

**Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería Agrícola**



**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA
NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

DANIELA CONSTANZA NAVARRETE ROMERO

PROYECTO DE HABILITACIÓN
PROFESIONAL PRESENTADO A LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
AGRICOLA DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

CHILLÁN – CHILE

2023

**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA
NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

Aprobado por:

José Luis Arumi Ribera
Ingeniero Civil, Ph.D.
Profesor Titular

Profesor Guía

Nicole Uslar Valle
Ingeniero Civil Agrícola, Ph. D.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

Ana María Aguilar Bazignan
Ingeniero constructor, Ph. D.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

José Luis Arumi Ribera
Ingeniero Civil, Ph.D.
Profesor Titular

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, especialmente a mis padres por apoyarme siempre en cada decisión que tomo, y enseñarme que con trabajo y dedicación se puede lograr todo lo que uno se proponga, a mis hermanas Katy, Sandy, Javi y Vale por ser mi zona segura y acompañarme en este proceso universitario que, aunque duro más de lo esperado siempre se mantuvieron al pie del cañón conmigo.

A las amigas que hice durante estos 5 años, por todos los buenos y malos momentos, por las tardes de estudio, risas e historias interminables, atesorare cada uno de estos momentos y espero haber dejado una huella en ustedes en este proceso universitario.

A mis amigas de la vida Belén, Lis y Cami por mantenerse a mi lado siempre, darme ánimos cuando quería tirar la toalla y creer en mí, aunque a veces ni yo lo hacía.

Agradezco al Dr. José Luis Arumí, por acompañarme en este proceso de investigación, brindando su experiencia, guiándome con mucha paciencia para que este trabajo resultara lo mejor posible.

Al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM), por darme la oportunidad de ser becario del proyecto ANID/FONDAP/15130015.

Y, por último, pero no menos importante a Charlotte mi gatita, por acompañarme en las noches de estudios y ser mi soporte emocional en muchas ocasiones durante tus 16 años de vida.

ÍNDICE DE MATERIAS

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	OBJETIVOS	6
2.1	Objetivo general	6
2.2	Objetivos específicos	6
3.	ANTECEDENTES GENERALES	7
4.	METODOLOGÍA.....	9
5.	ESTUDIO DE CASOS DE INFRAESTRUCTURA VERDE EN CONTEXTO INTERNACIONAL Y NACIONAL.....	10
5.1	Experiencias internacionales	10
5.1.1	Agencia de Protección Ambiental.....	10
5.1.1.1	Campus RainWorks:	10
5.1.1.2	Asistencia técnica en diversos proyectos:.....	12
5.1.1.3	Empápate de lluvia:	14
5.1.2	Unión europea.....	15
5.1.2.1	Estrategia de Infraestructura verde:	16
a)	Alemania: intervenciones en Leipzig.....	16
b)	Países bajos: motor de arena	17

c) Austria: Proyecto LIFE+.....	17
5.2 Experiencias nacionales.....	18
5.2.1 Santiago Sistema de Infraestructura Verde:	18
6. CONTRIBUCIÓN DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	22
6.1 Jardines de lluvia urbano:	22
6.2 Huertos urbanos:.....	26
6.3 Corredores verdes:.....	28
6.4 Techos verdes:.....	30
6.5 Cerros islas:.....	32
6.6 Sistema urbano de drenaje sostenible:.....	34
6.7 Reforestación urbana:	37
6.8 Restauración de humedales urbanos:	38
7. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA: AVANCES Y DESAFÍOS EN CHILE.....	41
7.1 Cerros islas y parques urbanos:	41
7.2 Contraste en la implementación de humedales urbanos como SbN: ..	46
7.2.1 Laguna Avendaño:.....	46
7.2.1 Parque de la Naturaleza Humedal Río Maipo:	49

8.	DISCUSIÓN:.....	53
9.	CONCLUSIÓN:.....	54
10.	LITERATURA CITADA.....	56
11.	ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama metodológico de este trabajo de investigación.	9
Figura 2.	Maqueta del primer lugar de la Universidad de Maryland en el Campus RainWorks Challenge 2021.	11
Figura 3.	Vista esquemática del filtro de árbol típico.....	13
Figura 4.	Herramienta de divulgación de infraestructura verde destinada a municipalidades y comunidad de EE. UU.	15
Figura 5.	Metodología proyecto Santiago infraestructura verde.	18
Figura 6.	Zona de intervención influencia áreas verdes actuales en buen estado y propuestas.	20
Figura 7.	Propuesta de punto a intervenir Avenida Lo Ovalle.....	20
Figura 8.	Propuesta de punto a intervenir Avenida Del Ferrocarril.	21
Figura 9.	Propuesta de punto a intervenir Avenida El Parrón.	21
Figura 10.	Ejemplo de proyecto de jardín de lluvia.	23
Figura 11.	Zona anegable de un jardín de lluvia.	23
Figura 12.	Zona seca de un jardín de lluvia.	24
Figura 13.	Matriz FODA frente al cambio climático de proyectos de jardín de lluvia.....	25
Figura 14.	Matriz FODA frente al cambio climático de proyecto de huerto urbano.....	27
Figura 15.	Matriz FODA frente al cambio climático de proyecto corredores verdes.....	30

Figura 16.	Matriz FODA frente al cambio climático de proyecto de techos verdes.	32
Figura 17.	Matriz FODA frente al cambio climático de la presencia de cerros islas en las ciudades de Chile.	34
Figura 18.	Matriz FODA frente al cambio climático de proyectos sistema urbano de drenaje sostenible.	36
Figura 19.	Matriz FODA frente al cambio climático de reforestación urbana.	38
Figura 20.	Matriz FODA frente al cambio climático de restauración de humedales urbanos.	40
Figura 21.	Cerro isla La Ballena (Las Vizcachas).	44
Figura 22.	Plan Maestro “Parque Cerro La Ballena”.	44
Figura 23.	Proceso de declaración de humedal urbano a nivel nacional.	47
Figura 24.	Principales actores que participaron en restauración de Humedal Rio Maipo.	52

ÍNDICE DE TABLAS

En el texto

Tabla 1.	Principales actores en el desarrollo del Plan Maestro “Parque Cerro La Ballena”.....	45
Tabla 2.	Actores involucrados en el proceso de declaración de humedal urbano “Laguna Avendaño”.....	48

En el Anexo

Tabla A 1.	Principales problemas para resolver en proyecto de la universidad de Maryland para el concurso RainWorks Challenge 2021.....	62
Tabla A 2.	Potenciales soluciones identificadas en el proyecto de la universidad de Maryland para el concurso RainWorks Challenge 2021.....	63
Tabla A 3.	Tipos de techos verdes existentes en Chile.....	65

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF NATURE-BASED SOLUTIONS FOR THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE

Palabras clave: Soluciones Basadas en la Naturaleza, Infraestructura Verde, Matriz FODA, Proyectos.

RESUMEN

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se inspiran en la naturaleza para abordar desafíos ambientales, sociales y económicos. La infraestructura verde (IV) es un ejemplo tangible de estas soluciones, aplicándolas en contextos urbanos y rurales para mejorar la vida en comunidades. El estudio revisó casos exitosos a nivel nacional e internacional para demostrar su efectividad en diferentes entornos geográficos.

Se identificaron ocho SbN con potencial para Chile y se evaluaron mediante una matriz FODA, analizando sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Dos soluciones se estudiaron a profundidad en la región centro y sur de Chile, considerando normativas aplicables y programas existentes.

A pesar del potencial de las SbN para mitigar el cambio climático y aumentar la resiliencia, su implementación enfrenta obstáculos como la falta de coordinación entre actores y amenazas como la urbanización y la

inconsistencia en políticas. Esto destaca la necesidad de colaboraciones estratégicas para su aplicación efectiva

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF NATURE-BASED SOLUTIONS FOR THE MITIGATION OF CLIMATE CHANGE

Keywords: Nature Based Solutions, Green Infrastructure, SWOT matrix, Projects.

SUMMARY

Nature-based solutions (NbS) draw inspiration from nature to address environmental, social, and economic challenges. Green infrastructure (GI) stands as a tangible example of these solutions, applying them in urban and rural settings to enhance community life. The study examined successful cases at both national and international levels to demonstrate their effectiveness across diverse geographical contexts.

Eight NbS with potential for Chile were identified and evaluated using a SWOT matrix, analyzing their strengths, opportunities, weaknesses, and threats. Two solutions were extensively studied in the central and southern regions of Chile, considering applicable regulations and existing programs.

Despite the potential of NbS to mitigate climate change and enhance resilience, their implementation faces obstacles such as lack of coordination among stakeholders and threats like urbanization and policy inconsistency. This underscores the necessity for strategic collaborations to effectively apply these solutions.

1. INTRODUCCIÓN

En un mundo que enfrenta desafíos ambientales cada vez más urgentes, la búsqueda de enfoques innovadores y sostenibles para el desarrollo urbano y rural se ha convertido en una prioridad global. En este contexto, las “Soluciones Basadas en la Naturaleza” (SbN) y la “Infraestructura Verde” han emergido como conceptos clave que combinan la sabiduría de los ecosistemas naturales con la ingeniería y el diseño humano. Estas estrategias no solo ofrecen respuestas efectivas a problemas como el cambio climático, la degradación del entorno y la calidad de vida de las comunidades, sino que también promueven una relación más armoniosa entre las personas y el entorno en el que habitan. Las Soluciones Basadas en la Naturaleza se fundamentan en la idea de que los sistemas naturales proporcionan una serie de servicios esenciales para el bienestar humano, como la purificación del aire y del agua, la protección contra inundaciones y la biodiversidad. Al capitalizar estos servicios, las SbN buscan abordar desafíos ambientales y sociales de manera eficiente y sostenible. La Infraestructura Verde, por su parte, es una manifestación tangible de estas soluciones, que integra elementos naturales como la vegetación, el agua y los hábitats en el diseño y la planificación urbana y rural. Chile, como muchos otros países, ha abrazado estas ideas como un medio para abordar sus propios desafíos ambientales y sociales a través de la implementación de proyectos que aborden esta temática se busca no solo fortalecer su resiliencia frente a los impactos del cambio climático, sino

también mejorar la calidad de vida de los habitantes y al mismo tiempo contribuir a la conservación de una rica biodiversidad y a la preservación de sus paisajes naturales únicos

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar la aplicación de SbN para mitigación del cambio climático en la zona centro sur de Chile.

2.2 Objetivos específicos

- Sintetizar información bibliográfica sobre infraestructura verde
- Describir los alcances de las SbN para la mitigación y adaptación del cambio climático
- Analizar la aplicación de las SbN en el ámbito público y privado

3. ANTECEDENTES GENERALES

El cambio climático es un concepto que está en el centro de la atención científica desde mediados del siglo XIX y es definido por las Naciones Unidas como “los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos”, en materia legislativa Chile es uno de los primeros países de Latinoamérica que tiene una ley respecto a este tema, promulgando la ley N°21.455 “Ley marco de cambio climático” en el año 2022, la cual establece la meta de carbono neutralidad y la resiliencia para el 2050. También reconoce los principios de no regresión y de progresividad e incorpora los principios de enfoque ecosistémico, equidad y justicia climática, territorialidad, transparencia y participación (El Mostrador, 2022). Sin embargo, recientemente han tomado relevancia algunas acciones complementarias, basadas en reducir emisiones y potenciar la captura y secuestro de carbono en los ecosistemas. Esta relevancia se explica porque son transversales a una variedad de sectores, como la agricultura, la ganadería, el sector forestal y la pesquería, entre otros; porque generan múltiples co-beneficios para la biodiversidad (incluidos) los seres humanos y los servicios que proveen los ecosistemas; y porque potencian la adaptación al cambio climático (Marquet, Pablo A., Maisa Rojas, Alejandra Stehr, Laura Farías, Humberto González, Juan Carlos Muñoz, Elizabeth Wagemann, Carolina Rojas, Ignacio Rodriguez y Jorge Hoyos ., 2021).

Estas acciones complementarias son las llamadas soluciones basadas en la naturaleza (SBN), que según Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) se define como “acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados, que abordan los retos de la sociedad, por ejemplo, el cambio climático, la seguridad alimentaria y del agua o los desastres naturales, de forma eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad”. Estas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: las relacionadas con las masas forestales, las relacionadas con las tierras agrícolas y pastizales, las relacionadas con humedales y masas de agua y finalmente las relacionadas con ciudades y población urbana (Arauz & Marzo, 2021), de esta última se desprende la denominada infraestructura verde la cual se define como “una estrategia de planificación y diseño territorial que utiliza soluciones basadas en la naturaleza para crear y mejorar los espacios urbanos y rurales de forma sostenible” (Benedict & McMahon, 2006). En lo concreto, corresponde a un sistema interconectado de espacios verdes diversos que sostienen una variedad de funciones y beneficios ambientales, sociales y económicos.

4. METODOLOGÍA

En Chile, las soluciones basadas en la naturaleza abordan diversos ejes y dan soluciones a diversas temáticas. La metodología de este trabajo de investigación se basa en la búsqueda de información sobre este tema, incluyendo infraestructura verde y el posterior análisis de un grupo de ellas frente al escenario de cambio climático que se afronta a nivel mundial, para finalmente estudiar diversos proyectos que incluyan este concepto en Chile, determinando la normativa asociada, y principales beneficiarios (Figura 1).

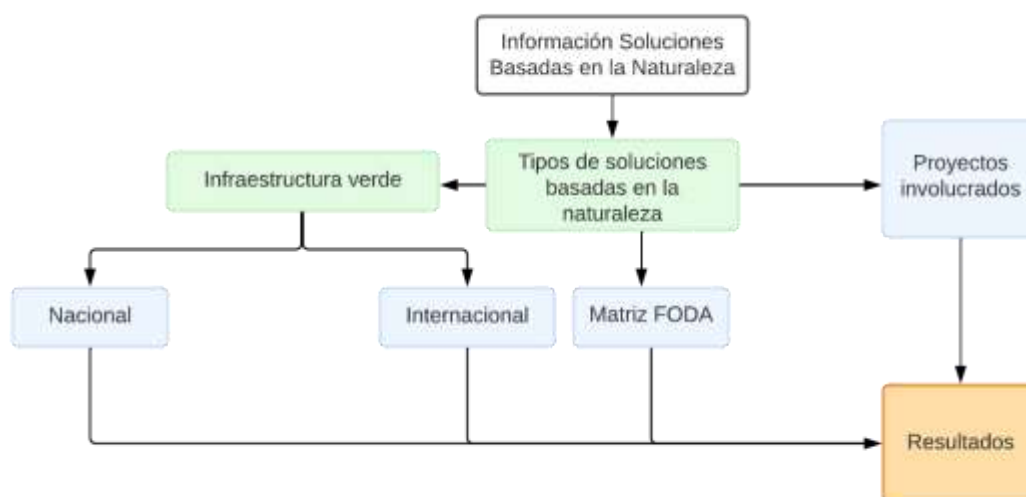


Figura 1. Diagrama metodológico de este trabajo de investigación.

5. ESTUDIO DE CASOS DE INFRAESTRUCTURA VERDE EN CONTEXTO INTERNACIONAL Y NACIONAL.

Este capítulo examina casos de éxito en infraestructura verde a nivel internacional y nacional, destacando su papel en la resolución de desafíos ambientales y urbanos, involucrando a la comunidad. Estos ejemplos ilustran la diversidad y eficacia de las soluciones basadas en la naturaleza en diferentes entornos geográficos.

5.1 Experiencias internacionales

5.1.1 Agencia de Protección Ambiental

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos cuenta con diversos programas y plataformas para promover la realización de proyectos que involucren la infraestructura verde algunos de los cuales se detallan a continuación.

5.1.1.1 Campus RainWorks:

El Campus RainWorks Challenge es una competencia de diseño de infraestructura verde para colegios y universidades estadounidenses que busca involucrarse con la próxima generación de profesionales ambientales, fomentar un diálogo sobre la necesidad de técnicas innovadoras de gestión de aguas pluviales y mostrar los beneficios ambientales, económicos y sociales de las prácticas de infraestructura verde. Esta competencia requiere que los

equipos identifiquen un tema relevante para sus propios campus; establecer sus propias metas y objetivos para abordar ese tema; y creen un diseño que demuestre cómo las estrategias de infraestructura verde pueden cumplir metas y objetivos al mismo tiempo que administran la escorrentía de aguas pluviales de manera efectiva y brindan otros beneficios a largo plazo. A modo de ilustración, en Anexo 1 se presentan las principales problemáticas (Tabla A 1) y potenciales soluciones del proyecto (Tabla A 2) que resultó ganador del concurso el año 2021 (Figura 2).



Figura 2. Maqueta del primer lugar de la Universidad de Maryland en el Campus RainWorks Challenge 2021.

Fuente: EPA. (2021). Campus RainWorks Challenge Results

5.1.1.2 Asistencia técnica en diversos proyectos:

La EPA ha publicado una serie de memorandos de políticas que fomentan el uso de infraestructura verde para cumplir con los requisitos reglamentarios, así como una serie de Agendas Estratégicas que describen las acciones que la Agencia está tomando para promover esta temática. Un tema central de las Agendas recientes es la participación de las comunidades locales a través de asociaciones comunitarias y programas de asistencia técnica; a continuación, se presenta un estudio de caso donde la EPA brindó asistencia técnica de infraestructura verde a la comunidad de Fall Rivers, Massachusetts (US EPA, 2023).

- Principales problemáticas del caso:

La ciudad costera de Fall River, ubicada en Massachusetts, se enfrenta al desafío de la calidad del agua debido a su antiguo sistema de alcantarillado combinado¹. A pesar de mejoras recientes en infraestructura, aún persisten desbordamientos de alcantarillado en ciertas zonas, donde las soluciones convencionales no son factibles debido a restricciones de recursos y limitaciones para implementar proyectos de gran escala.

- Soluciones a problemáticas

¹ Transporta las aguas residuales sanitarias (líquidos y residuos procedentes del agua procedentes de residencias, edificios comerciales, complejos industriales, etc.) y aguas de superficie/pluviales en la misma tubería.

La ciudad de Fall River enfrenta problemas con su infraestructura de drenaje vieja y en constante reparación. Para abordar esto, se propone reemplazar estos elementos defectuosos con filtros de árboles de bajo costo (Figura 3). Estos filtros no solo reemplazarían la infraestructura obsoleta, sino que también ayudarían a reducir el flujo de aguas pluviales hacia el sistema de alcantarillado y apoyarían la plantación de árboles en las calles, mejorando el entorno urbano. Los filtros de árboles, similares a la bioretención², son cajas de hormigón con un medio filtrante donde crecen árboles pequeños. Estos filtros retienen agua de lluvia, reducen contaminantes y apoyan el crecimiento de árboles en entornos urbanos.

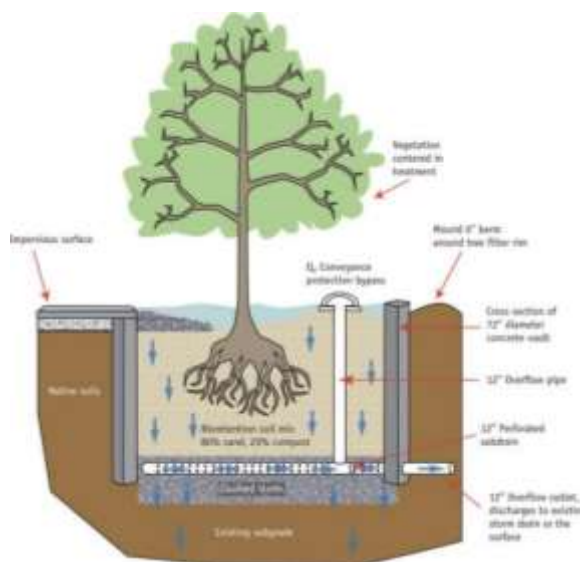


Figura 3. Vista esquemática del filtro de árbol típico.

² Es el proceso en el que los contaminantes y la sedimentación se eliminan de la escorrentía del agua de lluvia

Fuente: EPA. (2023). Green infrastructure implementation in Fall River, Massachusetts.

5.1.1.3 Empápate de lluvia:

Soak Up the Rain es un programa de divulgación pública para crear conciencia sobre los muchos beneficios de la infraestructura verde (US EPA, 2023). Este sitio web presenta herramientas de divulgación, seminarios web y muchos otros recursos para alentar a individuos y grupos a tomar medidas con respecto a la reducción de la escorrentía contaminada con apoyo de la infraestructura verde.

Algunos de los recursos que destacan son las herramientas de divulgación (Figura 4) destinadas para las municipalidades y comunidades de EE. UU dando información gráfica de lo que se trata y abarca la infraestructura verde. Por otro lado, existe múltiple información con respecto a las alternativas de infraestructura verde que pueden ser implementadas por la población general en sus barrios o residencias destacando los beneficios y la reducción de costos a largo plazo que cada una de estas posee.



Figura 4. Herramienta de divulgación de infraestructura verde destinada a municipalidades y comunidad de EE. UU.

Fuente: EPA. (2023). Soak up the rain.

5.1.2 Unión europea

La Unión Europea (UE) promueve activamente la infraestructura verde como parte integral de su estrategia ambiental. Esta aborda la creación y conservación de espacios verdes urbanos, la restauración de ecosistemas, y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza. La UE destina financiamiento y políticas de apoyo para fomentar la infraestructura verde, contribuyendo así a la sostenibilidad, la biodiversidad y la mitigación del cambio climático en sus estados miembros, algunos de los cuales se detallan a continuación:

5.1.2.1 Estrategia de Infraestructura verde:

Este instrumento político europeo, establecido en 2013, tiene como objetivo principal fomentar la implementación de infraestructura verde en áreas urbanas y rurales de la Unión Europea (UE). Surge en concordancia con la Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020, centrada en la restauración y promoción del uso de la infraestructura verde. Se busca restaurar la salud de los ecosistemas, mantener la conexión de áreas naturales y permitir el florecimiento de especies en su hábitat natural para proporcionar servicios ecosistémicos para la sociedad, el medio ambiente, la biodiversidad y la economía. Un aspecto clave de esta estrategia es integrar la infraestructura verde en diversas políticas, como la Política Agrícola Común, la Directiva Marco del Agua, la Directiva sobre Inundaciones, entre otras. De esta estrategia se derivan iniciativas de infraestructura verde implementadas por estados miembros, algunas de las cuales se detallan a continuación (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

a) Alemania: intervenciones en Leipzig

La ciudad de Leipzig ha implementado una serie de intervenciones locales, incluida la creación de corredores verdes, el 'Anillo verde', la gestión de la llanura aluvial de Parthe e inversiones en el desarrollo de parques y la conversión de áreas abandonadas en espacios urbanos verdes. En el área de Paunsdorf, se desarrolló un 'Arco verde' (una cadena de espacios verdes que

rodean una gran área de viviendas de alta densidad), y los búfalos de agua ahora forman parte de un paisaje de estanques y pantanos.

b) Países bajos: motor de arena

El Sand Motor en la costa de Delfland se creó en 2011 como un banco de arena artificial en forma de península que cubre 128 ha. Los procesos naturales (viento y corrientes) redistribuyen la arena gradualmente a lo largo de la pared de la orilla, la playa y las dunas. Una evaluación realizada en 2016 reveló que Sand Motor ha creado una zona costera más amplia, y una variedad de plantas, aves y otros animales se han asentado en el nuevo y atractivo paisaje costero. La zona también juega un papel importante como lugar de ocio para los amantes de la naturaleza y los deportistas

c) Austria: Proyecto LIFE+

El proyecto LIFE³, se ejecutó desde enero de 2015 hasta diciembre de 2020, tuvo como objetivo restaurar los bosques aluviales y de ribera en el valle de Wachau, una de las últimas secciones de flujo libre del Danubio austríaco, y mejorar el estado de conservación de varias especies protegidas bajo el Hábitat.

³ Es un instrumento de la Unión Europea (UE) para financiar proyectos de conservación medio ambientales y el desarrollo de políticas y legislación comunitaria en materia medioambiental.

5.2 Experiencias nacionales

5.2.1 Santiago Sistema de Infraestructura Verde:

Este proyecto busca el desarrollo de un plan de infraestructura verde para Santiago que ofrezca una oportunidad para catalizar el interés colectivo en espacios verdes de distinto tipo y escala, y articular las diferentes iniciativas públicas, privadas y ciudadanas con una mirada estratégica de planificación integrada. Este proyecto cuenta hasta la fecha con 6 etapas distribuidas en 2 fases (Figura 5).



Figura 5. Metodología proyecto Santiago infraestructura verde.

Fuente: Santiago I.V (s.f).

En la etapa 6 se da ejemplo un de proyecto detonante y experiencia piloto donde se propone la recuperación de espacios para el desarrollo de

infraestructura verde de Pedro Aguirre Cerda y Lo Espejo. El área de estudio se encuentra encajonada por la Autopista Central en ambos lados (este y oeste) y la Autopista Vespucio Sur Express. Esto divide las comunas internamente, aislándolas de las comunas vecinas. A esto se suma la presencia de la vía ferroviaria, que cruza ambas comunas en sentido norte-sur. Por tanto, la conectividad intercomunal e interna presentan dificultades que afectan al peatón, que debe transitar por un territorio fragmentado en cuatro zonas desconectadas. Por otro lado, el Transantiago posee alta cobertura, pero la ausencia de metro dificulta la conectividad con el resto de la ciudad. El fin de este proyecto es aumentar las áreas verdes presentes en ambas comunas interviniendo en el área de estudio aumentando de 68,3 ha a 253,11 ha, donde destacan zonas con potencial intervención como sitios eriazos con 82,15 ha, línea de alta tensión con 14,1 ha y cementerio con 51,9 ha (Figura 6). Donde algunas áreas a intervenir son Avenida Lo Ovalle (Figura 7), Avenida Del Ferrocarril (Figura 8) y Avenida El Parrón (Figura 9), entre otras.

Actualmente existe una serie de iniciativas respecto a la planificación y gestión de espacios verdes en Santiago, llevadas adelante por una diversidad de servicios públicos, empresas y grupos de la sociedad civil, siendo este programa un piloto para que mejore la calidad de vida de los habitantes de la región Metropolitana.



Figura 6. Zona de intervención influencia áreas verdes actuales en buen estado y propuestas.

Fuente: Santiago I.V (s.f).



Figura 7. Propuesta de punto a intervenir Avenida Lo Ovalle.

Fuente: Santiago I.V (s.f).



Figura 8. Propuesta de punto a intervenir Avenida Del Ferrocarril.

Fuente: Santiago I.V (s.f).



Figura 9. Propuesta de punto a intervenir Avenida El Parrón.

Fuente: Santiago I.V (s.f).

6. CONTRIBUCIÓN DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Este capítulo corresponde a un proceso de investigación destinado a analizar las variedades de soluciones basadas en la naturaleza presentes tanto en Chile como en otras naciones. El propósito de esta investigación es seleccionar un conjunto específico de estas soluciones con la intención de evaluar de qué manera pueden hacer frente al desafío del cambio climático. Este análisis se llevará a cabo al aplicar y examinar los aspectos internos y externos de cada solución a través de la utilización de una matriz FODA.

6.1 Jardines de lluvia urbano:

El jardín de lluvia es una tipología de la Infraestructura Verde, que se define como “una red interconectada de áreas naturales y otras áreas abiertas que conservan las funciones y valores ambientales manteniendo agua y aire limpios, proveyendo una alta gama de beneficios para la población y fauna silvestre” (Benedict & McMahon, 2002), son depresiones topográficas que reciben la escorrentía de agua de lluvia. El suelo, tratado con compuestos y otros insumos, como gravas, que aumentan su porosidad, actúa como una esponja para absorber el agua, mientras que los microorganismos y bacterias eliminan los contaminantes difusos que trae la escorrentía superficial (Vargas, 2017). Un proyecto de jardín de lluvia (Figura 10) puede contar con únicamente con zonas anegables (Figura 11), o la combinación de zonas anegables y

zonas secas (Figura 12), dependiendo de la necesidad y del diseño del jardín. Para las zonas anegables se utilizan especies semi-acuáticas, propias de humedales, y para las zonas secas especies resistentes y de poca mantención, preferencialmente autóctonas.

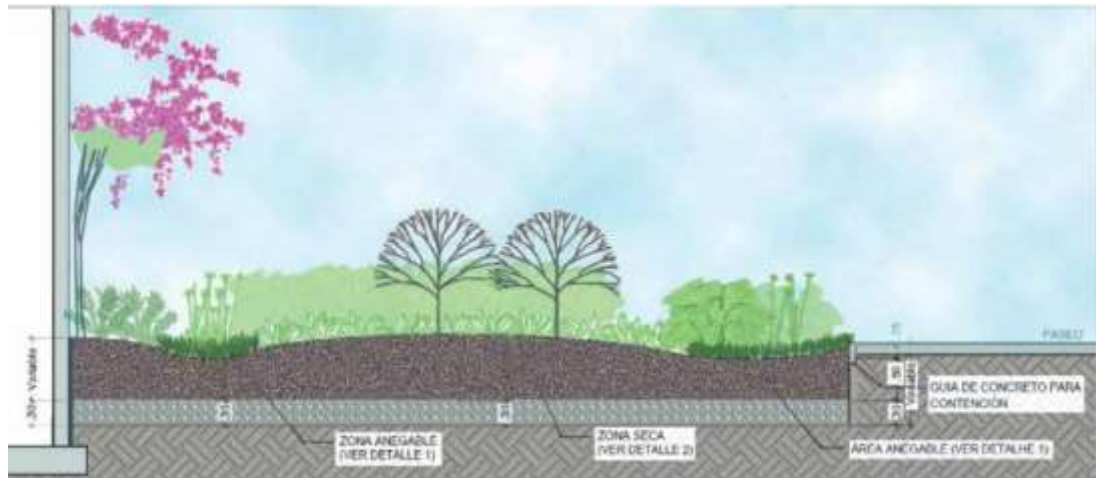


Figura 10. Ejemplo de proyecto de jardín de lluvia.

Fuente: Capbauno (s.f).

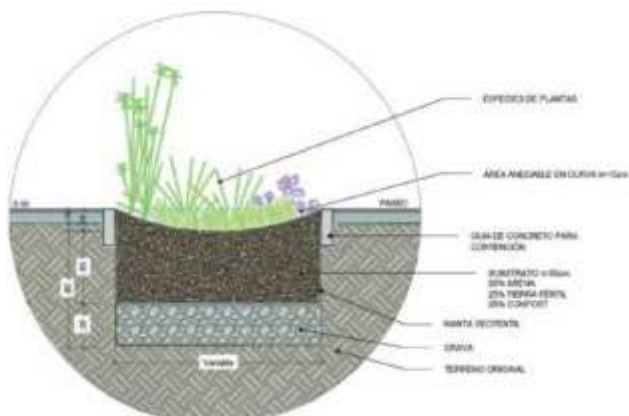


Figura 11. Zona anegable de un jardín de lluvia.

Fuente: Capbauno (s.f)

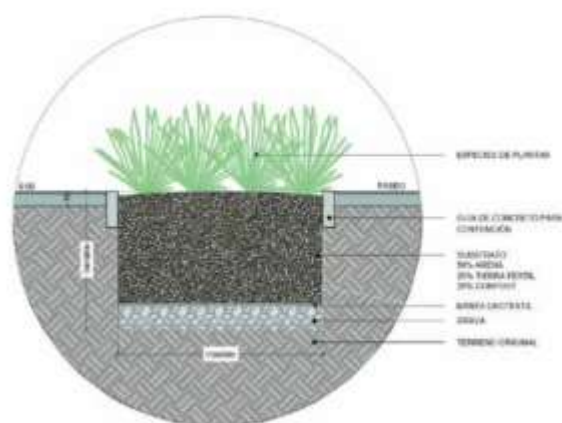


Figura 12. Zona seca de un jardín de lluvia.

Fuente: Capbauno (s.f)

Los Jardines de Lluvia aparecen como una alternativa de mitigación de cambio climático, pues al analizar la matriz FODA (figura 13) destaca como fortaleza la captura de carbono, ya que actúan como sumideros de carbono, ayudando a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o ayudan a la filtración de contaminantes presentes en el agua antes que lleguen al efluente, dentro de las oportunidades que presentan este tipo de proyectos destacan la concientización ambiental de la población, y aparecen como una alternativa frente a las limitaciones de espacio que representa la urbanización de los últimos años. Como debilidades se encuentran los costos iniciales y el mantenimiento continuo que representa este tipo de proyectos, ya que, para gobiernos regionales o municipalidades muchas veces el dinero asignado no contempla este tipo de proyectos. Y por último como amenaza se describe

escases de agua en zonas secas de Chile pues el riego necesario para los jardines de lluvia puede ser un desafío.

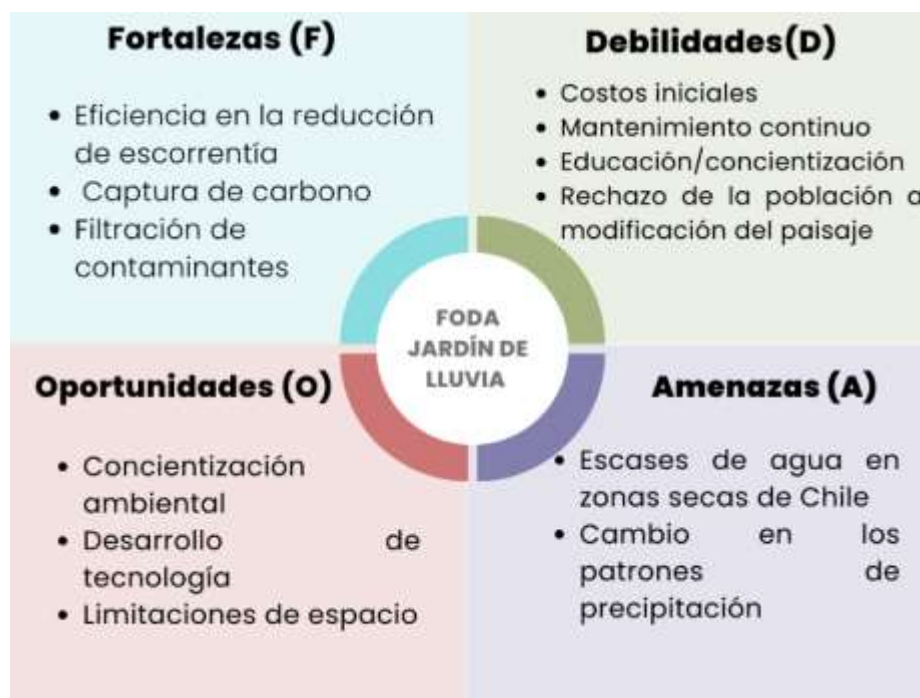


Figura 13. Matriz FODA frente al cambio climático de proyectos de jardín de lluvia.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, los jardines de lluvia son una estrategia de infraestructura verde que ofrece múltiples beneficios ambientales, muchos de los cuales están directamente relacionados con la mitigación del cambio climático. Su capacidad para reducir la escorrentía, secuestrar carbono y mejorar la calidad del agua los convierte en una herramienta valiosa en la lucha contra el cambio climático y la construcción de comunidades más resistentes.

6.2 Huertos urbanos:

A lo largo de la historia y en múltiples experiencias recientes, los huertos urbanos han servido como un recurso para mitigar los efectos adversos de crisis económicas, desastres naturales e incluso tensiones sociales, especialmente en naciones en vías de desarrollo, estos se definen según Smit, Ratta y Nasr (1996) como “el crecimiento de plantas y árboles ,en la franja de las ciudades (intraurbano o periurbano), incluyendo su cultivo, provisiones necesarias, así como posibles actividades de venta de sus productos y servicios”. Según Pearson (2010), a la anterior definición se le puede agregar que en la mayoría de los casos se utilizan métodos de producción intensiva, y que usualmente no incluye plantas utilizadas en el diseño de paisaje, sino cultivos hortícolas que producen alimentos (vegetales y frutas) y flores. Zaar (2011) incluye en su definición que los huertos urbanos normalmente se realizan dentro de las mismas propiedades (patios o terrazas de las viviendas), o en terrenos vacíos, y “es practicada exclusivamente por personas que viven y trabajan en las ciudades”. Estos ofrecen diversos beneficios y oportunidades a la comunidad, pero a su vez enfrenta diversas amenazas en su desarrollo, las cuales quedan a la descubierta en la matriz FODA realizada en este proyecto (Figura 14).



Figura 14. Matriz FODA frente al cambio climático de proyecto de huerto urbano.

Fuente: Elaboración propia

En las fortalezas de este tipo de proyectos destacan el acceso a alimentos frescos, pues serán producidos en áreas urbanas, reduciendo la necesidad de transporte de alimentos y disminuyendo las emisiones asociadas, por otro lado, se encuentra la resiliencia local pues estos pueden ayudar a las comunidades a ser más autosuficientes en tiempos de crisis, como desastres naturales o problemas económicos. En las oportunidades se encuentra la demanda creciente de alimentos, ya que el interés en los alimentos locales y sostenibles crea oportunidades para el crecimiento de los huertos urbanos. En las amenazas se puede mencionar los recursos limitados que estos proyectos

pueden enfrentar, pues la falta de financiamiento y recursos adecuados puede dificultar el desarrollo y mantenimiento de huertos urbanos. Finalmente, una de las principales amenazas que presenta este tipo de proyecto corresponde a el desinterés comunitario que va de la mano con la falta de información que se tiene sobre este tema, lo que dificulta la sostenibilidad de los huertos a largo plazo.

6.3 Corredores verdes:

Los corredores verdes representan un concepto en el diseño urbano, que busca transformar nuestras ciudades en lugares más habitables, sostenibles y conectados con la naturaleza según Ahern (1995) se definen como “redes de terreno conteniendo elementos lineales que son planificados, diseñados y gestionados para múltiples propósitos incluyendo ecológicos, recreacionales, culturales, estéticos u otros propósitos compatibles con el concepto de uso de suelo sustentable” De esta amplia definición se desprenden dos ideas centrales, primero la linealidad como configuración espacial de los corredores verdes, pues estos están asociados a componentes lineales del paisaje, ya sean naturales como cursos de agua o artificiales por ejemplo los bordes de caminos (Viles & Rosier, 2001) y segundo los corredores verdes proveen múltiples servicios y funciones ecológicas como corredores de especies, protección de hábitat, infiltración de aguas, entre otras y también sociales como la conexión de las personas con la naturaleza, aumentar la conectividad social, permitir la recreación, etc. (Hellmund & Smith, 2006). De esta manera,

los corredores verdes pueden permitir combatir la fragmentación social y ecológica dominante en las ciudades latinoamericanas (Aedo, 2016).

Al analizar la matriz FODA (Figura 15) de este tipo de proyectos algunas fortalezas que destacan son la mitigación del efecto de islas de calor pues ayuda a reducir las temperaturas urbanas y ahorra energía en climatización, por otro lado, promueve la biodiversidad, ya que estos espacios verdes ofrecen hábitats para la fauna urbana, promoviéndola en entornos urbanos. Al hablar de las oportunidades de este tipo de proyectos se encuentra la concientización del cambio climático que se entrelaza con la educación ambiental de la población. En las debilidades se menciona los costos iniciales del proyecto, planes estratégicos a largo plazo y costos de mantenimiento, estos tres conceptos van de la mano con los fondos gubernamentales que se designan a este tipo de proyectos, ya que muchas veces se prioriza destinar recursos a salud o educación de la región o comuna. Por último, en las amenazas se encuentra los cambios de patrones de lluvia, pues al enfrentar escenarios como lo es el fenómeno meteorológico de la “niña” o “niño” pueden dañar la implementación y el mantenimiento de los corredores verdes, y es por eso que se necesita una buena planificación a largo plazo, tomando en cuenta estos escenarios.

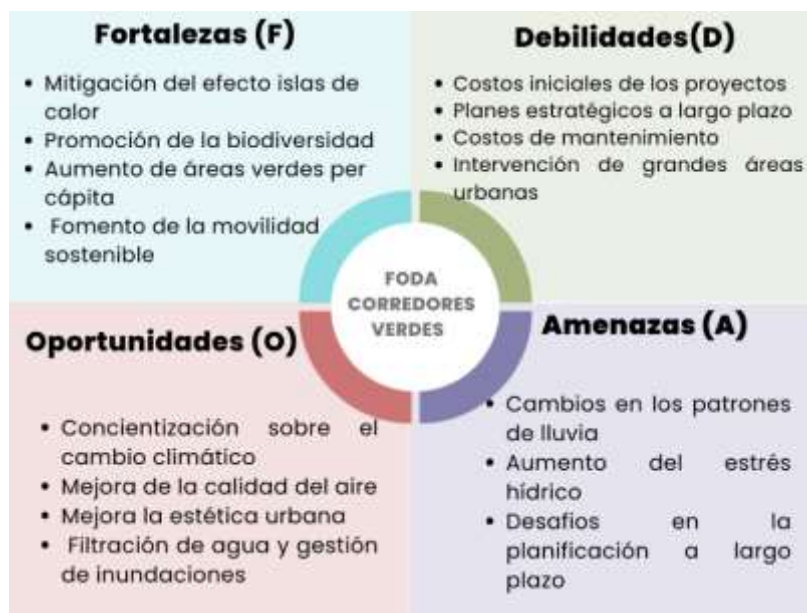


Figura 15. Matriz FODA frente al cambio climático de proyecto corredores verdes.

Fuente: Elaboración propia

6.4 Techos verdes:

Los techos verdes son una solución innovadora en la arquitectura y según la Norma Chilena N°3626:2020 se definen como “ una cubierta de edificios y otras construcciones destinadas a recibir vegetación, compuesta por un sistema de capas tecnológicas que aseguren el desarrollo de ésta y contribuyen con los objetivos ambientales que se propongan para cada proyecto, en balance con los criterios de sostenibilidad” de acuerdo a la profundidad del sustrato, la variedad de la paleta vegetal y los requerimientos hídricos y de mantención, los techos verdes son comúnmente categorizados en extensivos, semi-intensivos e intensivos, pero dependiendo del tipo de

proyecto y ubicación se puede dar una combinación de los tres, en el Anexo A 3 se muestran los principales tipos de techos verdes presentes en Chile (Tabla A4).

El objetivo del techo verde define el tipo de techo verde a instalar, lo que a su vez define la profundidad del sustrato, las características de las capas técnicas, las cargas que debe soportar la edificación y las especies vegetales utilizadas. Se define un techo verde como exitoso si al cabo de 15 meses logra un mínimo de 75% de cobertura vegetal.

Los techos verdes no solo son una práctica que transforma el paisaje urbano, sino que también desempeña un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, a continuación se analiza las fortalezas, oportunidades, debilidades, amenazas que presenta esta solución basada en la naturaleza (Figura 16), donde como fortaleza del proyecto destaca la retención de agua lluvia, como oportunidad el aumento de la demanda en el mercado de este tipo de SbN, pues la sociedad está cada vez más preocupada de los espacios verdes existentes en la ciudad, pero sin dejar de lado la gran inversión inicial que significa muchas veces llevar a cabo este tipo de proyectos, en espacios reducidos.



Figura 16. Matriz FODA frente al cambio climático de proyecto de techos verdes.

Fuente: Elaboración propia

6.5 Cerros islas:

Los cerros islas son características geográficas notables que se encuentran en diversas partes del mundo y desempeñan un papel importante tanto en el paisaje como en la ecología de la región. Muchas de las ciudades latinoamericanas (p. ej. Bogotá, Quito, Santiago) se asientan entre cerros, en valles caracterizados por suelos aluviales fértiles para la agricultura y con fácil acceso al agua, las que son condiciones propicias para el asentamiento de poblaciones. En Chile se identificaron 75 cerros dentro de las áreas urbanas o en su borde, en 12 de las 16 capitales regionales de Chile. De éstas, 10 tuvieron más de un cerro. De los 75 cerros, 32 corresponden a cerros isla urbanos propiamente tales (CIU), 24 son cerros isla que están en el borde

urbano (CIBU), rodeados mayormente de usos antrópicos o áreas sin vegetación (en las ciudades del norte) (Picon et. al, 2023). Estos cerros islas representan un diamante en bruto para diversos proyectos que ponen a la sociedad y al cambio climático como eje central, a continuación, se presenta una matriz FODA de esta solución basada en la naturaleza en el ámbito urbano (Figura 17).

Los cerros islas presentan notables fortalezas, como su resistencia a la erosión y su papel como refugios de biodiversidad única. Sin embargo, enfrentan debilidades relacionadas con su aislamiento ecológico ya que puede dificultar la migración de especies a medida que las condiciones climáticas cambian, lo que puede aumentar el riesgo de extinción local. A pesar de estas desventajas, ofrecen oportunidades valiosas para estudios climáticos y un potencial turismo sostenible. Las amenazas incluyen la pérdida de hábitats debido al comportamiento humano, lo que destaca la importancia de su conservación y manejo sostenible.



Figura 17. Matriz FODA frente al cambio climático de la presencia de cerros islas en las ciudades de Chile.

Fuente: Elaboración propia

6.6 Sistema urbano de drenaje sostenible:

El sistema urbano de drenaje sostenible es un enfoque en la gestión de aguas pluviales en áreas urbanas, los principales objetivos son:

- Proteger los sistemas naturales: proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje: maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.

- Proteger la calidad del agua: proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta: reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.
- Incrementar el valor añadido minimizando costes: minimizar el coste de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno (Mompalmer y Domech, 2008).

En Chile estas prácticas cada vez toman más protagonismo, pues el calentamiento global es un escenario que ha llevado a invertir en nuevas tecnologías y estudios para mitigar sus efectos, y es aquí cuando aparece este concepto. A continuación, se presenta una matriz FODA de este enfoque frente al cambio climático (Figura 18).



Figura 18. Matriz FODA frente al cambio climático de proyectos sistema urbano de drenaje sostenible.

Fuente: Elaboración propia

El Sistema Urbano de Drenaje Sostenible muestra fortalezas notables en la mitigación del cambio climático al reducir inundaciones, mejorar la calidad del agua y fortalecer la resiliencia urbana. Las oportunidades clave incluyen acceso a financiamiento y respaldo legal, junto con una creciente conciencia pública. Sin embargo, se enfrenta a desafíos como altos costos iniciales y mantenimiento, resistencia al cambio y presiones del desarrollo urbano. La elección inadecuada de vegetación también amenaza la efectividad, dependiendo de la zona de implementación en Chile. En resumen, aunque los SUDS tienen potencial para abordar desafíos climáticos urbanos, su éxito requiere superar debilidades y amenazas.

6.7 Reforestación urbana:

El establecimiento exitoso de nuevos árboles en ambientes urbanos se está convirtiendo cada vez más en un difícil desafío debido a la creciente presión de construir más viviendas en menos espacio (Barrell, 2006), aun cuando los árboles plantados, ya sea en calles, plazas o parques proporcionan importantes beneficios a la población. En el pasado los árboles en zonas urbanas eran considerados principalmente por el beneficio estético u ornamental, sin embargo actualmente los árboles se consideran como elementos que presentan múltiples beneficios, tales como, la absorción de contaminantes, reducción del ruido del tráfico, barreras cortaviento, refugio de fauna, reducción de la radiación solar a través de la sombra y la evapotranspiración, El gran desafío de toda ciudad es lograr la adecuada convivencia entre el desarrollo urbano y la naturaleza. Ello implica planificar el crecimiento de las urbes de tal modo que las especies vegetales cuenten con el espacio adecuado para establecerse y lograr un correcto desarrollo. Sin embargo, en muchas ciudades de Chile, el crecimiento ha significado la eliminación de la naturaleza para luego incorporarla artificialmente en los espacios y condiciones generados por el hombre sin considerar sus verdaderas necesidades de luz, agua, sustrato, temperatura y espacio (Fernández & Vargas, 2011). Se realizó una matriz FODA para estudiar el potencial de esta actividad frente al cambio climático (Figura 19), donde su análisis demuestra que para que la reforestación urbana sea efectiva en la

lucha contra el cambio climático, se requiere una planificación cuidadosa, el compromiso a largo plazo y la colaboración de múltiples partes interesadas



Figura 19. Matriz FODA frente al cambio climático de reforestación urbana.

Fuente: Elaboración propia

6.8 Restauración de humedales urbanos:

Los humedales incluyendo su vegetación y su espejo de agua cubren al menos el 10% del planeta (Davidson, N.C., Fluet-Chouinard, E., Finlayson, C.M., 201, 2018) son ecosistemas relevantes para el equilibrio ecológico y además son claves para enfrentar los desafíos que hoy impone a las sociedades el cambio climático, especialmente por sus funciones ecosistémicas, como el secuestro de carbono y la mitigación del impacto de las inundaciones, sobre todo cuando alrededor del 90% de los desastres naturales en el mundo se deben a peligros

relacionados con el agua (Ramsar, 2017) que empeorarán según las proyecciones del aumento en el calentamiento global (IPCC, 2014). En materia legislativa Chile promulgó en el año 2018 la ley de humedales urbanos (Ley N° 21.202), que establece la protección y restauración de estos eco sistemas en áreas urbanas, dando pie a que en diferentes ciudades del país se lleven a cabo diversos proyectos de restauración, que incluyen la eliminación de especies invasoras, la revegetación con especies nativas, la limpieza de cuerpos de agua y la creación de senderos y áreas de observación para la comunidad. En Chile hay diversos proyectos que buscan la restauración de estas áreas, pues como se indicó anteriormente, traen diversos beneficios, pero existen otros factores que influyen en el éxito de estos, los que se indican en la matriz FODA frente al cambio climático de a continuación (Figura 20).

Las fortalezas incluyen el aumento de la conciencia ambiental, la protección legal, la participación ciudadana y la preservación de valiosos ecosistemas naturales. Las oportunidades se centran en educar sobre su importancia y desarrollar tecnología para su restauración. Sin embargo, la contaminación, la falta de coordinación entre involucrados y la erosión son debilidades. Los conflictos de interés y la urbanización cercana representan amenazas significativas para estos proyectos.



Figura 20. Matriz FODA frente al cambio climático de restauración de humedales urbanos.

Fuente: Elaboración propia

7. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA: AVANCES Y DESAFÍOS EN CHILE

En este capítulo, se llevará a cabo la selección de tres Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) con el propósito de evaluar su viabilidad en los sectores público y privado en la región centro y sur de Chile. Se realizará un análisis exhaustivo del perfil de cada proyecto seleccionado como estudio de caso, se examinarán las normas y programas aplicables. Asimismo, se determinarán los principales destinatarios o beneficiarios de cada iniciativa.

7.1 Cerros islas y parques urbanos:

Los cerros islas específicamente, los pertenecientes a la región Metropolitana se definen dentro del artículo 5.2.3 del Plan Regulador Metropolitano de Santiago donde se indica que los Parques Intercomunales “Son áreas verdes de uso público o privado que pueden acoger actividades recreacionales, deportivas, de culto, culturales, científicas, de esparcimiento y turismo al aire libre; su alcance trasciende de los límites comunales de dos o más comunas.” Y el artículo 5.2.3.2 donde se identifica los Cerros Islas pertenecientes a la región metropolitana, donde se encuentra el cerro La Ballena, cuyo proyecto se estudiará a continuación.

El cerro La Ballena (Figura 21) se ubica al sur de la comuna de Puente Alto, muy próximo al río Maipo, siendo esta la comuna donde se presentan menor cantidad de acceso a áreas verdes per cápita de la capital (Fundación Mi

Parque, 2022); este cerro se caracteriza por tener una topografía alargada, cuyo relieve simula la forma de una ballena, que es de donde proviene su nombre. Posee una superficie total de 69 ha, una composición vegetal de tipo nativa y cobertura arbórea entre el 30% y 40%. Si bien, hace poco más de una década atrás el cerro estaba rodeado en su mayoría por terrenos agrícolas, para el año 2006, ya había comenzado la consolidación del condominio Brisas del Maipo, ubicado en el límite sureste del cerro. En el 2009 el límite noreste también comienza a verse urbanizado, para alcanzar hoy en día el cerro un contexto prácticamente urbano y de vivienda, a pesar de persistir todavía algunos terrenos agrícolas e industriales en sus alrededores. En el mismo artículo 5.2.3.2 del Plan Regulador de Santiago también se menciona que los usos de suelo permitidos son destinados a áreas verdes, recreacional, deportivo, culto, cultura, científico esparcimiento y turismo al aire libre, y estos deberán ser complementarios y compatibles y no podrán alterar su carácter de área verde, su valor paisajístico o su equilibrio ecológico.

En los últimos años, han existido múltiples iniciativas por parte del municipio para recuperar el cerro La Ballena como espacio público, estas intenciones datan desde el año 2014 con la postulación al concurso “Iniciativas para cerros islas en la Región Metropolitana” dirigido por el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, si bien no se ganó el concurso en aquella oportunidad, las intenciones de recuperar La Ballena no cesaron, en el año 2018 la Secretaria Comunal de Planificación Urbana (SECPLAN) en conjunto

con la consultora Allard Partners elaboraron una propuesta de Plan Maestro “Parque Cerro La Ballena”, proyecto base para iniciar conversaciones de recuperación, inversión y postulación a fondos regionales. A mediados del año 2019 el municipio presentó el Plan Maestro “Parque Cerro La Ballena” al Concejo, obteniendo la aprobación de todos los participantes. En el año 2020 ingresa como proyecto oficial, según su ficha del Banco Integrado de Proyectos (BIP), donde también se expone que el parque va en su fase de Prefactibilidad.

La propuesta (Figura 22) abarca diversas capas de intervención en cuanto a reforestación, accesos, circulaciones y zonificaciones programáticas. Se caracteriza principalmente por la tenencia de senderos y caminos peatonales, destinando gran parte de su superficie a la conservación ambiental y reforestación, transformando el cerro en un parque natural urbano. La reforestación es clave en la propuesta, ya que uno de los criterios base es la conservación de la biodiversidad, creando un parque natural que potencie las condiciones naturales presentes en el valle de Santiago.

Se propone que el cerro actúe como un “Museo Vivo”, asegurando la provisión de servicios ecosistémicos y buscando proteger las especies ambientales en mejor estado de conservación, generando nichos ambientales para flora y fauna. Respecto a la estrategia hídrica, la Municipalidad de Puente Alto posee derechos de agua sobre el Canal La Turca, por lo cual se propone el inicio del

sistema como una Laguna Desarenadora en la falda del cerro, que permitirá eliminar posibles sedimentos arrastrados por el agua.

Cuyo sistema ira hacia un tranque de acumulación, que a la vez crea un espejo de agua y humedal, de carácter ornamental. De esta manera, se facilita bombearlo a la segunda cima (más alta) y generar un riego por gravedad en todas las laderas.



Figura 21. Cerro isla La Ballena (Las Vizcachas).

Fuente: Cerro islas (s.f)



Figura 22. Plan Maestro "Parque Cerro La Ballena".

Fuente: Portal Puente alto (2023)

Este proyecto tiene diversos actores a nivel nacional, regional y local (municipal), algunos de los cuales se detallan en la Tabla 1, con sus respectivas entidades asociadas y atribuciones de cada una.

Tabla 1. Principales actores en el desarrollo del Plan Maestro “Parque Cerro La Ballena”.

Institución	Entidad	Atribución
MINVU	Programa de parque urbano	Desarrolla, administra y mantiene
	SERVIU	Ejecución, operación y mantención
CONAF	Programa de Arborización	Fomento del arbolado, parques urbanos y periurbanos en Chile
Municipalidad	Dirección de obras municipales	Resguardar zonas de valor natural

Fuente: Elaboración propia

Proyectos como el del “Cerro la ballena” ofrecen una gran oportunidad de construir una red interconectada de espacios verdes en este caso para la región Metropolitana, lo que contribuye a la conservación de una gran variedad de especies de flora y fauna nativa y endémica, acercando la naturaleza a la

cuidad, por lo que la restauración y protección de estos lugares debe tener mayor importancia en el futuro para mitigar los efectos negativo del cambio climático en la biodiversidad y la población de las grandes urbes.

7.2 Contraste en la implementación de humedales urbanos como SbN:

En el siguiente subcapítulo se estudiará el proceso de declaración de humedales urbanos en Chile, teniendo como caso de estudio dos humedales, cuyo proceso de implementación contrastan, pues ofrece una perspectiva única sobre la gestión y protección de estos ecosistemas vitales. destacando similitudes y diferencias en su declaración, enfoques de conservación y su integración en la estructura urbana

7.2.1 Laguna Avendaño:

Desde la puesta en marcha de la ley N° 21.202 “Ley Humedales Urbanos” se han declarado 33 de estos ecosistemas a nivel nacional; la implementación de esta ley también trajo consigo la modificación de diversos cuerpos legales con el objetivo de protegerlos, lo que están respaldados por el Decreto Supremo N° 15 el cual tiene por objeto establecer los criterios mínimos para la sustentabilidad de los humedales urbanos, para el resguardo de sus características ecológicas y su funcionamiento, y la mantención del régimen hidrológico, tanto superficial como subterráneo, integrando las dimensiones sociales, económicas y ambientales. Asimismo, establece el procedimiento (Figura 23) mediante el cual el Ministerio del Medio Ambiente declarará

humedales urbanos a solicitud de los municipios o de oficio, de conformidad con los preceptos de la Ley N° 21.202.

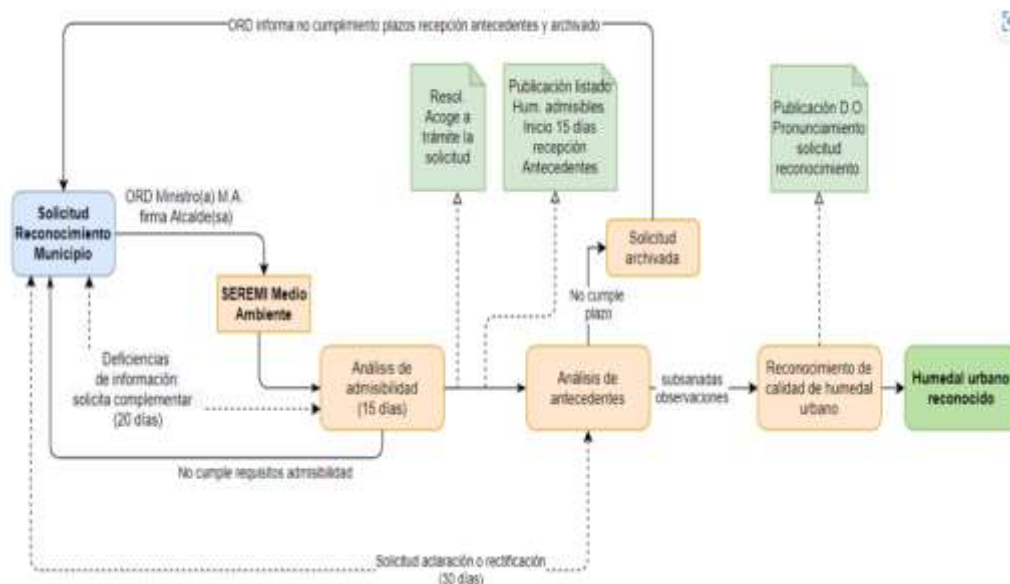


Figura 23. Proceso de declaración de humedal urbano a nivel nacional.

Fuente: Humedales Chile. (s. f.).

En el proceso de declaración de la Laguna Avendaño como humedal urbano participaron tanto diversas instituciones del estado como las diferentes comunidades aledañas, algunas de los cuales se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Actores involucrados en el proceso de declaración de humedal urbano “Laguna Avendaño”.

Institución	Entidad	Atribución
Municipalidad de Quillón	Alcaldía	Solicitud para declarar humedal urbano la Laguna Avendaño y entregar antecedentes necesarios
Ministerio del medio ambiente	SEREMI	Estudia la admisibilidad del proyecto y realiza trabajos en terreno para validar información entregada
Comunidad	Fundaciones	Entregar información científica que se considere importante para el proceso

Fuente: Elaboración propia

Para terminar este proceso y según el Art 15 del D.S.15/2020 las municipalidades deberán dictar, en el menor plazo posible, una ordenanza general que contenga los criterios para la protección, conservación y preservación de los humedales urbanos ubicados total o parcialmente, dentro

de los límites de su comuna. lo que a la fecha de la realización de esta investigación aún no ha sucedido para la comuna de Quillón.

Actualmente la laguna Avendaño a pesar de ser declarada humedal urbano en el año 2021, destacando el papel en el turismo y la preservación de especies de la zona, aun no cuenta con la protección suficiente, pues paralelo al proceso de declaración como humedal urbano, en el año 2021 fue incorporada a la Red Nacional de Control de Lagos de la DGA, medida que permite aplicar la norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. Pero en marzo del presente año y según el monitoreo realizado en el 2022 Laguna Avendaño recibe descargas de material fecal que superan hasta 92 veces la normativa (Salgado, 2023), y según los gremios asociados al turismo de la laguna acusan inacción de municipio frente a este tema (Valencia, 2023), no reconociendo el papel que tiene este humedal a nivel económico, social y medioambiental no tan solo para la comuna de Quillón sino para la región Ñuble.

7.2.1 Parque de la Naturaleza Humedal Río Maipo:

El Parque de la Naturaleza Humedal Río Maipo el cual fue creado el año 2002 por la Municipalidad de Santo Domingo, con el objetivo de proteger la biodiversidad presente en sus casi 40 hectáreas, y promover su uso en forma responsable y sustentable.

Poco después de su creación, la Municipalidad suscribió un convenio de cooperación con la Pontificia Universidad Católica de Chile, específicamente

con la Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), para mantener y potenciar el parque. Bajo este convenio se construyó el primer mirador u observatorio de aves (hoy, Mirador Pilpilén), siguiendo los lineamientos generales de la WWT (Wildfowl & Wetlands Trust del Reino Unido) para el diseño de este tipo de instalaciones. Desde entonces comenzaron a sumarse distintas iniciativas temporales de diversas entidades para aportar a la investigación y conservación del humedal, como la Universidad Santo Tomás y la Unión de Ornitólogos de Chile.

Años después, en 2014, Fundación Cosmos firmó un convenio de colaboración con la Municipalidad de Santo Domingo para colaborar con la gestión del parque, siguiendo estándares adecuados de conservación. El trabajo conjunto se tradujo en la habilitación del parque para recibir visitantes, en concreto, juntos lograron conformar un cuerpo permanente de guardaparques; construyeron infraestructura de acceso al lugar; instalaron señalética e implementaron programas de educación ambiental, turismo especializado en observación de aves y proyectos de investigación.

El trabajo conjunto de Fundación Cosmos y la Municipalidad llevó a ambas instituciones a firmar un comodato, en noviembre del 2018, para que Fundación Cosmos se hiciera cargo de la administración y gestión del Parque, contando siempre con el apoyo del municipio local. En su nuevo rol, Fundación Cosmos ha puesto en marcha un plan de desarrollo para promover las visitas

y la protección de este importante ecosistema, de tal forma que todos puedan acceder a él, conocerlo y valorarlo, sin afectar su integridad.

Paralelo a esto en enero del 2020 el Humedal Río Maipo, fue declarado santuario de la naturaleza, el 16 de septiembre de 2021, la Municipalidad de Isla de Maipo presentó solicitud de reconocimiento del humedal urbano río Maipo Isla de Maipo, con una superficie original de 1.730 hectáreas y 18 de enero de 2023, el Ministerio del Medio Ambiente dictó la resolución que declaró el Humedal Urbano Río Maipo de Isla de Maipo, quedando bajo la protección del Estado Chileno.

En este proyecto los principales actores (Figura 24), debieron trabajar en conjunto para lograr la restauración y posterior conservación de este humedal, siendo respaldado por las normativas ambientales que dicta el Estado sin dejar de lado la educación, para informar a la comunidad de los diversos beneficios que el cuidado de estos ecosistemas trae consigo.



Figura 24. Principales actores que participaron en restauración de Humedal Río Maipo.

Fuente: Elaboración propia

8. DISCUSIÓN:

Si bien las soluciones basadas en la naturaleza tienen un enfoque que buscan abordar problemas como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la resiliencia urbana, utilizando y fortaleciendo los sistemas naturales, estas no están exentas de desafíos para su implementación, pues a menudo requiere inversión, colaboración entre múltiples partes interesadas y un enfoque integrado en la planificación urbana y ambiental. Además, es esencial considerar los aspectos socioeconómicos y culturales para asegurar que estas soluciones sean inclusivas y beneficiosas para toda la comunidad.

En Chile las soluciones basadas en la naturaleza se considera un concepto nuevo, y poco a poco se ha ido integrando a nuevas normativas, pero a pesar de ello muchas veces los proyectos no llegan a buen puerto por falta de información o coordinación de las diferentes entidades ya sea del estado o entidades privadas, por otro lado en algunos casos sucede que el proyecto a desarrollar es poco convencional por lo que no cuenta con una norma o ley que la respalde, por lo que no son aprobadas por las instituciones correspondientes. Una solución para esto es en un futuro integrar de mejor forma a la academia para la toma de decisiones pues el intercambio continuo de conocimientos, la investigación aplicada y la formación de profesionales capacitados son fundamentales para abordar los desafíos ambientales de manera efectiva y sostenible.

9. CONCLUSIÓN

El estudio destaca las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como una estrategia clave en la zona centro sur de Chile para enfrentar el cambio climático. La infraestructura verde se muestra como una herramienta prometedora, involucrando a la comunidad científica, gobiernos y la población en general. La integración de espacios verdes en áreas urbanas, la restauración de zonas degradadas y la protección de corredores biológicos son estrategias fundamentales respaldadas por políticas gubernamentales en pro de la implementación de la infraestructura verde. Las SbN ofrecen potencial significativo para mitigar y adaptarse al cambio climático al reducir emisiones de gases y promover la resiliencia ante fenómenos extremos. Su fortaleza radica en su impacto en la educación ambiental y su involucramiento multisectorial, aunque la falta de coordinación entre actores y la competencia por recursos son desafíos notables.

Estas soluciones trascienden sectores, requiriendo colaboración entre gobiernos, empresas, ONG y comunidades. Proyectos exitosos demuestran su viabilidad y efectividad, instando a alianzas estratégicas para su expansión.

En resumen, las soluciones basadas en la naturaleza ofrecen una perspectiva completa y prometedora para abordar el cambio climático en la zona centro sur de Chile. Más allá de los beneficios ambientales y climáticos, su implementación conlleva impactos sociales y económicos significativos,

requiriendo una cooperación activa y políticas robustas para un futuro más sostenible y resistente en la región.

10. LITERATURA CITADA

1. Ahern, J. 1995. Greenways as a Planning Strategy. *Landscape and Urban Planning* 33(1): 131–155.
2. Aedo Alvarado, J. J. A. (2016). Corredores verdes en Santiago de Chile: tipos y usuarios.
3. Arauz, C., & Marzo, M. (2021). Las soluciones basadas en la Naturaleza como herramienta para mitigar el cambio climático. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, 127, 24-31.
4. Benedict, M. & McMahon, E. (2002) Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century.
5. Benedict, M. & McMahon, E. (2006). Infraestructura verde: Vinculando paisajes y comunidades. *Suelo urbano* (Vol. junio). Washington, DC: Island Press, p: 31-32
6. BARRELL, J. (2006). Traditional urban tree planting strategies: time for change Article for essential RB Issue 17. 6 pp. Barrel Tree Consultancy. United Kingdom.
7. Capbauno (s.f) Jardin de lluvia Recuperado de <https://old-site.capbauno.org/21/files/archivos/ejercicio-profesional/jardin-de-lluvia-low.pdf>

8. Davidson, N.C., Fluet-Chouinard, E., Finlayson, C.M., 2018. Global extent and distribution of wetlands: trends and issues. *Marine Freshwater Research*, 69, 620–627.
9. *Cerros Isla*. (s. f.). Recuperado de <https://www.cerrosisla.cl/>
10. EUROPEAN COMMISSION. (2019). Green infrastructure. Recuperado el 12 de agosto de 2023, de https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en
11. El Mostrador. (2022). Senado aprueba por unanimidad Ley Marco de Cambio Climático: incorpora el principio de justicia climática, Senado aprueba por unanimidad Ley Marco de Cambio Climático: incorpora el principio de justicia climática. Recuperado el 5 de agosto de 2023, de elmostrador.cl
12. EPA. (2021). Campus RainWorks Challenge Results. Recuperado el 31 de julio de 2023, de <https://www.epa.gov/green-infrastructure/2021-campus-rainworks-challenge-results#Second%20Place%20Demonstration%20Project%20Category>
13. EPA. (2023). Green infrastructure implementation in Fall River, Massachusetts. Reuperado el 31 de julio de 2023, de

<https://www.epa.gov/green-infrastructure/green-infrastructure-implementation-fall-river-massachusetts>

14. EPA. (2023). Soak up the rain US EPA. Recuperado de <https://www.epa.gov/soakuptherain#:~:text=Soak%20Up%20the%20Rain%20promotes%20green%20infrastructure%20practices,bringing%20about%20a%20broad%20range%20of%20community%20benefits.>
15. EUROPEAN COMMISSION (2019). Anexo de la comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones el pacto verde europeo. Recuperado de: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102>
16. Fernández, P. y Vargas, A. 2011. Conflicto entre arbolado e infraestructura. Revista Agronomía y Forestal UC N° 43. Pontificia Universidad Católica de Chile. 44 pp. Santiago, Chile.
17. Fundación Mi Parque, (2022). Puente Alto y El Bosque: las comunas con menor acceso a áreas verdes. Recuperado de <https://www.miparque.cl/es/puente-alto-y-el-bosque-las-comunas-con-menor-acceso-a-areas-verdes/>

18. Hellmund, P., Smith, D. 2006. *Designing Greenways: Sustainable Landscapes for Nature and People*. Washington, Estados Unidos: Island Press. 270 p.
19. Humedales Chile. (2020). Recuperado de:
<https://humedaleschile.mma.gob.cl/humedales-urbanos/>
20. IUCN. (2023). *¿Qué son las Soluciones Basadas en la Naturaleza?* Recuperado el 23 de junio de 2023, de <https://www.iucn.org/es/news/am%C3%A9rica-del-sur/201707/%C2%BFqu%C3%A9-son-las-soluciones-basadas-en-la-naturaleza>
21. Marquet, P., M. Rojas, A. Stehr, L., Farías, H., González, J., Muñoz, E., Wagemann, C., Rojas, I., Rodríguez & J. Hoyos. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza*. Santiago: Comité Científico de Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
22. Momparler, S. P., & Doménech, I. A. (2008). Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia. *Retema: Revista técnica de medio ambiente*, 21(124), 92-104.
23. Pearson, L.; Pearson, L. y C. Pearson (2010), "Sustainable Urban Agriculture: Stocktake and Opportunities". *International Journal of*

Agricultural Sustainability, 8, (1&2), 7-19. Disponible en:
doi:10.3763/ijas.2009.0468.

24. Portal Puente alto . (2023, 20 junio). *Se planea parque natural para la recuperación de Cerro La Ballena en Puente Alto ¿De qué se trata?* Portal Puente Alto. Recuperado de <https://www.portalpuentealto.cl/se-planea-parque-natural-para-la-recuperacion-de-cerro-la-ballena-en-puente-alto-de-que-se-trata/>
25. Ramsar (2017) Humedales: una protección natural frente a los desastres. Secretaría de la Convención de Ramsar. https://www.ramsar.org/sites/default/files/fs_9_drr_esp_30j.pdf
26. Salgado, D. (2023). Quillón: Laguna Avendaño recibe descargas de material fecal que superan hasta 92 veces la normativa. *BioBioChile - La Red de Prensa Más Grande de Chile*. Recuperado el 15 de marzo de 2023, de <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-nuble/2023/03/15/quillon-laguna-avendano-recibe-descargas-de-material-fecal-que-superan-hasta-92-veces-la-normativa.shtml>
27. Santiago I.V (s.f). Infraestructura Verde Santiago. Recuperado el 13 de agosto de 2023, de <http://infraestructuraverdesantiago.cl/>
28. Sharma, D. (2008). Sustainable drainage system (SUDS) for stormwater management: a technological and policy intervention to combat diffuse

- pollution. En 11th International conference on urban drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
29. Smit J.; Ratta, A. y J. Nasr (1996) *Urban Agriculture: Food, Jobs and Sustainable Cities*. Publication Series for Habitat II, 1. New York: United Nations Development Program (UNDP).
30. United Nations. (s. f.). ¿Qué es el cambio climático? Recuperado el 23 de junio de 2023, de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
31. Valencia, J. (2023). Incertidumbre por Laguna Avendaño en Quillón: gremios acusan inacción de municipio ad-portas de verano. BioBioChile - La Red de Prensa Más Grande de Chile. Recuperado el 27 de octubre de 2023, de <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-nuble/2023/10/27/incertidumbre-por-laguna-avendano-en-quillon-gremio-acusa-inaccion-de-municipio-ad-portas-del-verano.shtml>
32. Vargas, H. C. (2017). *Estratégias para uma Infraestrutura Verde*. São Paulo: Manole
33. Zaar, M. (2011), "Agricultura urbana: algunas reflexiones sobre su origen e importancia actual". *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 15, (944). Universidad de Barcelona. Disponible en: <http://www.ub.edu/geo-crit/b3w-944.htm>

11. ANEXOS

Tabla A 1. Principales problemas para resolver en proyecto de la universidad de Maryland para el concurso RainWorks Challenge 2021.

Problemas para resolver

Gestión obsoleta de aguas pluviales

Una preocupación principal en la región norte de la universidad es la extensa superficie impermeable, debido a que se encuentra en una zona urbana, donde la mayoría de superficie corresponde a estacionamientos; un factor perjudicial para el drenaje de aguas pluviales y la carga de contaminantes.

Áreas ecológicas degradadas

La región norte del campus muestra una elevada densidad de ocupación del suelo con un considerable porcentaje de superficies que no permiten el paso del agua. Esta densidad crece a medida que aumenta la urbanización, lo que resulta en un incremento en la cantidad y frecuencia de aguas superficiales, la eficacia de los canales para canalizar el agua de lluvia, y la cantidad de contaminantes arrastrados por esta escorrentía.

Poca accesibilidad para peatones y falta de prioridades de transporte multimodal

En la zona norte de la universidad, el enfoque está mayormente en los vehículos, y consta de caminos escasos y poco seguros para que los estudiantes que transitan a pie. Los vehículos y bicicletas comparten las vías sin tener carriles exclusivos para ciclistas. A pesar de estar dominada por el tráfico automovilístico, el número de personas caminando es considerable. La congestión vial y la ausencia de áreas designadas para peatones han causado múltiples accidentes y lesiones relacionadas con vehículos.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de *2021 Campus RainWorks Challenge Results | US EPA, 2023*

Tabla A 2. Potenciales soluciones identificadas en el proyecto de la universidad de Maryland para el concurso RainWorks Challenge 2021

Potenciales soluciones del proyecto

Plantación de árboles

Los árboles y arbustos plantados ayudarán a reducir la escorrentía en un estimado de 22,3 m³ al año.

Techos verdes

Los techos verdes propuestos capturan y tratan 850 m³ de escorrentía de aguas pluviales. Dos de los techos verdes también incluyen paneles solares, que tienen varios beneficios de energía renovable. Los nuevos techos verdes en la cancha de práctica de baloncesto se drenarán en una cisterna ubicada debajo del campo de seguimiento, capturando 29 m³ de escorrentía de aguas pluviales para uso no potable en el campus.

Isla de calor: Además de las cargas contaminantes reducidas, la reducción de superficies impermeables y de bajo albedo en el sitio reduce la temperatura superficial promedio en aproximadamente un 10 %.

La inclusión de calles

Se establecerá un flujo de tráfico más seguro al introducir aproximadamente 700 metros de vías exclusivas para bicicletas y más de 762 metros de senderos para peatones. El recién trazado camino de 470 metros, que cruza el área de norte a sur desde la plaza multimodal hasta Campus Creek, es una vía compartida de dos vías destinada para el uso tanto de ciclistas como de peatones, con el fin de ampliar las precauciones de seguridad.

Nota: Fuente: elaboración propia con información extraída de *Campus RainWorks Challenge | US EPA,2023*

Tabla A 3. Tipos de techos verdes existentes en Chile.

Tipos de techos verdes		
Techos Verdes Extensivos	Techos Verdes Intensivos	Techos Verdes Semi-Intensivos
<p>Techos verdes livianos (hasta 220 kg/m²), con poca profundidad de sustrato (entre 5 y 15 centímetros) y con bajos requerimientos de mantención.</p> <p>Generalmente consumen poca cantidad de agua y utilizan especies de pequeñas de crecimiento lento, particularmente suculentas, cubresuelos y algunas</p>	<p>Este tipo de techos verdes son generalmente más pesados (más de 500 kg/ m²), con un medio de crecimiento más profundo (entre 30 y 1 mts de profundidad) y con una amplia variedad de paleta vegetal. Al ser estructuras más pesadas soportan de buena manera el acceso de personas convirtiéndose en</p>	<p>Este tipo de techos verdes considera una profundidad de sustrato entre 10 y 30 cm, con una mayor variedad de plantas que los techos extensivos, pero más limitada que los techos intensivos. Su objetivo es entregar espacios recreacionales, con bajas cargas asociadas y menores mantenciones que un techo intensivo</p>

<p>herbáceas. Algunos de estos techos están enfocados en el control de la temperatura urbana, promoción de la biodiversidad, restauración del hábitat y entrega de servicios ecosistémicos, siendo diseñados de modo de fomentar la vegetación nativa y de proveer hábitat a la fauna silvestre</p>	<p>espacios de calidad para el uso y goce de los ocupantes, ya que son construidos sobre estructuras con capacidad de soportar grandes cargas. Los techos intensivos son jardines sobre los techos, por lo que los requerimientos de agua y mantención están asociados al tipo de especies vegetales y son equivalente a los requeridos por un jardín a nivel de terreno natural.</p>	
---	---	--

Fuente: Elaboración propia con información de Manual de paisajismo sustentable (Chile GbC, 2021).