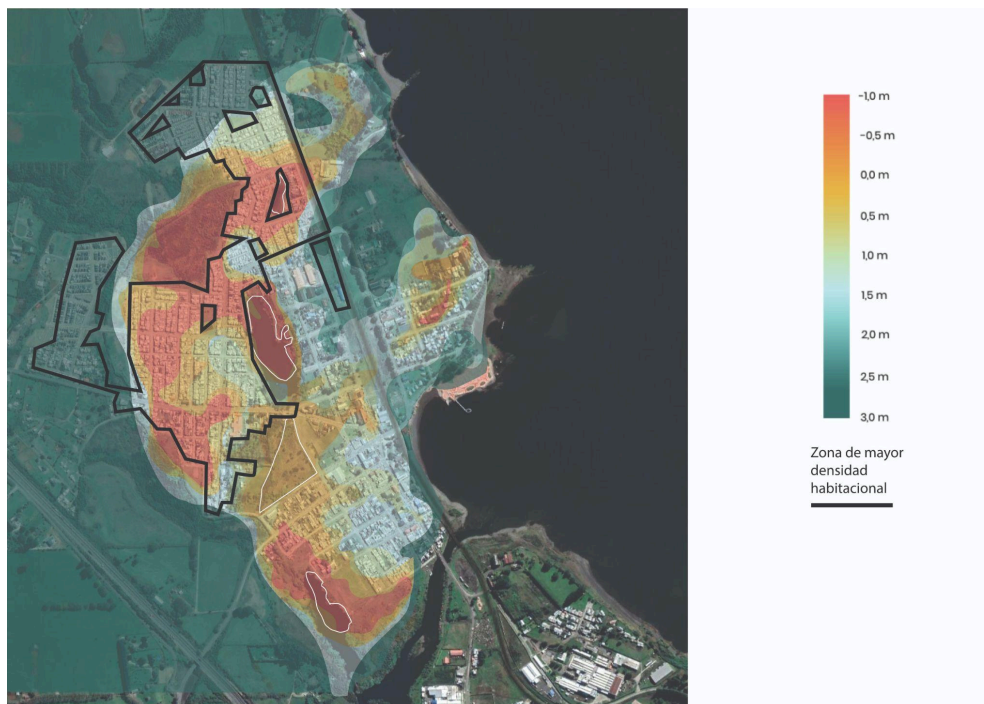


Figura 40, Relación entre la profundidad de la napa freática en Agosto de 2017 y la zonificación del Plan Regulador Comunal y sus modificaciones. Fuente: Elaboración propia con base a información desarrollada en el Volumen III, 2022.

En relación a esta problemática, dentro de los resultados a los que se llegó en el proceso de análisis de antecedentes en el Volumen III, fue el efecto que la impermeabilización tiene sobre la profundidad de las napas freáticas en la ciudad de Llanquihue. La mayor impermeabilización del suelo, coincide con la menor profundidad de la napa freática. Esto tiene un impacto directo en la capacidad del suelo de infiltrar las aguas lluvias.

Para respaldar esta afirmación, los estudios ya realizados muestran entre sus resultados dos meses de simulación, entre agosto del 2017 y febrero de 2018 en la ciudad de Llanquihue. En estas simulaciones se pueden ver áreas de diferentes colores, que representan el nivel de la napa subterránea en relación al nivel del suelo. Las áreas anaranjadas, amarillas y verdes representan profundidades positivas, esto significa que el agua se encuentra bajo el nivel del suelo. Pero en el caso de las áreas de colores rojos representan profundidades negativas, lo que significa que la altura del agua puede encontrarse sobre el nivel del suelo (Figura 41 y 42).

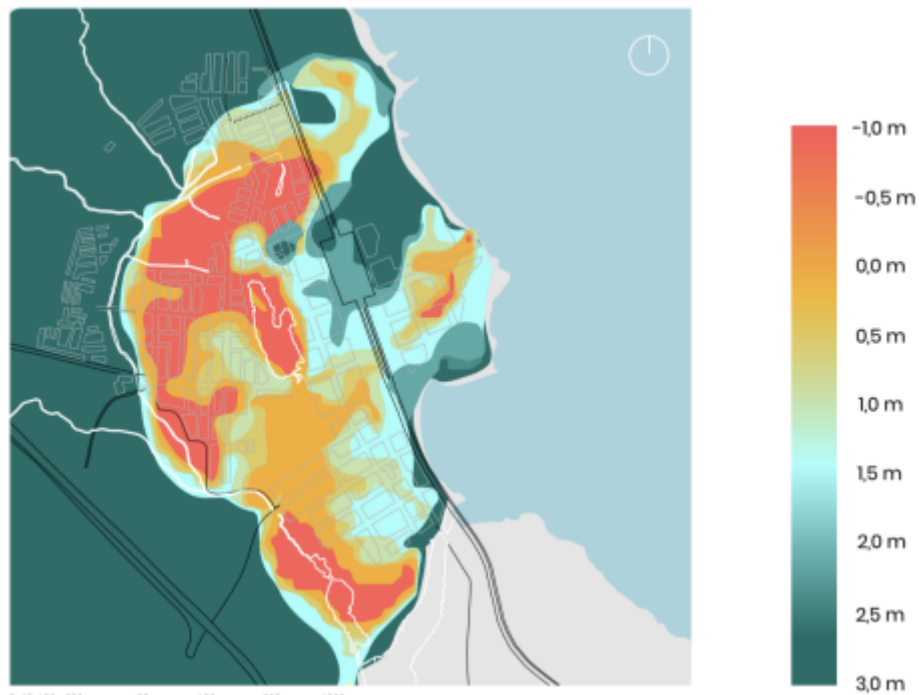


Figura 41, Profundidad de la napa freática en Agosto de 2017. Fuente: Volumen III, 2022.



Figura 42, Profundidad de la napa freática en Febrero de 2018. Fuente: Volumen III, 2022.

Se utiliza la figura de la profundidad de la napa freática del periodo de Agosto, el cual es el periodo más lluvioso, para ser comparado con el uso de suelo más denso, que en este caso corresponde al uso habitacional denso en la zona norte de Llanquihue. Esta superposición de información como se puede ver en la Figura x, nos muestra cómo gran parte de la zona más impermeabilizada de la ciudad se encuentra donde la napa freática es más elevada.

En términos prácticos, esta evidencia muestra que la planificación de la ciudad trae como consecuencia la impermeabilización del suelo en zonas donde la profundidad de la napa freática naturalmente tiene capacidad de infiltrar el agua. Estos datos deben ser considerados para la realización tanto de proyectos o infraestructuras como de instrumentos de planificación territorial que deseen promover la infiltración. Esta última debería ocurrir, según recomendaciones del estudio de patagua, en zonas en que la napa esté al menos a 1,5 m de profundidad o más.

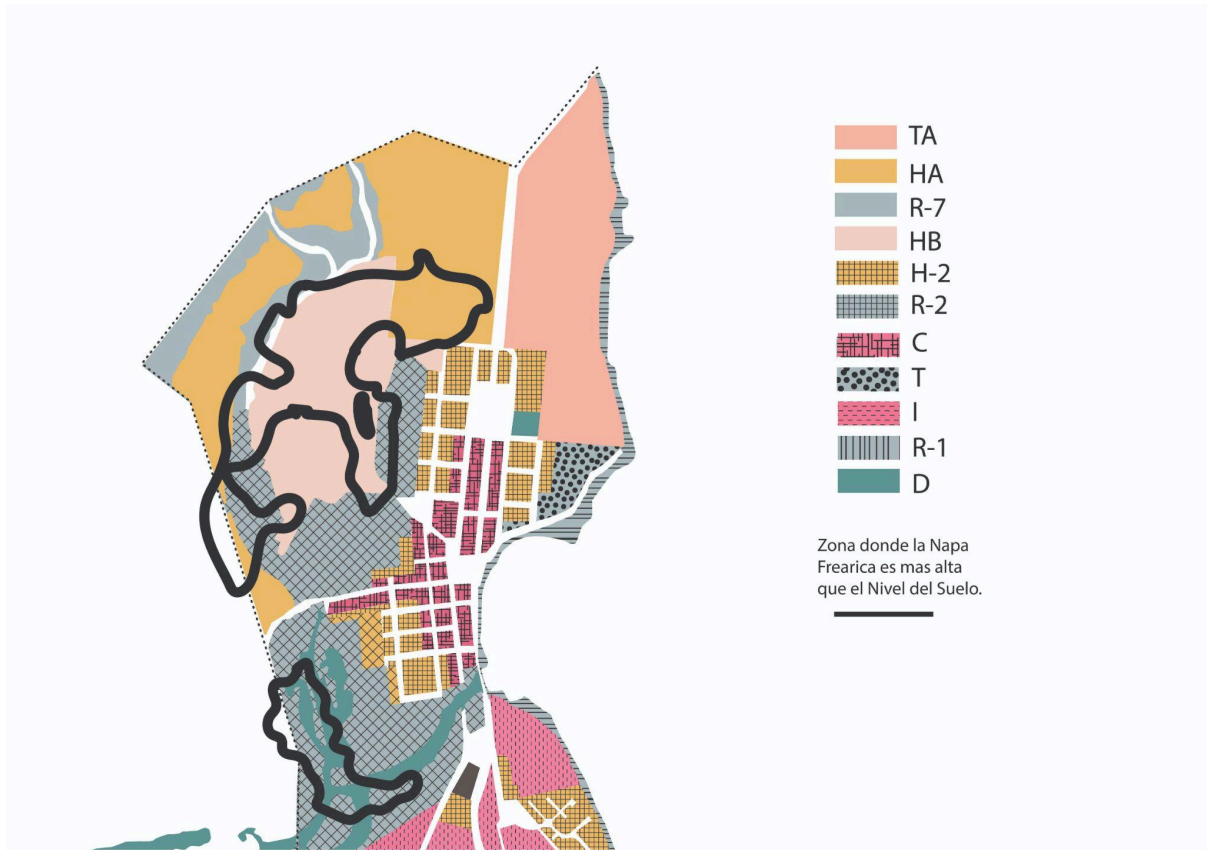


Figura 43, Relación entre la profundidad de la napa freática en Agosto de 2017 y el uso de suelo habitacional denso. Fuente: Elaboración propia con base a información desarrollada en el Volumen III, 2022.

Es aquí donde los estudios acerca de las zonas en donde ocurre hoy la recarga subterránea toman especial importancia. Conocer, caracterizar y mapear estas zonas ayudará a la planificación de estrategias de diseño sustentable en ciudades lacustres. La información obtenida proporciona lineamientos para drenar el agua en la ciudad considerando la capacidad del suelo de cada zona de recibir el agua, recargar napas y proteger el sistema de humedales sin afectar aún más este ecosistema.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el mapeo de la recarga de la napa subterránea y la infiltración del agua, entendida como el movimiento del agua desde el interior del suelo hacia la atmósfera, usualmente como evaporación. Las siguientes figuras muestran los resultados entre los meses de Agosto del 2017 y Febrero del 2018. En este se puede observar como la zona donde se ubica el uso de suelo de vivienda de alta densidad impermeabiliza en un 100% los procesos de recarga y exfiltración del agua. Mientras que en las áreas donde aún existe una cubierta vegetal este proceso se mantiene activo.

6. Conclusiones

Para concluir este seminario de investigación se expondrán en primer lugar las observaciones generadas en relación a cada objetivo, para luego exponer las observaciones generales de la investigación.

En primer lugar, dentro de las observaciones del primer objetivo, se puede decir que si existe un crecimiento de la mancha urbana en el periodo de tiempo analizado y que existen usos de suelo comercial a las afueras del límite urbano establecido por el Plan Regulador Comunal. Los cuales se caracterizan por su ubicación fragmentada en el territorio, esto nos permite afirmar que la ciudad de Llanquihue se expande insosteniblemente.

En el segundo objetivo podemos observar como las estrategias de drenaje sostenible propuestas en el borrador del Volumen III seleccionan las áreas a proyectar en relación a problemas de inundación, generados por la permeabilización del suelo, por lo que proponen diferentes estrategias según el contexto y la preexistencia en la zona para poder drenar el agua lluvia, en algunos casos si es posible infiltrando o en otras redirigiendo a diferentes humedales. Utilizando estas estrategias no solo como solución a la problemática de inundación si no también permitiendo el uso de estas áreas como espacios públicos.

En tercer lugar se pudo observar como desde los instrumentos de planificación no se logra tener una visión sistemática del territorio, ya que estos instrumentos sólo resguardan las zonas colindantes a los cuerpos de agua, sin entender que estos se encuentran conectados por redes subterráneas, relacionadas entre ellas. Por lo que planifican zonas de alta densidad sin considerar por ejemplo en nivel de la napa freática, generando serios problemas tanto medioambientales como para los habitantes.

Es vital que en estos tiempos, donde el recurso hídrico se vuelve más escaso debido a las recurrentes sequías en el país, que se tenga en cuenta dentro de la planificación de las ciudades el diseño urbano sensible al agua. Y que no solo se comiencen a proyectar estas estrategias de diseño para solucionar problemáticas, sino también para prevenir. Es por eso la importancia de poder aprender de casos de estudios donde estas estrategias ya se están proponiendo y poniendo en práctica, aún más cuando estas se desarrollan en el país.

7. Bibliografía

- Barros, J., (2004). "Urban Growth in Latin American Cities Exploring Urban Dynamics through Agent-Based Simulation," Ph.D. Thesis, University of London, London.
- Boland P, Bronte J, Muir J (2017) On the waterfront: neoliberal urbanism and the politics of public benefit. *Cities* 61:117–127
- Booth, Derek. (1991), "Urbanization and the natural drainage System:Impacts, solutions and Prognosis." *The Northwest Environmental Journal* 7, no. 1, pp. 93-118
- Bruegmann R (2005) *Sprawl: a compact history*. University of Chicago Press, Chicago
- Burton, E. (2000) The potential of the compact city for promoting social equity, in: K. Williams , E. Burton and M. Jenks (Eds) *Achieving Sustainable Urban Form*, pp. 19-29. London : E & FN Spon.
- CIRIA C521. (2000). *Sustainable urban drainage systems, design manual for Scotland and Northern Ireland*. CIRIA, London.
- CIRIA C697. (2007). *The SUDS Manual*. CIRIA, London.
- CIRIA C687. (2010). *Planning for SUDS-making it happen*. CIRIA, London.
- CONAF, (2006). *Los humedales y la importancia de conservarlos*. Ministerio de Agricultura.
- Dockerill B, Sturzaker J (2019) Green belts and urban containment: the Merseyside experience. *Plan Perspect* 35:583–608.
- Ducci M, Gonzalez M (2006) Anatomía de la expansión de Santiago, 1991–2000' [Anatomy of Santiago' s expansión, 1991–2000]. In: Galetovic, A. (ed), *Santiago: Dónde estamos y hacia dónde vamos*, [Santiago: where do we are and where do we go]. Centro de Estudios Públicos, 123–46. Santiago, Chile
- Fundación Chile. (2018). *Radiografía del agua: Brecha y riesgo hídrico en Chile. Escenarios hídricos 2030*, Chile.
- Fundación Legado Chile. (2020). *Plan de conservación de los humedales urbanos de Llanquihue*. 146p.
- Garreaud, R., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J.P., (2017). The 2010-2015 mega drought in Central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation.
- Grimes A, Liang Y (2009) Spatial determinants of land prices: does Auckland's metropolitan urban limit have an effect *Appl Spat Anal Policy* 2(1):23–45
- Hedgecock, D., Mouritz, M., (1993). *Water sensitive residential design*.
- Hidalgo, R., Arenas, F., "From Urban Country to Metropolitan. Recent Transformation in the Chilean Cities," del libro *Urban country to Metropolitan*, GEOlibro, Pontifical Catholic University of Chile, Santiago, 2009, pp. 9-29.
- Hidalgo, R., Arenas, F., (2009). "From Urban Country to Metropolitan. Recent Transformation in the Chilean Cities,"
- Hidalgo, R., Mattos, C., Arenas, F., (2009). *From Urban country to Metropolitan*, GEOlibro, Pontifical Catholic University of Chile, Santiago, pp. 9-29.
- I. Municipalidad de Llanquihue (1988), *Plan Regulador Comunal de Llanquihue*.
- INE. (2017). *Censo de Población y Viviendas*.
- Jenks, M., Burton, E. and Williams, K. (1996) *The compact city, A Sustainable Urban Form?* london: E & FN Spon.
- MINVU (2017), *Observatorio Urbano*.

- Patagua, Fundación Legado Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. (2022). Ciudades sensibles al agua: Guía de drenaje urbano sostenible para la macrozona sur de Chile. Volumen III.
- Pawe CK, Saikia A (2020) Decumbent development: urban sprawl in the Guwahati Metropolitan Area. *India Singap J Trop Geogr* 41(2):226–247
- Pérez, F. (2006). Santiago. Dónde estamos y hacia dónde vamos. *EURE (Santiago)*, 32(97). <https://doi.org/10.4067/s0250-71612006000300009>
- Phelps NA (2015) *Sequel to suburbia: glimpses of America's post-suburban future*. MIT Press
- RAMÍREZ, C.; SAN MARTÍN, C. M. y RUBILAR, H. Una propuesta para la clasificación de humedales chilenos. *Revista Geográfica de Valparaíso*, 2002, N° 32-33, p. 265-273
- RAMÍREZ, C.; SAN MARTÍN, C. M. y RUBILAR, H. (2002) Una propuesta para la clasificación de humedales chilenos. *Revista Geográfica de Valparaíso*, N° 32-33, p. 265-273
- Rodríguez, M. I., Cuevas, M. M., Martínez, G., y Moreno, B. (2014). Planning criteria for water sensitive urban design. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*
- Rodríguez, L. (2009). Chile: del país urbano al país metropolitano. *AUS*, 6, 89–107. <https://doi.org/10.4206/aus.2009.n6-09>
- Rodríguez, L. (2009). Chile: del país urbano al país metropolitano. *AUS*, 6, 89–107. <https://doi.org/10.4206/aus.2009.n6-09> .
- Romero, H. and Ordenes, F. (2004), *Emerging urbanization in the Southern Andes: Environmental Impacts of Urban Sprawl in Santiago de Chile on the Andean Piedmont*. *Mountain Research and Development*, Vol.24 N°3 August 2004:195-199 (Revista ISI)
- Romero, H., Mendes, F.H., Ferreira da Silva Filho, D., (2020). Cambio Climático adverso provocado por la urbanización sin planificación ni evaluación ambiental en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*
- Romero, H., Moscoso, C. y Smith, P. 2009. Lecciones y conclusiones sobre la falta de sustentabilidad ambiental del crecimiento espacial de las ciudades chilenas. En “Chile: del país urbano al país metropolitano”, Hidalgo, R., De Mattos, C., Arenas, F. (Editores). Serie GEOlibros N°12 Colección EURE-Libros. Instituto de Geografía e Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile. 89-110p.
- Romero, H. y Vásquez, A. La comodificación de los espacios urbanizables y la degradación ambiental en Chile. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2005b, N° 194.
- Romero, H. y Vásquez, A. (2005), La comodificación de los espacios urbanizables y la degradación ambiental en Chile. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2005b, N° 194.
- Sharma, S. (2017). EFFECTS OF URBANIZATION ON WATER RESOURCES-FACTS AND FIGURES. *International Journal of Scientific and Engineering Research*.
- Sharma, S. (2017). EFFECTS OF URBANIZATION ON WATER RESOURCES-FACTS AND FIGURES. *International Journal of Scientific and Engineering Research*.
- Silva, C., Vergara, F., (2021). Determinants of urban sprawl in Latin America: evidence from Santiago de Chile.

- Sieverts T (2003) *Cities without cities. An interpretation of the Zwischenstadt*. Spon Press, London.
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., Pugh, T. A. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*.
- Trivelli P (2015) Algunas reflexiones sobre la Política Nacional de Desarrollo Urbano, la Economía Urbana y el financiamiento de las ciudades. en *La ciudad que queremos*. pp 85–108. Biblioteca del Congreso Nacional. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. Chile.
- United Nations, “World Urbanization Prospects,” Department of Economic and Social Affairs, 2007. <http://esa.un.org/unpd/wup/index.htm>.
- Wamsler, E Brink, C Rivera, (2013) Planning for climate change in urban areas: from theory to practice. *Journal of Cleaner Production* 50, 68-81
- Wong, T.H.F., Brown, R.R., (2009) The water sensitive city: Principles for practice.
- World Resources Institute- WRI. (2015). Ranking the world’s most water-stressed countries in 2040.