



Refugios Biourbanos:

Guía para evaluar la efectividad de Soluciones Basadas en la Naturaleza en un barrio

Universidad Tecnológica Metropolitana
Universidad Central de Chile



REFUGIOS BIOURBANOS: GUÍA PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE SBN EN LOS BARRIOS ® 2025

PROYECTO ANID IDEA I+D ID23110043 Refugios Biourbanos: modelo para un enfoque integral de evaluación de efectividad de soluciones basadas en la naturaleza para el diseño urbano sensible al agua, como estrategia de adaptación al cambio climático.

Refugios biourbanos: guía para evaluar la efectividad de Soluciones Basadas en la Naturaleza en un barrio. © 2025 by Aguas de Barrio, Universidad Tecnológica Metropolitana and Jardín Biodiverso, Universidad Central de Chile, is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

© Rosa Chandia-Jaure
© Andres Cataldo-Cunich
© Francisca Fernández Cano
© Javier Figueroa Ortiz
© Daniela Godoy-Donoso

1º Edición agosto 2025
80 copias
ISBN 978-956-9677-91-5
Propiedad Intelectual: 2025-A-7932

Cómo citar este documento:

Chandia-Jaure, R. Cataldo-Cunich, A. Fernández Cano, F. Figueroa, J.A. Godoy-Donoso, D. (2025) Guía para la evaluación de efectividad de Soluciones Basadas en la Naturaleza en un barrio. Ediciones Universidad Tecnológica Metropolitana

Desarrolla:



Financia: Asociadas y colaboradores:



Autores:

Rosa Chandia-Jaure,
Andrés Cataldo-Cunich
Francisca Fernández Cano
Javier Figueroa Ortiz
Daniela Godoy-Donoso

Dirección de proyecto:

Dra. Rosa Chandia-Jaure, Universidad Tecnológica Metropolitana

Director alterno:

Mg. Andrés Cataldo-Cunich, Universidad Tecnológica Metropolitana

Coordinadora e investigadora en biodiversidad:

Lic. Francisca Fernández Cano, Universidad Central de Chile

Investigadores agua, clima y biodiversidad:

Dr. Javier Figueroa Ortiz, Universidad Central de Chile
Mg. Margarita Reyes Pardo, Universidad Central de Chile
Dr. Sergio Cárdenas Muñoz, Universidad Central de Chile
Dr. Carlos Bustamante Oleart, Universidad Tecnológica Metropolitana
Dr.(c) Marco Díaz Huenchuán, Universidad Tecnológica Metropolitana
Dra. Claudia Ortiz-Calderón Doctora en Ciencias Biológicas

Investigadores planificación, participación y gobernanza:

Mg. Daniela Godoy Donoso, Universidad Tecnológica Metropolitana
Mg. Mario Villagrán Escobar, Universidad Tecnológica Metropolitana

Profesionales:

Carlos Bustamante Espina, arquitecto
Juan Jorquera Hernández, arquitecto
Boris Zuñiga Lucero, ingeniero civil
Enzo Ramírez Fernández, ingeniero constructor
Javier Ríos Vilche, ingeniero civil
José Cerón Córdova, ingeniero electrónico
Andrea Aguilera Catalán, técnico paisajista
Francisco Stegmaier Flores, ingeniero en biotecnología
Claudia Jara Durán, contador auditor

Ayudantes de investigación:

Carlos Aracena Rivera
Valentina Aravena Adasme
Valeria Jiménez Soto
Cristian Flores Pavez
Jasmín Gutierrez Naranjo
Isidora Soto Oteiza

Edición y revisión de estilo

Juan Jorquera Hernández y Claudio Lobos Romero

Diseño:

Nicolás Astorga Martínez, diseñador en comunicación visual.

**Proyecto financiado por Agencia Nacional de Investigación,
Universidad Tecnológica Metropolitana y Universidad Central de Chile.**

Agradecemos la colaboración de Ilustre Municipalidad de Santiago y Fondo de Agua de Santiago, por su aporte como entidades asociadas del proyecto, así como también de Seremi de Salud RM y Parque Metropolitano como entidades colaboradoras del proyecto. Agradecemos además a los representantes de los distintos organismos e instituciones que aportaron con sus opiniones y conocimientos en el desarrollo de contenidos de esta guía:



- Seremi de Medio Ambiente RM
- Gobierno Regional Metropolitano
- Fundación Mi Parque
- Ecological SPA
- Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad de Chile
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Universidad Tecnológica Metropolitana. Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial, Departamento de Planificación y Ordenamiento Territorial

Universidad Central de Chile. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carrera de Arquitectura del Paisaje y Centro de Investigaciones Arquitectónicas, Urbanísticas y del Paisaje CEAUP

www.aguasdebarrio.cl
[@aguasdebarrio](#)
[@jardinbiodiverso](#)



Refugios Biourbanos:

Guía para evaluar la efectividad de Soluciones Basadas en la Naturaleza en un barrio



CONTENIDOS

Introducción	01
Capítulo 1	07
LAS SBN EN EL DISEÑO URBANO SENSIBLE AL AGUA Y LA CONSTRUCCIÓN DE REFUGIOS BIOURBANOS, EN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO	
Capítulo 2	15
REFERENTES GLOBALES PARA LA INTEGRACIÓN DE SBN EN EL DISEÑO URBANO SENSIBLE AL AGUA Y AL ENTORNO EN EL ESPACIO PÚBLICO	
Guías metodológicas referenciales	19
Referencias Bibliográficas	22
Capítulo 3	25
ESTRATEGIAS EN EL DISEÑO PARA PREVER EL MONITOREO DE VARIABLES ASOCIADAS CON EL AGUA, CLIMA Y BIODIVERSIDAD EN EL TIEMPO	
A. Estrategias de diseño para incluir monitoreo de acciones microclimática	26
B. Estrategias de diseño para prever el monitoreo de cantidad y calidad de aguas	30
C. Consideraciones de diseño para el monitoreo de variables de biodiversidad vegetal	34
Capítulo 4	36
INDICADORES DE EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD	
A. Indicadores dimensión agua	38
I. Calidad de agua tratada	39
II. Eficiencia hídrica de riego	48
III. Almacenamiento e infiltración del suelo	55
B. Indicadores dimensión clima	64
I. Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)	65
II. Reducción de Temperatura Superficial (RTA)	72
C. Indicadores de la dimensión biodiversidad	78
I. Supervivencia vegetal	79
II. Crecimiento de la vegetación	80
III. Salud del suelo; características biofísicas del suelo	82
IV. Salud del suelo; características bioquímica del suelo	85

05	Capítulo 5	87
	CASO DE ESTUDIO; APLICACIÓN DE INDICADORES EN PROTOTIPOS DE REFUGIOS BIOURBANOS	
	A. El diseño de Refugios Biourbanos	89
	B. Operaciones de diseño	91
	C. Descripción de los prototipos experimentales	94
	I. Refugio microcuenca abastecido con agua lluvia de cubierta cercana y riego	98
	II. Refugio inclinado abastecido por riego automatizado con agua potable	100
	III. Refugio microcuenca con riego automatizado con agua gris regenerada a través de DBN	102
	IV. Refugio inclinado abastecido con agua potable mediante riego manual restringido de emergencia	104
06	Capítulo 6	106
	COMENTARIOS ASOCIADOS CON LA EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD	
	I. Calidad de agua tratada	107
	II. Eficiencia hídrica de riego	109
	III. Almacenamiento e infiltración del suelo	112
	IV. Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)	115
	V. Reducción de Temperatura Superficial (RTS)	122
	VI. Sobrevivencia vegetal	128
	VII. Crecimiento de la vegetación	130
	VIII. Salud de suelo; características biofísicas del suelo	133
	IX. Salud de suelo; características bioquímicas del suelo	136
07	Capítulo 7	139
	CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA GOBERNANZA, PUESTA EN MARCHA Y SEGUIMIENTO DE SBN EN ESPACIOS PÚBLICOS BARRIALES	
	A. Proceso metodológico para la construcción del mapa de actores	141
	B. Limitaciones y oportunidades de diseño y gobernanza	146
	I. Barreras que limitan el desarrollo óptimo de proyectos de SBN en la ciudad	147
	II. Oportunidades en la concordancia de objetivos y actores	149
	C. Desafíos futuros	152
08	Capítulo 8	154
	CRITERIOS METODOLÓGICOS JERARQUIZACIÓN DE LOCALIZACIÓN DE REFUGIOS BIOURBANOS. EL CASO DE LA COMUNA DE SANTIAGO	
09	Capítulo 9	157
	ANEXOS	

Introducción

A stylized, light green illustration of a plant with two main stems and several leaves, positioned in the lower right quadrant of the page. The plant has a simple, rounded leaf shape and a thin stem. There are also four small, dark green circular dots scattered in the upper right area of the page.

Introducción



 :*Baccharis linearis*

Los desafíos que enfrentan las zonas urbanas de la macrozona central de Chile, para la adaptación y resiliencia al cambio climático implican profundizar de manera integral en el diseño del espacio público, para una gestión sustentable del agua y la ampliación del conocimiento ambiental, con el fin de preparar a la ciudad frente a la vulnerabilidad que supone el escenario hídrico y climático futuro.

En los últimos 15 años, junto con la ausencia de precipitaciones, se ha observado un incremento considerable de eventos extremos de olas de calor que afectan los ecosistemas y la calidad de vida de las personas, especialmente en entornos urbanos (Álvarez-Garretón et al., 2023). Entre las respuestas de adaptación a nivel global, existen avances importantes en el impulso de estrategias de Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés, o DUSA en español), asociadas con Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) para generar ambientes urbanos habitables, armoniosos con el clima local. En concreto también se han integrado Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), como parte de las estrategias tecnológicas de bajo impacto, para el cierre circular del ciclo hidrológico urbano.

Pese a los avances existentes, en Chile las propuestas siguen siendo intervenciones piloto. No existe obligación normativa de implementar soluciones, así como tampoco estándares

unificados para el diseño, la implementación, el seguimiento y evaluación sobre el comportamiento de las intervenciones en el tiempo. Esto muestra la necesidad de avanzar en la definición de metodologías adaptadas a la realidad local para el diseño y la evaluación. Esto implica precisar indicadores, y definir qué datos deben ser levantados, así como su temporalidad, para poder validar la efectividad del conjunto de estrategias y acciones, que demuestren ayudar en la mitigación de los efectos negativos del cambio climático.

Si bien es aceptado que las SBN aportan en múltiples beneficios, estos habitualmente son descritos de manera cualitativa, y no han logrado ser cuantificados. Esto representa una brecha para la promoción de la adaptación incremental a escala local (Epelde et al., 2018). Sin embargo, uno de los mayores desafíos que implica la evaluación cuantitativa de la efectividad apunta a la dificultad de armonizar la efectividad, ya que al aplicar SBN influyen condiciones locales, alternativas de diseño diversas y la naturaleza multidimensional de las medidas de adaptación. Por lo tanto, es importante desarrollar mayor conocimiento sobre análisis cuantitativo para la efectividad de la mitigación o adaptación al cambio climático y la conservación de la biodiversidad (Epelde et al., 2018).



En esta dirección, es especialmente relevante avanzar en estrategias que enfrenten la vulnerabilidad hídrica y climática que desafían a la zona central de Chile. Esta guía busca avanzar en esta línea, aportando estrategias prácticas que permitan medir la reducción de la demanda hídrica, el incremento y comportamiento de la biodiversidad y adaptación microclimática para el bienestar ambiental urbano. Esto es de especial relevancia en lugares donde el clima presenta una tendencia hacia una condición cálida y seca, como la zona central de Chile.

En el Diseño Urbano Sensible al Agua se observa la oportunidad para avanzar hacia una ciudad más inteligente y eficiente en términos de la gestión de los recursos naturales y la integración de objetivos de conservación de la biodiversidad, asociada con los instrumentos de políticas públicas. Lo anterior constituye un impulso emergente para el desarrollo de proyectos del sector productivo, tanto público como privado, con el fin de responder a las brechas detectadas en la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017-2030. En estas alianzas, la academia tiene un rol fundamental en la transferencia de conocimientos asociados con estos grandes desafíos entre los distintos actores que participan en intervenciones en el espacio público.

Buscamos contribuir en la mejoría del conocimiento local integral desde una perspectiva multidimensional, de proyectos de áreas verdes de escala barrial, para el espacio público, para mitigar los efectos negativos en las personas y de la biodiversidad, del incremento del calor y la reducción de disponibilidad de agua.



 : *Calceolaria thyrsiflora*



Esta guía constituye un instrumento de transferencia de la investigación aplicada desarrollada en el marco del Proyecto ANID IDEA I+D ID23110043 – Refugios Biourbanos: modelo para un enfoque integral de evaluación de efectividad de soluciones basadas en la naturaleza para el diseño urbano sensible al agua, como estrategia de adaptación al cambio climático.



A través del estudio de 6 prototipos de refugios urbanos de microescala, construidos en laboratorios experimentales de ambas universidades, se busca monitorear variables de agua, biodiversidad y clima durante un año de ejecución. Para que, a través de la evaluación de sus comportamientos, se puedan replicar aquellos componentes o sistemas que evidenciaron mejor funcionamiento, en lugares públicos a escala barrial: plazoletas, bandejones, platabandas o veredas, con el fin de complementar a un sistema de infraestructura verde urbana, a través de la conformación de una red de núcleos, nodos y corredores (Vásquez, 2016).

A partir del monitoreo de los prototipos se elaboró un set de indicadores de evaluación de efectividad adaptados a la condición local de la zona central de Chile, para proyectos de escala barrial. Los indicadores construidos que presenta esta guía han sido sometidos a procesos de validación técnica, a través del trabajo de distintos especialistas. Los indicadores fueron evaluados por un grupo de actores clave, representantes de organismos públicos y privados que participan desde distintos ámbitos en el diseño del espacio público. Se realizaron dos talleres de actores, para el levantamiento de problemáticas y validación de indicadores posibles y su utilidad,

y se realizaron consultas mediante encuestas para lograr identificar si estos indicadores son específicos, medibles, alcanzables, relevantes y en un tiempo definido (Doran, 1981).

La guía busca aportar orientaciones para la toma de decisiones de organismos públicos y otros actores que implementan SBN en el diseño de espacios públicos, para apoyar la evaluación de la efectividad de un proyecto construido y definir su posible replicabilidad o adaptación a los diseños en el futuro. Se utiliza de referencia el diseño de Refugio Biourbano, como medida de aplicación de los indicadores de evaluación que se han estudiado. Se detectan brechas y desafíos, que aportan criterios generales para la gobernanza de este tipo de intervenciones, y apoyan en la toma de decisiones estratégicas para el espacio público, en temáticas que se vinculan al incremento de la biodiversidad, el desarrollo de microclimas frente al calor extremo y el ahorro hídrico en múltiples dimensiones.



01

Capítulo 1

**Las SBN en el Diseño Urbano
Sensible al Agua y la
construcción de Refugios
Biourbanos, en contexto de
Cambio Climático**

Capítulo 1

Las SBN en el Diseño Urbano Sensible al Agua y la construcción de Refugios Biourbanos, en contexto de Cambio Climático

La integración en el diseño del espacio público de soluciones que multipliquen los valores asociados, entregando beneficios sociales, ecológicos y ambientales, permite concebir las áreas verdes urbanas como espacios de resguardo para la vida pública y la biodiversidad local, en episodios de vulnerabilidad climática.

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) fueron definidas por UICN en 2016 como: “Acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad” (Cohen-Shacham et al., 2016). A nivel global, organismos intergubernamentales y numerosos países han definido políticas públicas y estrategias de intervención interescalar, para transitar hacia el desarrollo sostenible a través de SBN (Baró et al., 2022; Sowińska-Świerkosz y García, 2022; Wickenberg et al., 2021; Xie y Bulkeley, 2020). En Chile, si bien en los últimos años ha habido significativos avances (Marquet et al., 2021; Marquet et al., 2021; Muñoz et al., 2023) este enfoque es aún un tema emergente, que requiere generar un cuerpo más complejo e integrado de conocimientos para su transferencia al aparato público y a la ciudadanía en general, para una efectiva implementación.



En el marco de esta guía, hemos definido Refugios Biourbanos como lugares públicos de escala barrial para el resguardo microclimático natural frente a episodios de ola de calor, que protejan y potencien la biodiversidad urbana local y brinden bienestar a las personas. Deben, además, integrar estrategias para la gestión del agua urbana como un recurso valioso por resguardar, a través del cierre del ciclo hidrológico urbano dentro de su mismo ámbito de intervención.

Desde la lógica de los sistemas interconectados de áreas verdes urbanas, se pueden observar oportunidades de proyectos de diseño urbano en aquellos espacios de reducido tamaño, donde la escala de intervención beneficia directamente a un barrio y, por lo tanto, propicia la apropiación vecinal. Desde el punto de vista técnico, intervenir lugares con potencial de área verde de pequeña escala, como veredas, platabandas o bandejones entre calles, permite entregar soluciones de bajo costo para los municipios y múltiples beneficios para los vecinos y los ecosistemas locales, además de la gestión local eficiente del agua urbana, sea esta agua potable, agua pluvial o agua gris regenerada (Chandía-Jaure et al., 2022; Figueroa y Fernández, 2023).



La zona central de Chile enfrentó entre 2010 y 2023 un extenso episodio de sequía, que provocó un déficit de precipitaciones que osciló entre 25% y 45% (CR2, 2015; Garreaud et al., 2020). Esta situación provocó un alto impacto en la disponibilidad de agua superficial y subterránea, además de una fuerte reducción de los aportes de nutrientes desde los ríos hacia los sistemas costeros, el deterioro de la vegetación no irrigada, una alta tasa de incendios forestales y graves problemas en el suministro del agua para los cultivos de regadío (Núñez Cobo y Verbist, 2018)..

Por su parte, el cambio climático ya está aumentando la frecuencia, duración e intensidad de las sequías regionales (Garreaud et al., 2020). A lo anterior se suma la recurrencia cada vez más frecuente del incremento del calor extremo, el cual afecta especialmente a las zonas urbanas. Pese a que en los últimos dos años han aumentado las lluvias a la zona central de Chile, la sequía continúa, y los efectos de los 12 años con déficit de precipitaciones provocaron un profundo impacto en la seguridad hídrica de las cuencas hidrográficas de la zona central, siendo las más afectadas la cuenca del río Aconcagua, la cuenca del río Maipo y la cuenca del río Maule (Escenarios Hídricos 2030, 2023). Numerosos cuerpos de agua superficial, asociados con humedales, quebradas estacionales o afluentes menores, llegaron incluso a desaparecer, provocando alteraciones profundas en los ecosistemas. La frecuencia e intensidad de las precipitaciones son evidencia de escenarios de incertidumbre para los cuales la ciudad debe estar preparada, y no hay certeza de que estas precipitaciones sean parte de las anomalías respecto de los modelos climáticos que prevén el incremento de la sequía en los próximos años para Chile. El efecto de la escasez hídrica, junto con el calor extremo, ha provocado situaciones de estrés para los sistemas ecológicos preexistentes. Las temperaturas cálidas extremas han aumentado cada vez más su frecuencia e intensidad en todas las zonas del planeta (IPCC, 2021; Sousa-Silva y Zanocco, 2024). En especial, episodios de calor extremo han provocado alteraciones en el comportamiento de la flora y fauna, como también en la calidad de vida y salud de las personas especialmente a grupos más vulnerables (Woudstra et al., 2024).



El ranking elaborado por World Resources Institute muestra que la zona central de Chile está expuesta a un nivel extremadamente alto de estrés hídrico (WRI, 2022); en concreto la cuenca del río Maipo se ubica en el lugar 9 de los 18 ríos de mayor estrés hídrico en el mundo (EH2030, 2022). Al respecto, el estudio de la Región Metropolitana de Lehn et al. (2014) afirma que las medidas de adaptación deben considerar el aumento del almacenamiento de agua y el reciclaje de aguas grises, además de la mejora de la eficiencia en el uso del recurso tanto en la agricultura como en los hogares privados.

Hitos relevantes en el las políticas públicas para el cuidado del agua y la biodiversidad en las ciudades.

En 2017

ESTRATEGIA NACIONAL DE LA BIODIVERSIDAD

EN 2017 se define la Estrategia Nacional de Biodiversidad (2017-2030), la cual fija los lineamientos para el período 2017-2030, con el objeto de resguardar el patrimonio natural del país, revertir o reducir la pérdida o degradación de biodiversidad y promover su uso sustentable en el desarrollo, todo esto con diversos instrumentos, transversales y participativos.

En 2021:

EMERGENCIA CONTRA LA SEQUIA

En 2021, el Gobierno de Chile, estableció un Plan de Emergencia contra la Sequía, para aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia en su uso, con el objetivo de asegurar el abastecimiento para el consumo humano y la producción de alimentos, donde se incluye el uso eficiente del agua en las ciudades (Gobierno de Chile, 2021).

En 2022:

LEY MARCO CAMBIO CLIMATICO

En tanto, la Ley Marco de Cambio Climático, (2022) propone la urgencia de desarrollar estrategias de mitigación frente a la vulnerabilidad socioambiental y define el rol de los Refugios del Clima como lugares que permiten amortiguar los efectos negativos del Cambio Climático, y su posible rol como sumidero de carbono y regulador del clima.

En 2024:

REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Por otra parte, la promulgación del Reglamento de la Ley 21075 (2024), permite la regeneración de aguas grises en entornos urbanos, lo cual implica un nuevo marco de actuación, donde las SBN pueden tener un rol importante en proyectos asociados.

En 2025:

ESTRATEGÍAS CIUDADES VERDES

En forma complementaria, se está avanzando en la Estrategia Ciudades Verdes (2025), la cual será una herramienta impulsada por los Ministerios de Vivienda y Urbanismo y Medio Ambiente, en colaboración con la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), para promover el desarrollo de planes y programas locales, que permitan avanzar en instrumentos de planificación y gobernanza que incentiven Sistemas de Infraestructura Verde Ecológica.

Lo anterior plantea el desafío de transitar hacia nuevos mecanismos de gobernanza que permitan estar mejor preparados para la adaptación a nuevos escenarios climáticos. Desde la gestión eficiente del agua en las ciudades, los instrumentos de planificación urbana y sistemas de gobernanza, enfrentan la necesidad de actualizar sus políticas, planes y estrategias para favorecer la gestión hidrológica urbana desde un enfoque holístico vinculado a los ecosistemas locales.

La recuperación de aguas lluvias en escenarios de sequía que permitan resguardar la biodiversidad y los ecosistemas (Abellán García et al., 2021), así como también la preparación de la ciudad para eventos inesperados de intensas y breves precipitaciones que conducen a niveles de vulnerabilidad socioambiental frente a posibles inundaciones. Por lo tanto, avanzar en técnicas, instrumentos y mecanismos validados de integración para una ciudad sensible a su contexto hídrico local, representaría la culminación de estrategias de suministro de agua, saneamiento, protección contra inundaciones y protección del medio ambiente para garantizar la sostenibilidad, la habitabilidad y la resiliencia a largo plazo (Wong et al., 2020).





02

Capítulo 2

**Referentes globales para la
integración de SBN en el
Diseño Urbano Sensible al
Agua y al entorno en el
espacio público**

Capítulo 2

Referentes globales para la integración de SBN en el Diseño Urbano Sensible al Agua y al entorno en el espacio público

La implementación de un enfoque integral en el diseño urbano para la efectiva adaptación del ciclo hidrológico natural, se inició en distintos lugares del mundo durante la década de 1980 (Abellán García et al., 2021). Es valorado por enfrentar los riesgos y vulnerabilidades urbanas frente a eventos climáticos extremos, y porque aporta en la recarga de los acuíferos mediante el uso de sistemas de captación, conducción, filtración e infiltración de las aguas. Busca integrar relaciones con la biodiversidad local y mejorar de manera integral los entornos urbanos, aportando beneficios sociales, ambientales y ecológicos que afectan directamente en la calidad de vida de las personas. Entre las familias de conceptos que impulsan organismos internacionales y gobiernos regionales, se encuentran Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) (European Union, 2015), los Sistemas de Infraestructura Verde (Implan Hermosillo, 2017; United States Environmental Protection Agency, 2008), el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) (Beza et al., 2019) y los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) (Woods Ballard et al., 2015).



Entre los referentes internacionales, destaca el trabajo que desde 2012 ha realizado la Crcwsc (Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities) en Australia, para el avance en investigación multidimensional sobre la planificación de las problemáticas del agua urbana <https://watersensitivecities.org.au/>. Integra estrategias de diseño urbano, el desarrollo de tecnologías para el reciclaje de aguas y aplica distintas estrategias para la evaluación y el monitoreo de las intervenciones desde distintos enfoques, desarrollando incluso herramientas para mejorar la gestión integral del agua en las ciudades.



En Arizona, Estados Unidos, el trabajo colaborativo fortalece alianzas entre centros de investigación, municipios, universidades y empresas del grupo Net Zero Urban Water (<https://www.netzerowater.org>) para avanzar hacia un futuro neto cero de uso de agua urbana, con el fin de satisfacer todas las necesidades municipales urbanas utilizando los recursos locales disponibles, especialmente en áreas propensas a las sequías graves. El desafío clave es la optimización en el sistema de captación, almacenamiento e infiltración (Crosson, 2016).



La iniciativa Climate-Adapt, <https://climate-adapt.eea.europa.eu> es una alianza entre la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente, para apoyar en la adaptación de los países miembros al cambio climático, aportando una base de datos de investigaciones, iniciativas y casos de estudio en permanente actualización. Entre las iniciativas, destaca el trabajo UNaLab (Urban Nature Labs) <https://unalab.eu/en>. El proyecto UNaLab se desarrolló entre el 2017 y 2020 y contribuyó a la base de conocimientos sobre SBN, aportando evidencias de sus beneficios, rentabilidad, viabilidad económica y replicabilidad en tres

ciudades: Eindhoven, Tampere y Génova. A partir de estos tres casos, el proyecto buscó transferir conocimientos a otras ciudades del mundo. Los resultados se han traducido en una base de referencia de guías metodológicas y estudios de caso que permiten avanzar en la implementación efectiva de SBN en las ciudades, como estrategia de adaptación al Cambio Climático.

En Dinamarca, la plataforma colaborativa State of Green, <https://stateofgreen.com/en/> donde se exponen referentes de proyectos, empresas ciudades, servicios públicos y universidades de Dinamarca, que están trabajando para ofrecer soluciones asociadas con el agua para un futuro sostenible, con el fin de estimular la innovación y liderazgo global en estas iniciativas.



Las vulnerabilidades del Cambio Climático, asociadas con el calor extremo, han requerido soluciones alternativas que deben avanzar con mayor urgencia, buscando estrategias para la mitigación de los impactos. En esta línea, en España, desde 2019, se están implementando Refugios Climáticos. Estos han sido definidos como espacios que permiten mejorar el bienestar térmico en las horas de máximo calor en el día, pudiendo ser espacios abiertos o cerrados. En el caso de los espacios abiertos, se trata de lugares con abundante sombra, arbolado, alta presencia de humedad, que podrían alcanzar un máximo de 26° de temperatura, y que se localizan a un máximo de 10 minutos caminando entre ellos. Están acompañados de una estrategia de comunicación ciudadana. En ciudades como Málaga, a partir de 2022, se aprobó la creación de un Plan de Refugios Climáticos, que incluye por una parte la creación de microoasis y de Recorridos con control climático. Además, destaca el trabajo que en esta línea está realizando el proyecto Climate Shelters para la adaptación de patios de escuelas de Barcelona, como refugios del clima frente a las olas de calor (<https://uia-initiative.eu/en/news/climate-shelters-project-climate-innovation-beat-heat>).

Los avances en sistemas de gobernanza y políticas públicas para mejorar la adaptación de las ciudades frente a los escenarios hídricos desfavorables para la habitabilidad de las ciudades, constituyen aristas importantes para impulsar los cambios. Sin embargo, las brechas de conocimiento sobre la ejecución de las soluciones en terreno y su monitorización requieren nuevos desafíos para la investigación. Es preciso entonces incentivar los enfoques transdisciplinares, a investigación colaborativa, el aprendizaje continuo y la creación de nuevas

capacidades para la implementación efectiva de soluciones (Wickenberg et al., 2021). Desde la perspectiva local, es preciso incrementar la evaluación de la efectividad de las soluciones adaptadas a diversos contextos climáticos. Si bien hay casos de monitorización de los SUDS en ambientes mediterráneos que han demostrado ser efectivos (Perales-Momparler et al., 2017), en el caso del área central de Chile, la condición de sequía y escasez hídrica requiere un marco específico de profundización en investigación y tecnología, centradas en la evaluación de las soluciones, sistemas y materiales empleados en otros ambientes, que permitan favorecer condiciones de humedad incluso frente a la ausencia de precipitaciones, aprovechando otras variables climáticas propias de ambientes cálidos y secos. En esa línea, destaca el trabajo de Pepiniere Philipi, en la generación de Jardines Secos, que están preparados para funcionar a través de SBN, sin riego (<https://jardin-sec.com>).

Capítulo 2.1

Guías metodológicas referenciales

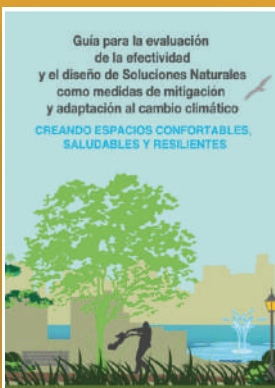
Existen numerosas guías de diseño, de ideas y manuales técnicos de soluciones para implementar el enfoque del Diseño Sensible al Agua en su familia de conceptos, en distintos contextos climáticos y culturales diversos del mundo. Entre las primeras Guías de diseño, destaca la Guía introductoria LID: Low Impact Development for urban areas (Arkansas, Estados Unidos, 2010); la guía Water Sensitive Designs (Australia, 2014); The SuDS Manual, del grupo Ciria (Reino Unido, 2015); el Manual de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos (Hermosillo, 2017); y el caso de Sponge Handbook (India, 2019). En el caso de Chile, destacan las guías Ciudades Sensibles al Agua, las cuales constituyen el primer referente técnico aplicado a una escala local en Chile (Patagua et al., 2021).

El conjunto de estas guías, orientadas a diversas situaciones climáticas, económicas y sociales, ha permitido construir un amplio banco de conocimientos técnicos que pueden ser aplicados en el Diseño del Espacio Público. Su aplicación en otros casos, distintos de las ciudades de referencia, implican el desafío de la adaptación, tanto a las condiciones climáticas locales, como a las capacidades institucionales, técnicas y materiales que cada ciudad tiene. Esto ha llevado a evidenciar la necesidad de aumentar el conocimiento multidimensional para la efectiva aplicación de SBN en las ciudades en distintas escalas, así como también, la necesidad de implementar mecanismos efectivos que permitan evaluar su efectividad en el tiempo, y ayuden a la toma de decisiones y a la aplicación de nuevas políticas públicas que ayuden a la implementación efectiva de las soluciones.

Destacamos aquí 4 referentes de guías que permiten acercamientos más profundos para el monitoreo y la implementación de SbN en el Diseño Urbano Sensible al Agua.

1 NATURE ADAPT (ESPAÑA)

En 2018, a partir de la iniciativa NATURE ADAPT, se desarrolló en España, una Guía para la evaluación de la efectividad de SBN, como medida de mitigación y adaptación al cambio climático https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2018_naturadapt-lr.pdf).

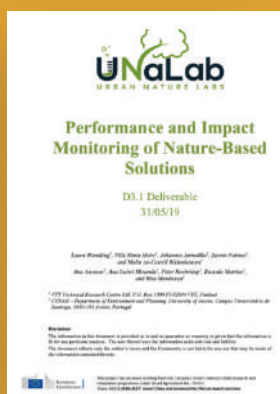


Evaluando la mitigación y adaptación al Cambio Climático

Esta guía plantea de manera clara la necesidad de avanzar en conocimientos y concientización del rol que cumplen las SBN en distintas dimensiones de adaptación y mitigación para lograr espacios saludables, seguros y confortables. La guía define estándares a partir de cuatro variables críticas: reducción de temperaturas extremas e inundaciones, captura de carbono e incremento de la biodiversidad, y estudió distintas escalas de actuación, siendo una de ellas la escala de barrio. Es la guía que se acerca con mayor precisión a indicadores de escala local.

2 UNaLab Project

En 2019 el proyecto UNaLab desarrolló la guía para el monitoreo del desempeño e impacto de las SBN en contextos amplios, aportando indicadores y estrategias posibles de medición <https://unalab.eu/en/documents/d31-nbs-performance-and-impact-monitoring-report>).



Evaluación de cobeneficios asociados para una gobernanza

Es una guía pensada para profesionales, para influir en decisiones asociadas con gobernanza y políticas públicas, entregando una visión general para un conjunto de métricas de rendimiento, así como procedimientos para su recopilación de datos para un monitoreo consistente y transparente de SBN en el tiempo. La guía aporta un marco general para 13 indicadores cuantitativos, asociados con los co-beneficios que pueden aportar las SBN, entre los que destacan indicadores de emisiones de carbono, temperaturas, riesgo de inundaciones, riesgos de sequía, calidad de agua, áreas verdes y biodiversidad, calidad del aire, salud y bienestar, justicia social (Wendling et al., 2019).

3

UE. Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners

En 2021 la Comisión Europea publicó esta guía como referencia general que permite dimensionar los impactos en múltiples dimensiones de las SBN. El resultado proviene de la colaboración de 17 proyectos financiados por UE donde se integraron SBN (<https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577>).

**Buscando métodos estandarizados de evaluación**

La guía aporta un conjunto de indicadores y metodologías para evaluar los impactos de las SBN en 12 áreas de desafío social y ambiental. Los indicadores buscan servir de referencia para las políticas públicas, orientar a los profesionales urbanos en el desarrollo de marcos de evaluación de impacto para SBN a diferentes escalas. Además reflejan el estado del arte en la investigación científica actual sobre los impactos de las SBN y los métodos de evaluación válidos y estandarizados, así como el estado de la situación en la implementación urbana de los marcos de evaluación (European Union, 2021).

4

ARCLim (Chile, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, CR2)

En 2020 se lanzó la Plataforma ARCLim, Atlas de Riesgo Climático para Chile, cuyo resultado sistematiza un extenso trabajo multidisciplinar para desarrollar mapas de riesgos para Chile, incorporando proyecciones climáticas históricas y futuras aportando información sobre amenazas, exposición, sensibilidad y riesgo (<https://www.cr2.cl/arclim/>).

**Indicadores para mapas de riesgo climático**

El Atlas, en su capítulo 6.10, desarrolla índices de salud y bienestar, de los cuales surgen indicadores asociados con Eventos Climáticos Extremos, Temperaturas y Bienestar Humano y Seguridad Hídrica y sus cadenas de impacto, para identificar niveles de vulnerabilidad y amenazas en estas dimensiones. La guía aporta indicadores, tablas de evaluación y métodos de cálculo. El resultado del análisis expone una heterogeneidad en los niveles de amenazas desde las cuatro dimensiones analizadas, destacando la importancia de diagnósticos locales adaptados, así como la importancia de la integración de resultados de distintos indicadores, para lograr una visión más holística.

Referencias Bibliográficas

Álvarez-Garretón, C.; Boisier, J. P., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, Ch., Maillet, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Gevara, G., Galleguillos, M. A. M., Christie, D., Marinao, R. y Garreaud, R. (2023). Seguridad Hídrica en Chile. Caracterización y perspectivas de futuro. Recuperado de: www.cr2.cl/seguridadhidrica.

AYERS, R. S. y WESTCOT, D. W. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO. Riego y Drenaje 29. FAO. Roma.

Baró, F.; Camacho, D. A., Pérez del Pulgar, C., Ruiz-Mallén, I. y García-Serrano, P. (2022). Nature-Based Climate Solutions in European Schools: A Pioneering Co-designed Strategy Towards Urban Resilience. En I. Ruiz-Mallén, H. March y M. Satorras (eds.). Urban Resilience to the Climate Emergency: Unravelling the transformative potential of institutional and grassroots initiatives. Pp. 125-146. Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-07301-4_6.

Chandia-Jaure, R.; Cataldo-Cunich, A. y Donoso, N. (2022). Enfoque integrado en el diseño participativo de plazoletas de captación de aguas. El proyecto Jardín Central, Renca - Revista Planeo. Revista Planeo, 53. Recuperado de: <https://revistaplaneo.cl/2022/10/26/enfoque-integrado-en-el-diseno-participativo-de-plazoletas-de-captacion-de-aguas-el-proyecto-jardin-central-renca/>.

Epelde, L.; Mendizábal, M., Artetxe, A., Fernández, P., Gutiérrez, L., García-Blanco, G. y Feliu, E. (2018). Guía para la evaluación de la efectividad y el diseño de Soluciones Naturales como medidas de mitigación y adaptación al cambio climático. Recuperado de: https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/2018_naturadapt-lr.pdf.

European Union (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions : a handbook for practitioners. Publications Office of the European Union. DOI: <https://doi.org/10.2777/244577>.

Figueroa, J. y Fernández, F. (2023). Jardines eficientes para el espacio público de la Región Metropolitana. Chloris Chilensis, 26(1), 268-270. Recuperado de: www.chlorischile.cl.

IPCC (2021). Summary for Policymakers. En Climate Change 2021 – The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pp. 3-32. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

Marquet, P.; Arellano, E., Arriagada, R., Fernández, M., Gaxiola, A., León, C., Meza, F., Larraín, R., Pliscoff, P. y Reyes, S. (2021). Soluciones Basadas en la Naturaleza para Chile. Resumen para tomadores de decisiones. Recuperado de: <https://cambioglobal.uc.cl/>.

Muñoz, A., Fuentes, C., Schnider, I., Contreras, V., Ugalde, A., Rubio, E., Gonzalez, M., & Gibbs, M. (2023). Lineamientos para la incorporación de Soluciones Basadas en la Naturaleza para la adaptación al cambio climático en Chile. Recuperado de: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/01/Lineamientos-para-la-incorporacion-de-SbN.pdf>

Marquet, P.; Rojas, M., Stehr, A., Farias, L., González, H., Muñoz, J. C., Wagemann, E., Rojas, C., Rodríguez, I. y Hoyos, J. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.5736938>.

Patagua, Chile, F. L. y de Chile, P. U. C. (2021). Ciudades Sensibles al Agua. Guía de Drenaje Urbano Sostenible para la Macrozona Sur de Chile. Recuperado de: https://www.cedeus.cl/wp-content/uploads/2021/05/Guia-DUS_VOL-I-2.pdf.

Sousa-Silva, R. y Zanocco, C. (2024). Assessing public attitudes towards urban green spaces as a heat adaptation strategy: Insights from Germany. *Landscape and Urban Planning*, 245, 105013. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2024.105013>.

Sowińska-Świerkosz, B. y García, J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009>.

Wendling, L.; Rinta-Hiiro, V., Jermakka, J., Fatima, Z., Rüdénhausen, M. Z.-C., Ascenso, A., Miranda, A. I., Roebeling, P., Martins, R. y Mendonça, R. (2019). Performance and Impact Monitoring of Nature-Based Solutions. Recuperado de: www.UNALab.eu.

Wickenberg, B.; McCormick, K. y Olsson, J. A. (2021). Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks. *Environmental Science and Policy*, 125, 44-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.016>.

Woudstra, Y.; Kraaiveld, R., Jorritsma, A., Vijverberg, K., Ivanovic, S., Erkens, R., Huber, H., Gravendeel, B. y Verhoeven, K. J. F. (2024). Some like it hot: Adaptation to the urban heat island in common dandelion. *Evolution Letters*, 8(6), 881-892. DOI: <https://doi.org/10.1093/evlett/qrae040>.

Xie, L. y Bulkeley, H. (2020). Nature-based solutions for urban biodiversity governance. *Environmental Science and Policy*, 110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.002>.

03

Capítulo 3

**Estrategias en el diseño
para prever el monitoreo de
variables asociadas con el
agua, clima y biodiversidad
en el tiempo**

Capítulo 3

Estrategias en el diseño para prever el monitoreo de variables asociadas con el agua, clima y biodiversidad en el tiempo



Con el fin de evaluar en el tiempo la efectividad de un refugio climático para la biodiversidad y el bienestar humano que integra SBN, es preciso que el diseño inicial tenga previstas acciones para el monitoreo en el tiempo, sin la necesidad de realizar alteraciones en forma posterior a la fase de implementación. En esta guía se presentan estrategias para el seguimiento de las tres variables estudiadas: clima, agua y biodiversidad vegetal, con sus alcances y limitaciones.

El efecto del calor extremo, la escasez de agua y la pérdida de biodiversidad en entornos urbanos, expone a escenarios de vulnerabilidad climática a la salud y el bienestar de las personas, la vida comunitaria y afecta al desarrollo de la flora urbana, propiciando cadenas de impactos negativos en la calidad de vida urbana, y en los costos de mantención. Con el fin de dar un mayor impulso a la inversión pública y privada, así como fomentar con evidencias científicas el impacto positivo de la aplicación de SBN en el diseño del espacio público, se presentan algunas recomendaciones para la evaluación de la efectividad de estas soluciones en el tiempo. Esto con el fin de aportar conocimiento local, sobre estrategias metodológicas y posibles variables de evaluación.

a) Estrategias de diseño para incluir monitoreo de acciones microclimáticas

Durante el proceso de diseño se debe predefinir el plan de acción para la evaluación en el tiempo de la capacidad de generar microclimas confortables en el interior de un refugio, respecto del espacio público al exterior de éste.

La generación de microclimas y la reducción de la sensación térmica, asociada a la proyección de sombras, protección de suelo e incremento de la evapotranspiración de conjuntos vegetales, requiere de un tiempo de desarrollo. Se estima que un proyecto consolida su vegetación al cabo de 3 años desde su plantación. Por tanto es importante considerar:



La acción microclimática debe ser evaluada progresivamente para obtener datos del incremento en el tiempo hasta que se observe una estabilidad en los parámetros. Como mínimo, el plan de evaluación debe considerar mediciones previas al desarrollo del proyecto, al inicio de su implementación y cada 1 año.



Respecto de la urgencia de crear refugios para episodios de calor extremo en las ciudades, se necesita incluir elementos que proyecten sombra al menos durante los tres primeros años, para dar el tiempo a que la vegetación se consolide. Resulta fundamental realizar el monitoreo y seguimiento de variables, tanto en la fase inicial de consolidación como en la etapa en que el proyecto se consolida como un refugio climático.

Según el tipo de evaluación a realizar en el tiempo, las dimensiones de la intervención, los niveles de seguridad en espacio público y el presupuesto disponible, se pueden llevar a cabo tres estrategias basadas en la recolección de datos climáticos in situ:



El uso de sensores móviles con monitoreo in situ guiados por personas.



Instalación de estación meteorológica y sensores.

Incorporación de dataloggers conectado vía wifi a servidores de datos, dentro del equipamiento.

Para un monitoreo in situ es necesario considerar el lugar exacto donde se realizarán las mediciones de efectividad en el tiempo. Para el uso de los indicadores de microclima propuestos, se plantea un recorrido a través de un eje transversal en el proyecto. Se debe prever en el diseño del refugio, con una senda caminable entre la vegetación, y otros elementos presentes, con el fin de facilitar el acceso a los puntos de muestreo. Además, con el fin de estabilizar los datos micro climáticos, es altamente recomendable prever el uso de un trípode para el montaje del instrumento de medición. La senda debería estar conformada por elementos pisables que permitan acceder y que aporten retención de humedad, sin alterar el sistema. Se sugiere el uso de áridos gruesos, tipo bolón de cara plana, de unas 10" de espesor o elementos superpuestos para guiar la pisada entre la vegetación.

Ejemplo de sensor y trípode para monitoreo in situ:



Figura 1: Sensor TENMARS WGBT instalado a 1,5 m de altura con un trípode



Ejemplo de una grilla de puntos para la definición del monitoreo microclimático. En este caso, el trazado predefinido en planos,(a) la medición situación ex ante (b y c) y ex post(c):

Es recomendable que los puntos de muestreo sean demarcados con una estaca o banderín para que sean fácilmente detectados. Considerar que el muestreo puede repetirse anualmente, por lo que las demarcaciones deben ser resistentes al calor, la humedad y el uso.



Si la envergadura del proyecto lo permite, así como las estrategias de control del uso del espacio, se puede prever la instalación de una estación meteorológica, que permita recoger datos en tiempo real de temperatura, humedad, radiación solar y vientos. A diferencia de estaciones meteorológicas de alcance nacional, estas estaciones locales deben instalar sus sensores a 2 m de altura, con el fin de captar con mayor precisión, las acciones microclimáticas a la escala de las personas utilizarían el refugio climático. Las estaciones meteorológicas locales, en general, están diseñadas pensando en una instalación en áreas no urbanas, en espacios abiertos, por lo que utilizan energía solar, lo cual las hace prescindir de puntos de electricidad en el sector.

Por esta misma razón es necesario considerar, en el emplazamiento y en el diseño, un sistema de protección permeable a los fenómenos ambientales de evaluación, delimitando un área de 1 m² de seguridad. Esta delimitación no debe ser cubierta con elementos opacos, ya que podrían alterar la captura de los datos o generar interferencias en la transmisión de datos hacia la consola de monitoreo. Además, es necesario prever con anticipación, el lugar donde se instalará la unidad de monitoreo asociada con la estación, la cual debe tener conexión a Internet y no debería exceder los 300 m de distancia.



Como tercera alternativa existe la posibilidad de integrar sensores, dataloggers o cámaras trampa dentro del equipamiento, para permitir el registro de datos continuos. Para esto es relevante integrar en el diseño del mobiliario, sistemas operables, como gaviones con tapas desmontables, elementos empotrables o sistemas registrables, siempre que integren sistemas antivandalismo.

Figura 2: Imagen de referencia de estación meteorológica instalada con sensores a 2 m de altura, con delimitación de área de seguridad

b) Estrategias de diseño para prever el monitoreo de cantidad y calidad de aguas

En el diseño del espacio público centrado en el cierre del ciclo hidrológico, se espera que un proyecto logre reducir la demanda hídrica necesaria para su funcionamiento, y garantice la recuperación de agua en forma segura, tanto para la salud de las personas como los ecosistemas. La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), implican intervenciones para la captación, conducción, filtrado o regeneración, e infiltración de las aguas urbanas. Las fuentes de captación pueden ser excedentes de agua potable para el riego, agua gris regenerada, o agua lluvia recolectada de cubiertas o de la escorrentía de las calles. El ahorro hídrico hace referencia a la cantidad de agua potable que deja de utilizarse en la mantención de áreas verdes, lo cual puede depender de ampliar las fuentes de captación y mejorar las opciones de infiltración, como también de las estrategias de diseño y selección vegetal adaptadas a ambientes cálidos y secos.

I. Para controlar la calidad del agua que un sistema puede recuperar, es recomendable:



Que el diseño inicial permita la posibilidad de recolectar agua para toma de muestras del agua afluente (el agua que ingresa a un sistema) y del agua efluente (el agua que sale del sistema). Los ensayos de calidad de agua requieren recolectar 3 litros de agua por muestreo realizado.



En el caso de aguas pluviales provenientes de escorrentía de calles:

- Muestra de agua de escorrentía, antes de ingresar al sistema.
- Muestra de excedentes de agua previo al proceso de infiltración.



En el caso de aguas grises regeneradas mediante SBN se requiere:

- Muestra de agua gris recolectada.
- Muestra de agua tras proceso de regeneración mediante SBN.
- Muestra de agua superficial, excedente tras su uso en riego de áreas verdes.
- Muestra de agua previo al proceso de infiltración.

Aguas afluentes

En el caso de ingreso de aguas afluentes externas al proyecto (calle o cubiertas), es necesaria la incorporación de una cámara decantadora, que permita un pretratamiento de las aguas y la toma de muestras de aguas provenientes de las superficies aportantes.



En el caso de uso de sistemas de riego con aguas grises depuradas localmente, el estanque de acumulación debe ser registrable para la extracción de las muestras de agua.

Aguas efluentes

Cada refugio debe considerar una tubería de captación de las aguas efluentes en momentos de saturación del suelo, para el drenaje de excesos al sistema de evacuación de aguas lluvias, ya sea un sistema de gestión local con infiltración o el sistema de drenaje convencional. La incorporación de tubo dren en el punto más bajo, permite asegurar un drenaje rápido, en la medida que aporta humedad en su recorrido. Este drenaje debe conducir a un codo de retención de agua para muestreo.

En caso de que los efluentes escurran por zanjas o canales antes de **llegar al punto** de infiltración, se sugiere realizar un nuevo muestreo en el final de la zanja. Para esto se sugiere el uso de estanques o bidones acumuladores para retener entre 3 y 5 litros de agua de fácil disposición para muestreo. El diseño debe considerar el espacio para el almacenamiento y extracción segura de estos elementos.

Zona de infiltración

En el caso de que un proyecto incluya áreas de infiltración –cuya función es ayudar al descenso gravitacional del agua hasta las capas permeables del suelo para la recarga de acuíferos– Es necesario asegurar el seguimiento de la calidad de agua en el punto mas bajo posible a través de elementos registrables. El diseño de la area de infiltración puede incluir una tubería vertical registrable que permita la obtención de muestras de agua en el punto de mayor profundidad. La ejecución de este tipo de obras es compleja en su mantención, por lo que se recomienda una definición estratégica optimizar el plan de recogida de datos, considerando minimizar las obras de infiltración registrables.

La definición exacta de Los puntos de muestreo debe quedar predefinidos en el trazado inicial. Se deben dejar elementos visibles que indiquen claramente los lugares donde se toman las muestras, con una señalética asociada con un plano de puntos de muestreo, para que en el tiempo exista homogeneidad en la comparación de datos de calidad de agua, y de esta manera se puedan detectar en forma oportuna posibles puntos de contaminación.

II. Para evaluar la efectividad en la reducción de la demanda hídrica de riego, se recomienda el monitoreo del suelo a través del uso de sensores de humedad y temperatura. Es importante definir el lugar de instalación de el o los sensores en el suelo:



Hasta
60 m²

Áreas pequeñas (hasta 60 m²) con diferencia topográfica: instalar al menos 3 sensores, a una profundidad de 30–40 cm bajo el nivel de suelo. Se debe considerar un sensor de humedad en punto más bajo del proyecto, para identificar el punto más crítico de saturación de suelo, el segundo sensor en un punto intermedio y el tercer sensor en el punto más alto, para definir condiciones críticas de estrés hídrico.



Sobre
60 m²

En áreas medianas o grandes (sobre 60 m²) se sugiere controlar la humedad a través de una retícula que permita situar en el centro de cada subárea el sensor respectivo para tener una cobertura del suelo homogénea. Siempre reconociendo las diferencias topográficas, teniendo en consideración que el movimiento gravitacional del agua hará que las áreas bajas sean las zonas de mayor acumulación de agua.

Existen sensores autónomos o sensores conectados a una estación meteorológica. En el caso de disponer de espacio para la instalación de una estación meteorológica, considerar:



2,5 m²

Tamaño aproximado necesario para la estación meteorológica y su área de seguridad de 2,5 m².



30–40cm

Sensores de suelo, van enterrados a 30–40 cm, requieren de cables de extensión para conectar con unidad centralizada y deben ser canalizados por tuberías de PVC, con cajas estancas en cada extensión de cable, lo que asegura su durabilidad, pero dificulta la instalación.

c) Consideraciones de diseño para el monitoreo de variables de biodiversidad vegetal

Es importante considerar que el monitoreo de la vegetación es una actividad que requiere de un trabajo manual que realizan 1 o 2 personas, en un periodo donde se utiliza un registro fotográfico, mediciones con instrumentos y un registro en bitácora. Por lo tanto, es necesario incluir en el diseño una senda caminable que permita el tránsito y los accesos a las zonas de vegetación, sin generar perturbaciones.

Este monitoreo requiere del etiquetado previo y registro de cada individuo. El etiquetado debe tener en consideración las condiciones climáticas, por lo que debe ser hidrófugo y resistente a la exposición solar. Para el monitoreo de la biodiversidad, realizado in situ, resulta importante que los espacios de biodiversidad se alternen con áreas de resguardo y/o espacios de protección de las personas, para asegurar un mínimo nivel de movilidad, seguridad y bienestar al trabajo que se está realizando.

Adicionalmente a la evaluación vegetal y dependiendo del lugar donde se desarrolla el proyecto de refugio, se recomienda realizar un monitoreo periódico de fauna considerando la presencia de aves, reptiles, insectos y mamíferos como un indicador complementario de efectividad. En este sentido puede realizarse un seguimiento automatizado a través del uso de cámaras trampa. En éstas se registran fotografías a partir de sensores de movimiento. La cámara trampa debe ser localizada en un lugar específico que esté lo suficientemente resguardado del movimiento de las personas y del movimiento de hojas. Se sugiere definir un sistema de cámaras localizadas en zonas de claros de vegetación. En función del tipo de especie que busca registrar (aves o mamíferos) y posible tamaño, se debe definir la altura y la distancia entre un punto de observación y otro.

A modo de referencia, una cámara trampa en visión nocturna tiene un alcance de unos 27 metros. Se sugiere, además, enfocar cámaras en dirección y distancia cercana a fuentes de agua o de alimentos, de manera que las especies puedan ser atraídas a los puntos de observación.

Para la evaluación de entomofauna, se sugiere la realización de recorridos grabados por los bordes y el interior del refugio, identificando mediante un relato hablado y registro fotográfico las interacciones observadas. Ambos registros, fotografía y relato, ayudan luego en un trabajo de gabinete, a identificar las especies de insectos observadas y las especies vegetales con las que se estaba interactuando.



04

Capítulo 4

**Indicadores de evaluación
de efectividad**

Capítulo 4

Indicadores de evaluación de efectividad

La evaluación de efectividad de SBN en el diseño del espacio público, requiere el desarrollo y adaptación local de indicadores que contribuyan a definir en términos cuantitativos, si una variable a estudiar cumple o no con ciertos parámetros que ayudan a definir si es efectiva la solución para el fin que fue prevista. Un buen indicador debe poder cumplir con los criterios SMART: Específico (Specific): debe estar claramente definido y enfocado en un aspecto particular. Medible (Measurable): debe permitir su cuantificación o evaluación mediante datos. Alcanzable (Achievable): debe ser realista en cuanto a su medición dentro de los recursos y capacidades existentes. Relevante (Relevant): debe ser pertinente para evaluar el objetivo del proyecto. Temporal (Time-bound): debe poder evaluarse en un marco de tiempo específico.

Se propone un set de indicadores, que ayudan a medir la efectividad del funcionamiento de una SBN en cuanto al aprovechamiento de los recursos hídricos, la calidad del agua para la seguridad hídrica, la capacidad de adaptación climática al calor extremo y el incremento de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Los indicadores propuestos son la resultante de un extenso proceso de exploración y adaptación local, tanto a las condiciones de la macrozona central de Chile, como a las posibilidades de aplicabilidad en el caso específico de intervenciones en espacio público de escala barrial, que integren SBN.

Se presentan indicadores para las tres dimensiones en las cuales se enfoca esta guía, junto a métodos de aplicación y ejemplos aplicados. Además, según el caso, se presenta un glosario de conceptos asociados con los indicadores de las dimensiones de agua, clima y biodiversidad.

DIMENSIÓN	INDICADOR	OBJETIVO
AGUA	 Calidad de agua tratada	Evaluar la efectividad en la depuración de agua gris y agua lluvia tras la aplicación de una SBN.
	 Eficiencia hídrica de riego	Evaluar la eficiencia en el uso del agua de riego de un refugio climático mediante la comparación entre el consumo real y un consumo base de referencia, asegurando condiciones adecuadas para el desarrollo de la vegetación.
	 Almacenamiento e infiltración del suelo	Cuantificar la efectividad de una SBN para reducir la escorrentía y caudal pico del agua lluvia. Este indicador permite estimar qué porcentaje del volumen total de precipitación es captado por el sistema y no genera escurrimiento
CLIMA	 Reducción de Temperatura Ambiental (RTA).	Determinar el porcentaje de reducción de la Temperatura Ambiental en °C en un refugio climático, respecto de un espacio público tradicional aledaño.
	 Reducción de Temperatura Superficial (RTS).	Determinar el porcentaje de reducción de la temperatura superficial en grados Celsius de los materiales que se utilizan en la construcción de un refugio climático.
BIODIVERSIDAD	 Sobrevivencia Vegetal	Determinar la sobrevivencia de las especies de plantas de acuerdo con las condiciones de riego y suelos presentes en el refugio climático que se esté evaluando.
	 Crecimiento de la Vegetación	Determinar la productividad de las especies de plantas de acuerdo con las condiciones de riego y suelo, a través de un índice de crecimiento.
	 Salud de suelo; características biofísicas del suelo	Diagnosticar las características biofísicas del suelo que determinan las condiciones para un adecuado desarrollo de la flora y fauna (capacidad de retención de agua, humedad del suelo).
	 Salud de suelo; características bioquímicas del suelo	Diagnosticar las características bioquímicas del suelo que determinan las condiciones para un adecuado desarrollo de la flora y fauna del lugar (Contenido orgánico e inorgánico del suelo, nitrógeno, fósforo y potasio NPK).

Tabla 1: Dimensiones, indicadores y objetivos para evaluar efectividad de SBN en proyectos de Diseño Sensible al Agua

Indicadores dimensión agua



Se consideran tres posibles indicadores: calidad del agua tratada, eficiencia hídrica de riego, almacenamiento e infiltración del suelo.

I) Calidad de Agua Tratada



Definición:

Este indicador mide el grado de efectividad de depuración del agua que circula en un refugio climático que ha integrado SBN. El agua por evaluar puede ser agua gris regenerada, agua lluvia o agua potable. Su propósito es asegurar que dicha agua sea adecuada para el fin por el cual se planea utilizar, ya sea riego o infiltración. Para ello es necesario verificar el cumplimiento de estándares ambientales y sanitarios mediante el análisis de contaminantes físicos, químicos y biológicos, antes y después de la circulación por los refugios climáticos.



Objetivo:

Evaluar la efectividad en la depuración de aguas grises y aguas lluvia mediante una SBN implementada.

Metodología:

1

Caracterizar el caso de estudio correspondiente identificando espacialmente el flujo afluente y efluente.

2

Identificar la naturaleza del agua que ingresa a un refugio climático, así como su finalidad. Desde la naturaleza del agua, esta puede ser agua gris o esorrentía de agua lluvia. Entre su finalidad de uso puede ser riego de áreas superficiales o infiltración para recarga de acuíferos. Según esto, se define qué normativa vigente en Chile, debe aplicarse para la evaluación del sistema.

NORMATIVA	TIPO DE AGUA			
	GRIS	AGUA LLUVIA	RIEGO	INFILTRACION
NCh1333			✓	✓
Decreto 40	✓		✓	
Decreto Supremo 46		✓		✓

Tabla 2: Relación entre normativa aplicable en Chile y tipo de agua según su naturaleza y finalidad

Normativa NCh1333

Esta normativa es aplicable para el riego, estableciendo los límites máximos permitidos y rangos de influencia de parámetros. La normativa mide 30 parámetros generales de seguridad y además mide 8 parámetros críticos, los cuales, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), representan un potencial peligro para la biodiversidad del entorno (ver tabla 3). Se especifican todos los parámetros en el anexo 1.

PARÁMETRO CRÍTICO	RIESGO PRINCIPAL
Arsénico (As)	Tóxico para las plantas y acumulación en frutos.
Boro (B)	Micronutriente esencial en bajas dosis, pero fitotóxico en concentraciones ligeramente superiores. Afecta cultivos sensibles como cítricos, vid o lechuga.
Cadmio (Cd)	Se acumula en suelos y es absorbido por las plantas. Puede inhibir el crecimiento vegetal y reducir la productividad. Afecta la calidad de los productos agrícolas.
Cianuro (CN)	Altamente tóxico para la vegetación. Puede interferir en procesos enzimáticos de las plantas. También representa riesgo para microorganismos del suelo.
Cobre (Cu)	Puede inhibir la formación de raíces y afectar la actividad microbiana beneficiosa del suelo. Fitotóxico a largo plazo si se acumula.
Cromo	Puede ser fitotóxico y un contaminante persistente.
Plomo	Tiende a fijarse en suelos, pero puede ser absorbido por algunas especies. Su acumulación prolongada reduce la fertilidad del suelo.
Zinc	Efectos fitotóxicos en elevadas concentraciones

Tabla 3: Parámetros críticos asociados a la NCh1333 y sus principales riesgos asociados.

Referencia: Ayers y Westcot (1987)

Decreto Supremo 46 (DS-46)

Esta normativa regula la calidad del agua que infiltra al subsuelo desde una fuente emisora, estableciendo límites máximos permisibles para proteger los acuíferos. La normativa distingue entre dos enfoques de evaluación: el primero orientado a establecer límites generales según la

vulnerabilidad del acuífero para proyectos nuevos de infiltración artificial. El segundo ajusta los límites de calidad de acuerdo con las condiciones actuales del agua subterránea en zonas previamente evaluadas (ver Tabla DS 46, en el Anexo 1). Este Decreto propone 29 parámetros para evaluar, de los cuales 22 son generales y 6 son críticos, representando un potencial peligro para la biodiversidad en un entorno.

PARÁMETRO CRÍTICO	RIESGO PRINCIPAL
Arsénico (As)	Elemento altamente tóxico, soluble y persistente. Su infiltración puede generar contaminación crónica del acuífero, con difícil remediación
Cadmio (Cd)	Metal pesado de alta movilidad en suelos ácidos. Tiende a acumularse en la zona saturada afectando la calidad química del acuífero a largo plazo
Cromo Hexavalente (Cr ⁺⁶)	Muy soluble y tóxico. Se infiltra con facilidad y puede alterar la composición del agua subterránea, siendo difícil de remover una vez presente
Mercurio (Hg)	Altamente contaminante, aún en bajas concentraciones. Puede transformarse en formas más tóxicas bajo condiciones anaeróbicas en el subsuelo
Sulfuros (S ⁻²)	Puede alterar la química del acuífero, afectando su calidad ecológica
Zinc (Zn)	Puede afectar los equilibrios microbiológicos del acuífero

Tabla 4: Parámetros críticos asociados al Decreto Supremo 46 y sus principales riesgos asociados.
Fuente: Elaboración propia a partir de Decreto Supremo 46/2002, Ministerio Secretaría General de la Presidencia (Chile), y criterios técnicos de la OMS, 2017.



 Humedal subsuperficial de flujo horizontal, SBN para la regeneración de aguas grises UTEM, 2025

Decreto Supremo 40/2024

El Decreto Supremo 40/2024, emanado de la Ley 21.075, define las condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises, así como los requisitos o antecedentes que se deberán acompañar a las solicitudes de aprobación del proyecto y autorización de funcionamiento, según corresponda, referidos al diseño, construcción y operación de los referidos sistemas.

El reglamento define la reutilización de aguas grises a partir de 4 tipos de uso posible: uso urbano, uso recreativo, uso ornamental y uso silvoagropecuario, para lo cual se definen distintos estándares de regulación mínima. Para efectos de los refugios climáticos, asociados con refugios biourbanos, se consideran como usos posibles, el uso ornamental y el uso recreativo mediante riego subsuperficial. Esto con la finalidad de adaptar las soluciones al enfoque conceptual de una SBN, donde la incorporación de cloro sería dañina para el desarrollo de la biodiversidad. En usos recreativos se incluye el riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público. Por ejemplo: parques o plazas, áreas verdes de establecimientos educacionales, cementerios parque y otros. El riego subsuperficial implica que la lámina de agua de riego no debe ser visible. Por otra parte, se definen usos ornamentales, aquellas áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público.

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO USO RECREATIVO RIEGO SUBSUPERFICIA	USO ORNAMENTAL
DBO ₅	MG/L	50	70
SST	MG/L	50	70
CF	NMP/100 ML	1000	1000
Turbiedad	UNT		30

Tabla 5: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de acuerdo con el Decreto 40 para uso recreativo y ornamental.

3

Protocolo de muestreo:

Una vez definidos los puntos de muestreo de cada afluente-efluente, se debe definir un plan de mediciones con una frecuencia temporal. Considerando la variabilidad estacional, se sugiere un muestreo trimestral (con un mínimo semestral), para poder controlar en el tiempo los cambios y asociaciones vinculadas con la presencia o ausencia de aguas lluvias, así como también –en el caso de regeneración de aguas grises– provenientes de edificios de uso público o establecimientos educacionales, la temporalidad de usos.

Las muestras de agua deben ser analizadas por un laboratorio acreditado. Los presupuestos de análisis por muestra de agua varían según los parámetros que incluya la normativa que debe ser aplicada. La recogida de las muestras debe realizarse de acuerdo con protocolos de laboratorio, tomando las medidas de protección asociadas, en la manipulación de muestras con especial cuidado en el agua gris cruda. Según la normativa por aplicar, se define la cantidad de agua que debe ser recolectada por muestra para el posterior análisis de laboratorio. En el anexo 1 se pueden encontrar tablas con materiales requeridos, estimación de costos y cantidad de agua necesaria por cada muestra según la normativa que se aplicará.

Una vez conocidos los materiales, costos y volúmenes mínimos necesarios para el muestreo, la recolección de las muestras debe realizarse cumpliendo las siguientes indicaciones con el fin de asegurar un correcto muestreo:

- I Utilizar guantes de látex durante todo el procedimiento.
- II En el inicio de la recolección de la muestra, se debe aclarar si se utilizaran envases reciclados para trasladar a laboratorio, o el laboratorio entregará los envases pre-preparados con preservantes químicos. En el primer caso, es necesario tomar la precaución de enjuagar tres veces en el momento previo a la recolección de la muestra de agua.
- III Una vez llenado el envase se debe rotular indicando: información del punto de muestreo, fecha, hora y lugar.
- IV Una vez recolectadas las muestras, se deben reservar y derivar al laboratorio correspondiente en un tiempo inferior a 48 horas, puesto que luego de dicho tiempo las muestras recolectadas caducarán y no será posible su análisis.

4

Laboratorio:

El laboratorio entregará los resultados del análisis en un margen de tiempo variable entre 7 a 15 días. Los resultados serán comparados con los valores asociados con la normativa aplicable, y se construirá la base de datos la comparación anual en el tiempo. Esta comparación resulta fundamental, ya que esta sería la manera de verificar que la SBN está cumpliendo su función, y además permite alertar tempranamente si hay alguna falla en el sistema de depuración de aguas, ya sea para riego, o infiltración.

5

Índices del indicador Calidad de Agua Tratada**a) índice para Normativa NCh1333**

La Normativa NCh1333 establece los requisitos de calidad del agua destinada a riego, considerando un amplio conjunto de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Sin embargo, no establece un índice compuesto para evaluar de forma integrada el cumplimiento normativo, lo que dificulta una interpretación unificada del resultado. La evaluación tradicional considera solo el porcentaje de cumplimiento de parámetros individuales, sin diferenciar entre parámetros críticos (como arsénico) y parámetros generales (como conductividad, pH o turbidez). Por ejemplo, un 90% de cumplimiento no sería aceptable si el 10% que no cumple incluye arsénico. Por ello, se propone un indicador ponderado que entregue una visión técnica, asignando mayor peso a los parámetros críticos, que representan mayor riesgo para los ecosistemas.

$$IC_{NCh1333} = 0,4 \left(\frac{n_g}{22} \right) + 0,6 \left(\frac{n_c}{8} \right)$$

Donde:

- $IC_{NCh1333}$ = índice de calidad del agua ponderado para la NCh1333.
- n_g = número de parámetros generales que cumplen la normativa.
- n_c = número de parámetros críticos que cumplen la normativa.

b) índice para Decreto Supremo DS 46

El DS46 considera el porcentaje de cumplimiento de los parámetros individuales, lo cual al dificulta su lectura integral para proyectos de esta naturaleza. Por lo cual, se propone un índice ponderado que entregue una visión técnica, asignando mayor peso a los parámetros críticos, que representan mayor riesgo para los ecosistemas.

$$IC_{DS46} = 0,4 \left(\frac{n_G}{23} \right) + 0,6 \left(\frac{n_C}{6} \right)$$

Donde:

- IC_{DS46} = índice de calidad del agua ponderado para el Decreto Supremo 46.
- n_G = número de parámetros generales que cumplen la normativa.
- n_C = número de parámetros críticos que cumplen la normativa.

Con los valores obtenidos del Índice (IC), se propone una interpretación técnica asociada a las normas NCh 1333 y DS46, para poder evaluar el cumplimiento de parámetros y asociar a recomendaciones prácticas.

IC (%)	DIAGNÓSTICO SUGERIDO	INTERPRETACIÓN TÉCNICA
90-100	Calidad del agua excelente	Todos o casi todos los parámetros cumplen, incluidos los críticos
75-89	Calidad del agua aceptable	Cumple la mayoría de los parámetros, pero representa 1 o más cercanos a umbrales críticos. Revisar oportunidades de mejora
50-74	Calidad del agua regular	Cumple menos del 80% de parámetros críticos. Presencia de contaminantes. Evaluar y optimizar sistema de tratamiento
MENOS DE 50	Calidad del agua mala	Uno o más parámetros críticos fuera de la norma. Riesgo ambiental significativo. Implementar medidas correctivas urgentes.

Tabla 6: Diagnóstico sugerido e Interpretación técnica para los Indicadores de la norma NCh1333 y DS-46.

c) índice para Decreto 40; eficiencia de remoción

Cuando se evalúan muestras de agua residual bajo los requisitos del Decreto 40/2024 es necesario aplicar un enfoque que permita medir la eficacia del tratamiento. Dado que el D40 establece límites máximos permisibles, es recomendable, para evaluar proyectos, definir en qué medida se logra remover cada contaminante; es decir, aplicar eficiencia de remoción, la cual es especialmente útil para monitorear el deterioro del rendimiento debido al paso del tiempo y justificar mejoras operacionales. La eficiencia de remoción se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$E_{ri} = \left(\frac{C_{af} - C_{ef}}{C_{af}} \right) \cdot 100$$

Donde:

- E_{ri} = porcentaje de eficiencia de remoción para el parámetro analizado.
- C_{af} = concentración del parámetro en el afluente (entrada al sistema).
- E_{ef} = concentración del parámetro en el efluente (salida del sistema).

$$E_{rp} = \frac{E_{r1} + E_{r2} + E_{r3} + E_{r4}}{4}$$

Donde:

- E_{rp} = porcentaje de eficiencia de remoción promedio.
- E_{r1} = porcentaje de eficiencia de remoción para la DBO5.
- E_{r2} = porcentaje de eficiencia de remoción para la SST.
- E_{r2} = porcentaje de eficiencia de remoción para los coliformes fecales.
- E_{r2} = porcentaje de eficiencia de remoción para la turbiedad.



Vista general de humedal de regeneración de agua gris.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)	DIAGNÓSTICO SUGERIDO	INTERPRETACIÓN TÉCNICA
90-100	Excelente Remoción	Mantener las condiciones operativas actuales
75-89	Buena Remoción	Revisar oportunidades de mejora en el proceso
50-74	Remoción Moderada	Evaluar y optimizar el sistema de tratamiento
MENOS DE 50	Remoción Deficiente	Implementar medidas correctivas urgentes

Tabla 7: Diagnostico de indicador Decreto 40 eficiencia de remoción.

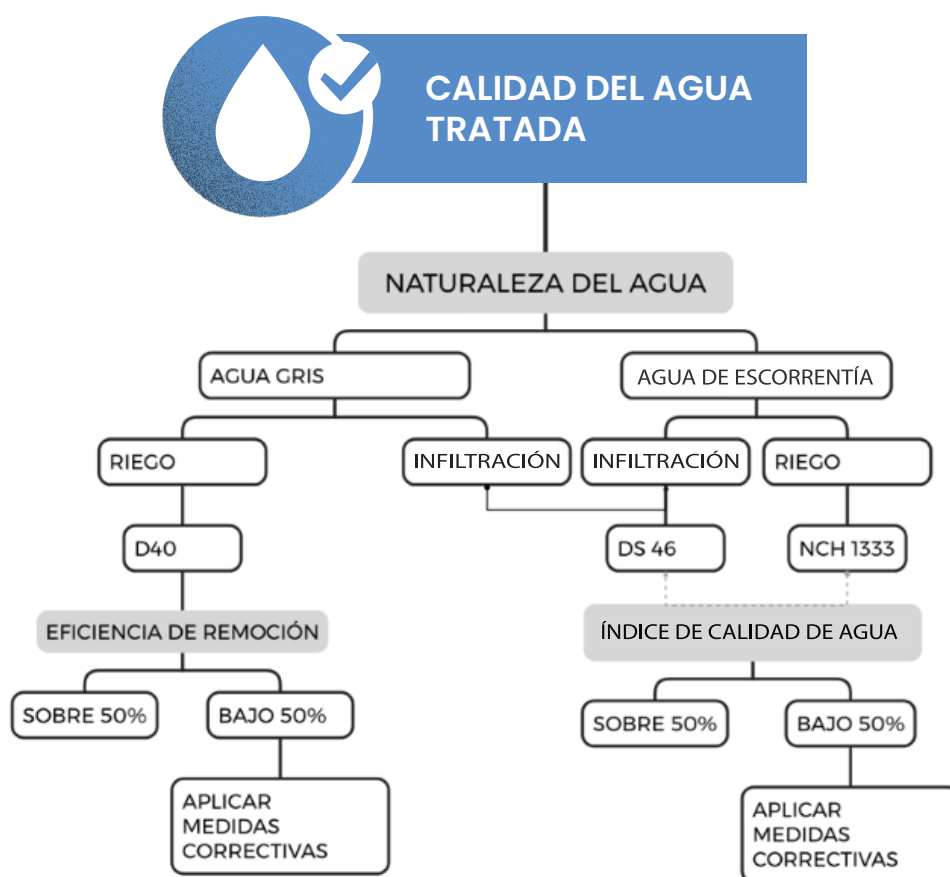


Figura 4: Diagrama de flujo para el indicador de calidad del agua tratada.

II) Eficiencia hídrica de riego



Definición:

Este indicador evalúa la capacidad del sistema de riego de un caso de estudio correspondiente a un refugio climático, para reducir la demanda hídrica sin comprometer la salud de la vegetación. Dicha capacidad se expresa en porcentaje de agua ahorrada respecto de un consumo base teórico de riego.



Objetivo:

Evaluar la eficiencia en el uso del agua de riego de un refugio climático mediante la comparación entre el consumo real y un consumo base de referencia, asegurando condiciones adecuadas para el desarrollo de la vegetación.

Metodología:

1

Es necesario definir el escenario base, en donde se debe determinar un valor de referencia para consumo de agua de riego convencional, considerando los siguientes datos:

- a) Superficie total regada en m² o hectáreas.
- b) Consumo base de la vegetación en Litro/día m². Esto se realiza de acuerdo con lo siguiente:

Se debe determinar el tipo de cobertura vegetal de acuerdo con diferentes tipologías. Se puede utilizar de referencia la Guía de criterios de sostenibilidad en eficiencia hídrica y energética, para la formulación de iniciativas de inversión en espacios abiertos (GORE RM, 2023). Para el criterio 4, se distinguen los siguientes tipos de vegetación y sus requerimientos hídricos de base: árboles, arbustos, gramíneas, cubresuelos o césped.

TIPO DE VEGETACIÓN	Requerimiento base estimado (L/m ² día)
Árboles	2-3
Arbustos	2-3
Gramíneas	2-3
Cubresuelos y herbáceas	2-3
Césped	3-4

Tabla 8 : Rango de consumo base estimado para diferentes tipos de vegetación.

Fuente: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, 2023

En otros casos se puede determinar el requerimiento de riego (R.R) ocupando para ello la siguiente fórmula:

$$R.R = ET_0 \cdot K_c \cdot Ef$$

Donde:

- $R.R$ = requerimiento de riego en $\frac{L}{m^2 \text{ día}}$
- ET_0 = evapotranspiración estándar.
- K_c = coeficiente de consumo de agua del cultivo.
- K_c = eficiencia del sistema de riego.

Algunos datos generales de evapotranspiración, así como coeficientes de consumo y eficiencia según sistema de riego referenciales, se pueden revisar en esta tabla.

ALGUNOS ET_0 REPRESENTATIVOS (MM DE LÁMINA)	ALGUNOS K_c * (EN % DE ET_0) REPRESENTATIVO	ALGUNOS Ef REPRESENTATIVO (EN % DE ET_0)
Santiago enero: 170 Santiago marzo: 80 Colina enero: 200	Césped verano: 0,6 – 1,15 Cítricos: 0,75 Coníferas: 1,0 Hederá hélix: 0,2 – 0,3 Lantana montevid: 0,18 – 0,36 Pitósporo tobira: 0,18 – 0,36 Linguistrina: 0,4 – 0,6 Arbutus: 0,18 – 0,36	Riego por goteo: 1,1 Multichorro rotativo: 1,15 Rotores y boquillas: 1,2 *Aspersores impacto: 1,25 *Riego por tendido: 1,5

Tabla 9: Valores referenciales para calcular el Requerimiento de Riego (R.R)

*Los valores de riego eficiente deben ser menores o iguales a 1,2.

Fuente: Manual de Elementos Urbanos Sustentables, Tomo III (Minvu, 2018).

c) Conociendo el valor del requerimiento de riego, se debe aplicar la siguiente fórmula, cuyo resultado se expresa en L/día:

$$D.R = A \cdot R.R$$

Donde:

- $D.R$ = requerimiento del caso base expresado en $L/día$
- A = área donde se distribuye el riego, expresado en m^2
- $R.R$ = requerimiento de riego del caso base expresado en $\frac{L}{m^2 \text{ día}}$

c) Por lo tanto, definiendo una ventana de tiempo de riego en días, es posible determinar el volumen total regado para el caso de base empleando la siguiente ecuación:

$$V_{base} = D.R \cdot t$$

Donde:

- V_{base} = volumen del caso base expresado en litros.
- $D.R$ = requerimiento expresado en $L/día$
- t = tiempo de riego de la ventana de observación expresado en días.

2

Con el fin de evaluar cuánto es el ahorro hídrico en el escenario real de requerimiento hídrico de un Refugio Biourabano, es necesario determinar el volumen total de agua requerido por el refugio, con el fin de compararlo posteriormente con el volumen correspondiente al caso base. Para ello, se debe establecer el área de riego efectiva y estimar la demanda hídrica asociada con el tipo de cobertura existente en el sitio. Una vez conocidos estos datos, se puede calcular el volumen total demandado. A continuación, si el riego se realiza de manera manual, se propone la siguiente metodología para estimar el caudal aplicado.

Se debe llenar un recipiente de volumen conocido (20-30 litros como recomendación). Para ello se debe abrir la manguera y contabilizar el tiempo en segundos en el cual el recipiente se llena.

Una vez conocidos los datos anteriores, se debe aplicar la fórmula de caudal:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

- Q = caudal de riego expresado en L/s .
- V = volumen del recipiente utilizado en litros.
- t = tiempo de llenado en segundos.

Luego de esto, es necesario registrar el tiempo que dura cada evento de riego durante un período determinado. Se debe registrar en cada evento de riego el tiempo en minutos para el registro sistemático. Una vez recopilada esta información, se puede calcular el volumen de agua aplicado por medio de la siguiente ecuación:

$$V_R = 60 \cdot Q \cdot t$$

Donde:

- V_R = volumen de riego del refugio expresado en litros.
- Q = caudal de riego expresado en L/s .
- t = tiempo de riego expresado en minutos.

Además, es necesario definir una ventana de observación para el riego; es decir, comparar la eficiencia hídrica, por ejemplo, en meses de verano, lo que da un período expresado en días.

Se recomienda implementar controles de condición vegetal para determinar con precisión cuándo es necesario regar. Para ello, la instalación de sensores de humedad en el suelo resulta una herramienta clave, ya que permiten diagnosticar en tiempo real si el sustrato se encuentra en condiciones de estrés hídrico, ayudando a evitar tanto el riego innecesario como la falta de agua crítica para las especies vegetales. Estos sensores facilitan la toma de decisiones basadas en datos, optimizando la frecuencia y duración del riego según las condiciones reales del suelo y no según estimaciones generales o rutinas fijas. Por lo tanto, se recomienda incorporar su uso como parte de un protocolo de riego eficiente, especialmente en contextos de escasez hídrica o restricciones operativas.

3

Una vez conocidos los valores para el volumen del caso base y para el volumen de riego aplicado en el refugio, se aplica el indicador denominado Eficiencia Hídrica de Riego, expresado como porcentaje. Este indicador se calcula mediante una fórmula sencilla basada en la comparación entre el volumen esperado (caso base) y el volumen efectivamente utilizado en el refugio. Esta metodología simplificada permite su aplicación entre equipos técnicos de municipios o entornos operativos donde no se dispone de software especializado ni herramientas complejas.



La fórmula utilizada facilita la toma de decisiones para un uso racional del agua en entornos urbanos.

$$\text{Eficiencia de riego} = \frac{V_{base} - V_R}{V_{base}} \cdot 100\%$$

Donde:

- V_{base} = volumen del caso base expresado en litros.
- V_R = volumen de riego del refugio expresado en litros.

4 Con los datos obtenidos, se puede evaluar e interpretar el nivel de eficiencia hídrica en el riego, así como las posibles orientaciones en el caso de que los valores globales estén bajo el 60% de eficiencia.

Los rangos propuestos en la tabla permiten clasificar los resultados en niveles de eficiencia hídrica del riego observables, recomendando acciones proporcionales al desempeño detectado. Así, el diagnóstico guía la toma de decisiones operativas, desde mantener prácticas actuales hasta rediseñar completamente el sistema de riego o aplicar tecnología de control.

EFICIENCIA HÍDRICA (%)	DIAGNÓSTICO SUGERIDO	INTERPRETACIÓN TÉCNICA
>80%	Excelente	Uso del agua muy eficiente sin riesgo para la vegetación
60%-80%	Bueno	Buen desempeño, con oportunidad de mejora
40%-60%	Bajo	Uso ineficiente del agua, revisar diseño y frecuencias de riego
<40%	Muy bajo	Pérdida de eficiencia o riesgo de estrés hídrico. Ajustar la metodología

Tabla 10: Diagnóstico e interpretación del indicador eficiencia hídrica.

5

Se recomienda aplicar este indicador una vez que finalice una temporada en específico, idealmente verano debido a que es en ese momento cuando se producen las temperaturas más altas.

La Figura Presenta un diagrama de flujo que indica los pasos que deben seguirse para su aplicación.

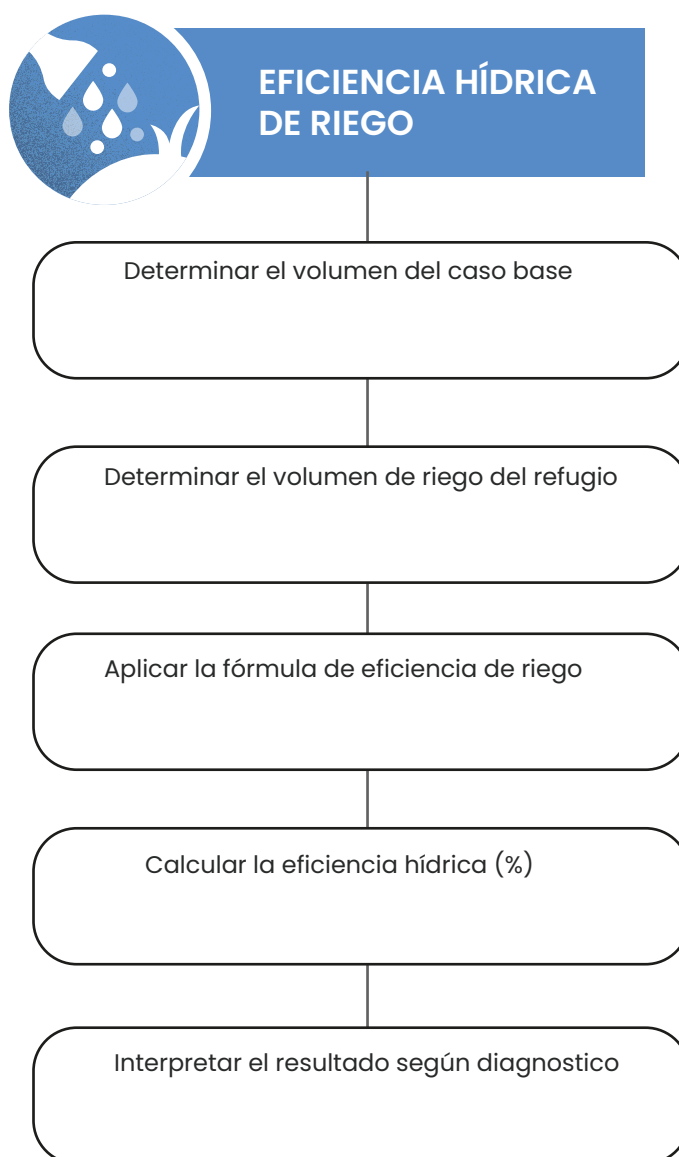


Figura 5: Diagrama de flujo para el Indicador de eficiencia hídrica de riego.

III) Almacenamiento e Infiltración del suelo



Definición:

Este indicador permite evaluar la capacidad que tiene un refugio para gestionar el agua lluvia en forma local, evitando su escurrimiento superficial. Su aplicación se limita a una superficie reducida aportante, considerando áreas similares a platabandas, bandejones o pequeñas plazoletas. Para ello cuantifica el volumen de agua lluvia que el sistema es capaz de retener, infiltrar y almacenar temporalmente en relación con un evento de precipitación definido. Se expresa como un porcentaje de efectividad en la reducción de escorrentía superficial.



Objetivo:

Cuantificar la efectividad que tiene un refugio para reducir la escorrentía de las aguas lluvias. Este indicador permite estimar qué porcentaje del volumen total de precipitación es captado por el sistema y no genera escurrimiento.

Metodología:

1 El primer paso consiste en seleccionar un evento de precipitación representativo, que servirá como base para el análisis. Este puede corresponder a una lluvia reciente o a una lluvia de diseño con cierta recurrencia. A partir de ello se determina la precipitación total caída (P), expresada en milímetros, así como la duración del evento, expresada en minutos. Para obtener estos datos, se puede utilizar un pluviómetro manual instalado en un lugar abierto, sin obstáculos verticales, o bien recurrir a registros meteorológicos de estaciones cercanas.

2 En segundo lugar, se debe medir el área (A), expresada en m^2 que aporta escorrentía al refugio. Esta superficie incluye los sectores impermeables o semipermeables cuyos flujos de agua llegan directamente al lugar donde se encuentra el refugio. Para llevar a cabo esta medición puede hacerse directamente en terreno utilizando cinta métrica o Google Earth para superficies mayores. Luego se debe seleccionar el coeficiente de escorrentía (C), el cual indica la proporción de la lluvia total que participa directamente en el escurrimiento cuando la lluvia es de duración indefinida. El resto de la precipitación queda detenida en las depresiones, se infiltra o se evapora. Los coeficientes más utilizados son 0,9 para cubiertas, 0,9 para pavimentos como hormigón y asfalto, y de 0,35 para jardines.

3

Una vez conocidos los valores de precipitación y de área se debe calcular el volumen en litros de precipitación total sobre el área de captación, para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$V_{lluvia} = P \cdot A \cdot C$$

Donde:

- V_{lluvia} = volumen diario de precipitación expresado en litros
- P = precipitación total del evento seleccionado, expresada en mm.
- A = área de aporte al sistema, expresada en m².
- C = coeficiente de escorrentía según la superficie.

4

Para estimar la tasa de infiltración del suelo de forma precisa y representativa, especialmente en contextos urbanos, se recomienda aplicar lo establecido en la Norma Chilena NCh 3610:2020, titulada: Geotecnia - Determinación de la conductividad hidráulica saturada de campo. Esta normativa define procedimientos técnicos para medir la conductividad hidráulica saturada en suelos sin nivel freático detectable, mediante cuatro métodos de ensayo en terreno: nivel constante, nivel variable (Porchet), doble anillo y tensión infiltrómetro. Cada uno requiere condiciones específicas, equipos adecuados y personal capacitado.

Considerando la complejidad de los estudios se recomienda subcontratar a un laboratorio o empresa especializada que ejecute el estudio mediante calicatas y ensayos en campo. Esta opción permite caracterizar el perfil del suelo y obtener valores reales bajo condiciones controladas, fundamentales para el diseño e implementación de SBN..

Para orientar técnicamente la toma de decisiones y facilitar la planificación presupuestaria en contextos municipales o comunitarios, se presenta una estimación de los costos asociados con la realización de estudios de infiltración mediante calicatas y ensayos en terreno.

Estos valores se basan en precios de mercado publicaciones técnicas y referencias de empresas especializadas en/ geotecnia y obras menores. Los valores fueron estimados considerando las actividades mínimas requeridas para cumplir con lo propuesto por la NCh 3610/2020, incluyendo: excavación de calicatas de distintas profundidades, realización de ensayos de infiltración en campo.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	COSTO (UF)
Excavación de calicata 1m x 1m x 1,5m	Excavación mecánica en suelo	1,50
Excavación de pozo de 2m de profundidad	Excavación vertical para estudios más profundos	4
Ensayo de infiltración en campo (doble anillo)	Realización de ensayo según NCh 3610:2020	4
Informe técnico de resultados	Elaboración de informes con análisis y recomendaciones	2,5

Tabla 11: Costos estimados para estudios de infiltración mediante calicatas.

Si no es posible realizar un ensayo directo en terreno, se puede estimar teóricamente la tasa de infiltración promedio en función de la textura del suelo o tipo de estrato predominante. Para ello, se asigna un valor referencial dentro de un rango técnico internacionalmente aceptado. Esta opción es útil en fases iniciales de diagnóstico o en casos con limitaciones operativas, aunque su principal desventaja es que no representa mediciones reales, por lo que los resultados pueden diferir significativamente de las condiciones específicas del sitio. Debido a que los suelos no son homogéneos y presentan variaciones en su estructura, compactación y contenido de materia orgánica, se utiliza una clasificación por rangos, lo que permite una estimación más realista y útil para fines de diseño y evaluación en soluciones basadas en la naturaleza.

TIPO DE SUELO	TASA DE INFILTRACIÓN (mm/h)
Arena	90-150
Franco arenoso	50-90
Franco	20-50
Franco limoso	10-20
Franco arcilloso	5-10
Arcilloso	2-5
Arcilla	0,5-2
Arcilla pesada	Menor a 0,5

Tabla 12: Rangos de tasa de infiltración por tipo de suelo en mm/h, según clasificación técnica del USDA-NRCS (2007).

5

Una vez conocida la tasa de infiltración, se puede calcular el volumen infiltrado en litros. Para ello, primero se debe definir el área aportante; es decir, la superficie de la SBN destinada a infiltrar agua. Luego, se aplica la siguiente fórmula:

$$V_{inf} = I \cdot A_{inf} \cdot t$$

Donde:

- V_{inf} = volumen infiltrado en litros.
- I = tasa de infiltración promedio expresada en mm/h.
- A_{inf} = área aportante a la infiltración en m².
- t = tiempo de duración del evento de precipitación.

6

Una vez calculados los volúmenes de precipitación e infiltración, se debe estimar el volumen almacenado por la SBN; es decir, la cantidad de agua (en litros) que puede retener temporalmente. Para estimar dicho volumen de agua retenido temporalmente por una SBN se propone identificar y medir, el área donde se acumula el agua durante un evento de precipitación, junto con la altura máxima alcanzada por esa lámina de agua.

A partir de esas dos mediciones se puede calcular el volumen de almacenamiento. Dado que muchas SBN no tienen geometría regular, no es necesario que el área sea perfectamente rectangular. Lo importante es delimitar visualmente el perímetro afectado por la lluvia (por ejemplo, usando estacas o cinta), y aplicar un principio aproximado basado en formas geométricas simples.

Procedimiento en terreno:

- i) Antes de la lluvia instalar una regla graduada en centímetros en el punto más bajo o representativo de la SBN.
- ii) Durante el evento de lluvia permitir que el agua se acumule de manera natural.
- iii) Después de la lluvia medir la altura máxima alcanzada por el agua en cm (h).
- iv) Delimitar el área mojada observable, y medir su largo (L) y ancho (B) aproximado en metros.
- v) Calcular el área y volumen, para ello se aplican las siguientes fórmulas:

El área A se calcula de la siguiente manera:

$$A = L \cdot B$$

Donde:

- A = área mojada expresada en m^2 .
- L = largo de la sección en metros.
- B = ancho de la sección en metros.

Luego de esto, se determina el volumen almacenado de la siguiente forma:

$$V_{alm} = A \cdot h$$

Donde:

- V_{alm} = volumen almacenado por la SBN en litros.
- A = área mojada expresada en m^2 .
- h = altura máxima alcanzada por el agua en cm.

Este método puede ajustarse para superficies irregulares, dividiendo el área en secciones o estimando mediante polígonos equivalentes. A continuación, en la Figura 6 se presenta un diagrama dividido en cuatro etapas visuales: instalación previa, acumulación de agua, medición de altura y estimación del área útil para el cálculo.

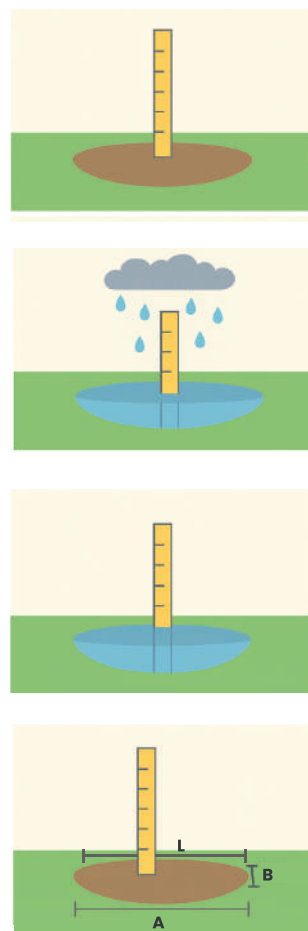


Figura 6: Esquema visual del procedimiento para estimar el volumen de agua almacenado.

7

Gracias a los datos anteriores es posible determinar el volumen de captura, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$V_c = V_{inf} + V_{alm}$$

Donde:

- V_c = volumen capturado por la SBN en litros.
- V_{inf} = volumen infiltrado por la SBN en litros.
- V_{alm} = volumen almacenado por la SBN en litros.

8

Con los resultados obtenidos del volumen almacenado por la SBN y del volumen total precipitado, es posible aplicar un indicador que evalúe la capacidad de control de escorrentía pluvial. Si bien existen modelos hidrológicos avanzados que permiten simular el comportamiento del agua en distintos escenarios, en este caso se opta por una fórmula simplificada. Se ajusta la fórmula aplicando un límite técnico superior, dicha fórmula permite calcular el indicador denominado: Porcentaje de control de escorrentía pluvial por SBN, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Control de escorrentía} = \min\left(\frac{V_c}{V_{lluvia}}, 1\right) \cdot 100$$

Donde:

- V_c = volumen de captura de la SBN en litros.
- V_{lluvia} = volumen de precipitación expresado en litros.

9

Una vez aplicado el indicador, se interpreta el resultado del indicador, para ello siguiendo las recomendaciones de la Tabla 13

CATEGORÍA	RANGO DE CONTROL (%)	INTERPRETACIÓN TÉCNICA
Muy alto	90-100	La SBN retiene prácticamente la totalidad del volumen de escorrentía generado por eventos de lluvia frecuentes. Indica un diseño óptimo y una alta eficiencia en el control de la escorrentía.
Alto	70-89	La SBN controla una proporción significativa del volumen de escorrentía, reduciendo notablemente el impacto en el sistema de drenaje y cuerpos receptores.
Moderado	50-69	La SBN proporciona un control parcial de la escorrentía, siendo efectiva para eventos de lluvia menores, pero puede requerir medidas complementarias para eventos más intensos.
Bajo	30-49	La SBN ofrece una capacidad limitada de control de escorrentía, siendo necesario evaluar mejoras en el diseño o implementación de medidas adicionales.
Muy bajo	0-29	La SBN tiene una eficiencia mínima en el control de la escorrentía, lo que puede indicar un diseño inadecuado o la necesidad de mantenimiento y ajustes significativos.

Con lo anterior, es posible definir rangos de eficiencia para evaluar el desempeño de las SBN en el control de escorrentía. La tabla facilita la interpretación de los resultados del indicador, permitiendo a profesionales no especializados en ingeniería hidráulica tomar decisiones informadas sobre el diseño, implementación y mantenimiento de las SBN.



10

Si bien este indicador puede ser aplicado en gran parte por personal técnico municipal, se recomienda subcontratar a un especialista exclusivamente para la medición de la tasa de infiltración, ya que requiere instrumentación precisa y experiencia en terreno. El modelo está diseñado para su evaluación en eventos de precipitación significativos o extremos.

Cabe destacar que esta metodología depende de las condiciones climáticas, ya que requiere la ocurrencia de una lluvia real o, en su defecto, la simulación de un evento de precipitación.

En la Figura 4 se presenta un diagrama de flujo que indica los pasos que deben seguirse para su aplicación.

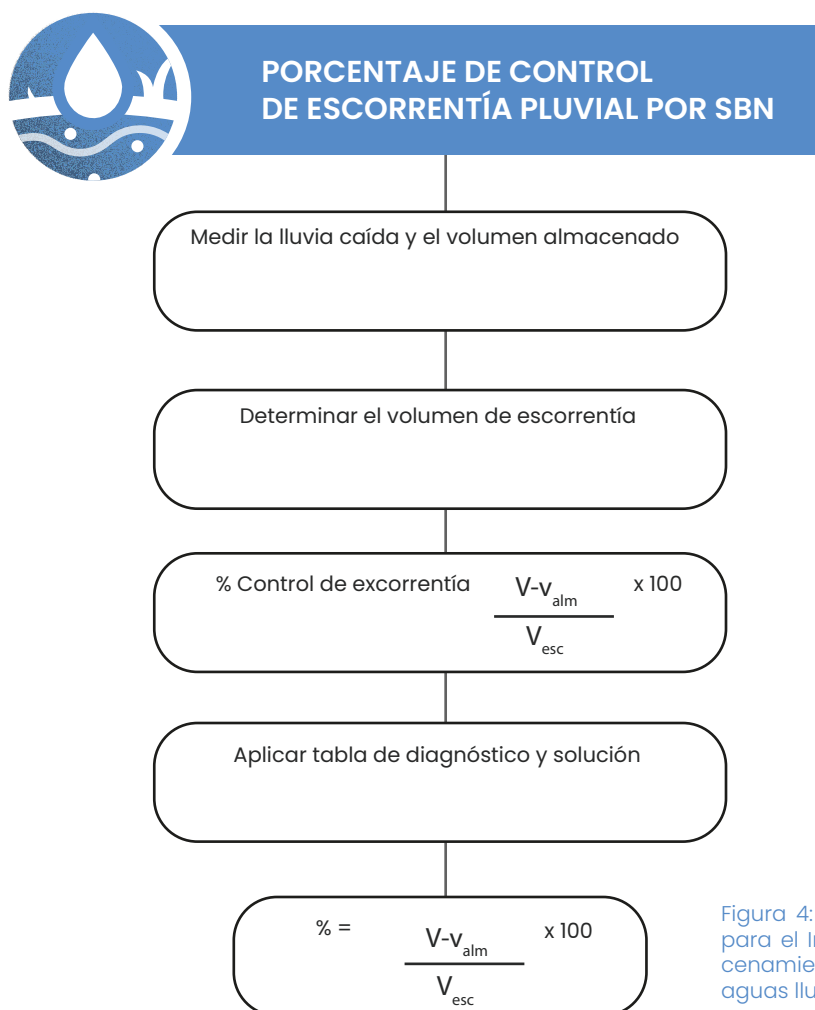


Figura 4: Diagrama de flujo para el indicador de almacenamiento e infiltración de aguas lluvias.

Indicadores dimensión clima



Se consideran dos indicadores para evaluar el clima, el primero se asocia con la reducción de la temperatura ambiental que un refugio climático puede tener, respecto de un lugar donde no se han realizado intervenciones.

El segundo indicador se asocia con el comportamiento térmico de los materiales, ambos criterios de evaluación se asocian directamente con el Diseño Urbano Sensible al Clima.

I) Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)



Definición:

El indicador se refiere a la capacidad de reducir la Temperatura Ambiental (RTA) de un espacio diseñado para alcanzar los estándares de confort térmico en comparación con un área urbana no intervenida representativa del espacio público.



Objetivo:

Determinar el porcentaje de reducción de la Temperatura Ambiental en °C en un refugio climático, respecto de un espacio público tradicional próximo.

Metodología:

Para determinar la efectividad en la reducción se realizará una comparación de datos entre un caso base (espacio público próximo) y el área de estudio (SBN). Este método es comparativo y necesita definir estas dos áreas con claridad. La comparación se realizará durante la misma ventana de observación.

1

Definir área de estudio:

El área de estudio por evaluar debe corresponder a una SBN, estar construida y operativa con anterioridad a la aplicación del indicador.

2

Definir el caso base:

Se debe definir un punto del espacio público de similares características morfológicas al área de estudios, pero de materiales representativos del entorno antes de la intervención de la SBN, este punto debe ser aledaño al área de estudio.

Se debe definir un punto del espacio público de similares características morfológicas al área de estudios, pero de materiales representativos del entorno antes de la intervención de la SBN, este punto debe ser aledaño al área de estudio.

Para poder analizar las características morfológicas se recomienda seguir la tabla 14, respecto de exposición y orientación del terreno, así como de la presencia de elementos vegetales.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	DEFINICIÓN
Forma del espacio y nivel de exposición del terreno con su entorno	Altura y largo del terreno y de muros medianeros, conos de sombra, cierros y paramentos.
Orientación solar	Debe tener la misma orientación respecto del norte solar.
Orientación eólica	Debe tener condiciones de ventilación similares.
Entorno vegetativo	Debe tener condiciones de cobertura vegetal similares.

Tabla 14 Características morfológicas respecto de la orientación exposición de elementos vegetales.

4

Toma de datos

Durante este período se tomarán datos 3 veces por semana.

Se debe definir los días de toma. Se sugiere lunes, miércoles y viernes.

Se levantarán datos a 150 cm de altura. Y, de existir la necesidad, se pueden levantar a 30 cm de altura en el mismo punto, para analizar condiciones micro climáticas en etapas de crecimiento de la vegetación.

Esta información permitirá tener más precisión sobre el efecto del riego y la vegetación en el microclima.

5

Definir horario de toma de datos

Para definir el horario de toma de datos se plantean 2 escenarios posibles:

A. Medición específica:

Esta medición reduce al mínimo la toma de datos para permitir tener información específica.

Ejemplo: *"Uso de parque a la salida de un colegio"*.

Horario de medición: *"Hora de salida del colegio"*

B. Medición general:

Contempla la medición de las temperaturas en los 3 puntos de medición 3 veces al día:

8:30 AM, horario asociado con la salida del sol.

12:00 PM, horario asociado con el Zenit.

16:00 PM, horario asociado con los momentos de mayor temperatura ambiental.

6

Definir un eje de medición:

En el área de estudio (SBN) y caso base, se debe trazar un eje que pase por 4 puntos, utilizando los siguientes criterios. Se debe definir los días de toma. Se sugiere lunes, miércoles y viernes.

(P1) Punto representativo del espacio público próximo, sin intervención de SBN. Este punto será el caso base.

(P2) Borde del área de estudio (SBN).

(P3) Punto central del área de estudio (SBN).

(P4) En el centro del espacio habitable del área de estudio (SBN). Este espacio será clave para evaluar la sensación térmica de las personas.

7

Toma de datos:

Una vez establecidos los horarios y puntos se debe proceder a tomar los datos de temperatura ambiental en °C y porcentaje de Humedad Relativa (HR). Tanto en caso base como en área de estudio SBN. Debe registrarse la hora de cada toma de datos en la planilla de campo suministrada (**ver anexo 2**).

8

Instrumentos:

Para la toma de datos se debe tener un termómetro-higrómetro de mano. Se recomienda que el instrumento sea calibrado y certificado por un laboratorio.

Un trípode para instalar el termómetro y asegurar la misma altura de medición.

Se recomienda contar con dos equipos de medición en simultáneo, en caso de que la distancia entre área de estudio y caso base sea mayor a 50 metros.

9

Realizar la comparación de los datos:

Los datos obtenidos se procesarán por día y horario. Para completar la información se sugiere una tabla de recogida de datos para resultados (disponible en anexo 2) donde se realizará la comparación entre P_1 , correspondiente al caso base, con los puntos P_2, P_3 y P_4 correspondientes al área de estudio. Evaluando la diferencia en °C entre ellos.

Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)

Para conocer la diferencia entre las temperaturas en °C se debe aplicar la fórmula:

$$P_1 - P_x = C$$

Donde:

- P_1 = Caso base.
- $P_x = P_2, P_3$ o P_4 .
- C = Variación de temperatura T°.

Porcentaje Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)

Una vez obtenidos los datos se puede calcular el % de reducción de temperatura ambiental, con la siguiente fórmula:

$$RTA = \frac{P_1 - P_x}{P_1} \cdot 100$$

Donde:

- P_1 = Caso base.
- $P_x = P_2, P_3$ o P_4 .
- RTA = porcentaje de Reducción de temperatura Ambiental

Índice de efectividad

Una vez obtenida la Reducción de Temperatura Ambiental (RTA) se debe aplicar el índice de efectividad. (Tabla 15) La aplicación del índice implica la normalización de los datos promedio mensual obtenidos, en una escala de 0 al 1, donde el mayor valor de efectividad positiva corresponderá al valor 1, que se asociará con el 100% de efectividad.

CATEGORÍA EFECTIVIDAD	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
MUY BAJA	0	0,2
BAJA	0,2	0,4
MEDIA	0,4	0,6
ALTA	0,6	0,8
MUY ALTA	0,8	1

Tabla 15 Efectividad en la Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)

Referencias Bibliográficas

Aram, F. et al. (2020). Urban heat resilience at the time of global warming: Evaluating the impact of the urban parks on outdoor thermal comfort. *Environ Sci Eur*, (32), 117. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00393-8>.

Guerra, Pamela, y Ruiz, Cristián. (2021). Propuesta de un indicador para evaluar la calidad climática urbana: estudio de caso en una ciudad media mediterránea chilena. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(1), 144-157. Epub March 02, 2021. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n1.79653>

II) Reducción de Temperatura Superficial (RTS)



Definición:

El indicador se refiere al porcentaje de Reducción de la Temperatura Superficial (RTS). Comparando materiales instalados en una SBN con materiales representativos de un espacio urbano de similares condiciones ambientales.



Objetivo:

Determinar el porcentaje de reducción de la temperatura superficial en grados Celsius de los diferentes materiales presentes en un refugio climático.

Metodología:

Para determinar la efectividad de RTS se realizará una comparación de datos entre un caso base y el área de estudio SBN. Este método es comparativo y necesita definir estas dos áreas con claridad. La comparación se realizará en la misma ventana de observación.

1

Definir área de estudio:

- a) Reconocer un área de estudio por evaluar: debe corresponder a una SBN, estar construida y operativa con anterioridad a la aplicación del indicador.
- b) Se debe definir una paleta de materiales implementados en la SBN, Estos materiales deben ser superficiales y estar expuestos. En caso de tener elementos verticales y horizontales se deben evaluar por separado.

Ejemplo:

TEMP AE 1_Pavimento de piedra.

TEMP AE 2_Cobertura de Mulch a la sombra.

TEMP AE 3_Cobertura superficial de áridos.

2

Definir caso base:

a) Se debe definir un punto del espacio público de similares características morfológicas al área de estudio, pero de materiales representativos del entorno urbano antes de la intervención de las SBN.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	DEFINICIÓN
Nivel de exposición del terreno con su entorno	Altura y largo de muros medianeros, conos de sombra, cierros y paramentos.
Orientación solar	Debe tener la misma orientación respecto del norte solar.
Orientación eólica	Debe tener condiciones de ventilación similares.
Entorno vegetativo	Debe tener condiciones de cobertura vegetal similares.

Tabla 16 Características morfológicas para materiales del entorno urbano

b) Una vez determinada el área se debe reconocer la paleta de materiales superficiales utilizados

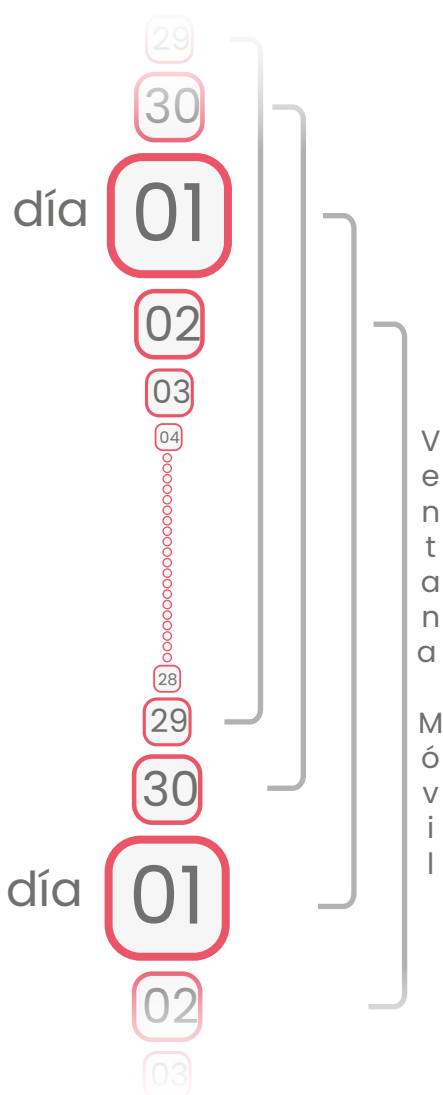
Ejemplo:

TEMP CB 1_Radier de hormigón.

TEMP CB 2_ Tierra desnuda.

3 Definir la ventana de observación

Para obtener información climática representativa y confiable, se recomienda analizar los datos de temperatura máxima media mensual correspondientes a un período de entre 10 y 30 años. Mientras más amplia sea la ventana temporal de observación, mayor será la precisión estadística y la capacidad de identificar patrones climáticos recurrentes en la ciudad de estudio.



Los datos deben ser obtenidos desde la estación meteorológica más cercana al área de análisis, procurando que esta sea representativa de las condiciones urbanas donde se emplazarán las Soluciones basadas en la Naturaleza (SBN).

Una vez recopilada la información, se debe calcular el promedio diario para cada día del año dentro del período definido. Es decir, se obtiene el promedio de todos los registros del 1 de enero, luego del 2 de enero, y así sucesivamente. Posteriormente, se aplica una ventana de observación 30 días sobre estos promedios diarios, esta ventana puede coincidir con el mes de calendario o desplazarse (ventana móvil), con el fin de identificar el período continuo más cálido del año. Este mes será seleccionado como el período de observación principal para el análisis.

4

Toma de datos:

Durante la ventana de observación se deben tomar datos 3 veces a la semana, se sugieren lunes, miércoles y viernes.

Definición de horario de toma de datos:

A. Medición específica

Esta medición reduce al mínimo la toma de datos, esto permite tener una información específica y acotada.

En este caso se debe tomar los datos una vez a la semana, al mediodía solar.

B. Medición general:

Esta medición comprende una mirada más completa al comportamiento de los materiales.

Debe realizarse 3 veces a la semana.

Para cada día de medición deben tomarse datos en tres momentos del día:

8:30

12:00

16:00

Cada dato debe ser tomado en triplicado y registrado en la ficha o planilla de campo, con su horario específico de medición.

Consideraciones:

- a) Debe registrarse si las superficies evaluadas tienen sombras naturales o construidas.
- b) Debe registrarse en la ficha de campo la cobertura del cielo por momento del día.
- c) La medición debe realizarse con una distancia de (1 m) entre el termómetro superficial y el suelo.



5

Instrumentos:

Para la toma de datos se debe utilizar un termómetro de superficie. Se recomienda que el instrumento sea calibrado y certificado por un laboratorio.

Se recomienda utilizar dos equipos de medición en simultáneo en el caso de que la distancia sea mayor a 100 m.

De no ser instrumentos certificados, se sugiere que la medición se haga con instrumentos de la misma marca.

De no ser instrumentos certificados, se sugiere que la medición se haga con instrumentos de la misma marca.

6

Método de cálculo:

Se aplicará la siguiente fórmula:

$$RTA = \frac{x - y}{x} \cdot 100$$

Donde:

x = temperatura superficial por material del caso base.

y = temperatura superficial por material del área de estudio.

Categorización de resultados

Una vez obtenido las temperaturas superficiales del caso base y del espacio analizado área de estudio se deben categorizar:

Comparación de resultados

Reducción de temperatura de los materiales.

Se comparan los resultados entre el caso base y el área de estudio por tipo de material. Se sugiere utilizar la ficha de comparación de temperatura superficial disponible en anexo 2.º

Resultados

Se expresan en % de reducción de temperatura superficial y en grados Celsius (°C).
Considerando el siguiente índice de efectividad:

EFECTIVIDAD DE REDUCCIÓN DE TEMPERATURA	
-100% a -50%.	Extremadamente deficiente
-49% a -30%	Muy deficiente.
-29 a -1%	Deficiente.
0	Sin efectividad.
1% - 15%	Efectivo
16 -30%	Muy efectivo
30% -100%	Extremadamente efectivo

Tabla 17 Indicador de efectividad en reducción de temperatura superficial (RTS)

Indicadores dimensión biodiversidad



Estos indicadores buscan ayudar a evaluar aspectos mínimos vinculados con el comportamiento de la vegetación y la salud del suelo, en relación con el agua y el clima asociado.

Debido al alcance de esta guía, se consideran solo indicadores de vegetación y suelo, a partir de los cuales se puede profundizar en estudios entomológicos y de fauna, que completen de manera integral los aspectos de biodiversidad.

I) Sobrevivencia Vegetal



Definición:

Se estimará para cada especie de planta ensayada el efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de sobrevivencia durante 1 año.



Objetivo:

Determinar la sobrevivencia de las especies de plantas de acuerdo con las condiciones de riego y suelos presentes en el refugio climático que se esté evaluando.

Metodología:

Para determinar la sobrevivencia por especies de planta nativas se evaluará visualmente la situación de la parte aérea de las plantas para cada especie. Si el vástago estuviera seco completamente se considerará que el individuo está muerto, con el cuidado de que posteriormente pudiese rebrotar en la base y su condición será cambiada a individuo vivo. Se registrará la sobrevivencia de manera estacional (invierno, primavera, verano y otoño).

Indicador de sobrevivencia:

$$\text{Sobrevivencia \%} = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

$$\cdot \% \text{ Sobrevivencia} = A/B \times 100$$

• A = número de individuos vivos al final del monitoreo

• B = número total de individuos plantados

Índice

>80% de sobrevivencia es excelente o bueno.

Entre 79% y 51% es medio.

<50% de sobrevivencia es regular a malo.

Nota: En Chile central, los menores porcentajes de sobrevivencia se obtienen en verano.

II) Crecimiento de la vegetación



Definición:

El indicador hace referencia al crecimiento del vástago de la planta a través de un índice de crecimiento que considera la altura y el eje menor y mayor del dosel de la planta, durante el período de tiempo de 1 año.



Objetivo:

Determinar el crecimiento de las especies de plantas de acuerdo a las condiciones de riego y suelo, a través del índice de crecimiento.

Metodología:

El crecimiento por especies de plantas será estimada para cada individuo plantado a través de un índice de productividad, que representa el crecimiento en longitud de las plantas. El monitoreo del crecimiento de cada individuo se realizará al finalizar cada estación del año (invierno, primavera, verano y otoño).

	CRECIMIENTO DE LA PLANTA POR CRITERIO			CRECIMIENTO PROMEDIO
	A = Altura de la planta	B = Vértice por eje largo dosel	C = Vértice por eje ancho dosel	$(A+B+C) / 3$

Tabla 18 Tabla para el monitoreo del crecimiento de cada individuo.

Indicador de sobrevivencia:

$$ICp_x = \frac{A+B+C}{3}$$

Donde:

- IC_x = índice de crecimiento para tiempo x
- A = altura del vástago.
- B = eje mayor del dosel.
- C = eje menor del dosel.

$$IC = IC_{t1} - IC_{t0}$$

Donde:

- IC_{t1} = índice de crecimiento para tiempo 1
- IC_{t0} = índice de crecimiento para tiempo 0 (o tiempo inicial).

Índice:

< 0 crecimiento negativo del vástago

0 = no hay crecimiento del vástago

> 0 crecimiento positivo del vástago



III) Salud de suelo; características biofísicas del suelo



Definición:

Son varios indicadores que se realizan para medir la condición de salud del suelo. Se puede considerar al suelo como una entidad viva, que al incluir todos los consorcios microbiológicos sean organismos unicelulares o pluricelulares, permiten al suelo autorregularse manteniendo condiciones adecuadas adaptándose al entorno. Los parámetros para medir son físicos y químicos, que reflejan la actividad microbiológica del suelo:

Físicos: capacidad de retención de agua, humedad del suelo.

Químicos: contenido orgánico e inorgánico del suelo. **Nitrógeno, fósforo y potasio.**



Características Bio-físicas:

Capacidad de retención de agua: es el porcentaje en peso del agua retenido por unidad de peso de suelo seco

Porcentaje de humedad: es el porcentaje en peso del agua por unidad de peso de suelo seco que presenta una determinada muestra de suelo tomado recientemente.



Objetivo:

Diagnosticar las características biofísicas del suelo que determinan las condiciones para un adecuado desarrollo de la flora y fauna del lugar. Físicos: capacidad de retención de agua, humedad del suelo.

Metodología :

Metodología: características biofísicas; capacidad de retención de agua

La toma de muestras se realiza mediante cuarteo, la cual se encuentra definida en detalle en el anexo 3.

La capacidad de retención de agua se determinará mediante el pesaje de muestras de suelo previamente secadas en horno, las cuales se humedecen hasta saturación y se pesan nuevamente. Estos dos pesos se restan entregando el valor de la cantidad máxima de agua que puede ser retenido por esa masa de suelo.

Para obtener mediciones consistentes y reproducibles, se deben secar 10 gramos de cada muestra, en triplicado, a 105°C durante 48 horas. Una vez transcurrido este tiempo, las muestras deben enfriarse y pesarse nuevamente para determinar su peso seco, registrado como A.

Simultáneamente, se preparará un embudo con papel filtro para cada muestra. El embudo debe ser completamente humedecido y pesado, asegurándose de que haya escurrido completamente el exceso de agua antes de registrar su peso, el cual se denominará B.

Se coloca la muestra de suelo seco sobre el papel filtro en el embudo y se añade agua de manera controlada hasta cubrir completamente la muestra, asegurando su saturación. Se permite que el agua drene por completo del embudo. Una vez drenada, se procede a pesar el conjunto formado por el embudo, el papel filtro y la muestra húmeda, registrando este valor como C.

$$CRA \% = \frac{(C - B) - A}{10} \cdot 100$$

Donde:

índice:

>45% excelente o bueno.

- **CRA%** = capacidad de retención de agua
- **A** = peso del suelo seco.
- **B** = peso embudo y papel húmedo.
- **C** = peso de embudo + papel húmedo + muestra húmeda.

Metodología :

Características biofísicas; porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad de una muestra de suelo se determina mediante la diferencia de peso entre la muestra antes y después de someterla a un proceso de secado a una temperatura de 105°C.

Para determinar el porcentaje de humedad es necesario pesar 10 g de muestra por duplicado (P_{mh}) en un contenedor de vidrio Pyrex, porcelana o aluminio de peso conocido (P_c).

El contenedor con la muestra de suelo se coloca en un horno a 105°C durante 24 horas para garantizar la eliminación total de la humedad. Una vez transcurrido este tiempo, el contenedor se retira del horno y se deja enfriar en un ambiente seco y libre de humedad (para esto se recomienda una caja de plástico o vidrio con cierre hermético y un par de bolsas secas de sílica gel, que es el material absorbente que viene en bolsas pequeñas de papel con bolitas que vienen en cajas de zapatos nuevos). Después de que el contenedor haya alcanzado la temperatura ambiente, se procede a registrar su peso final ($P_{ms} + P_c$).

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{(P_{mh} + P_c) - (P_{ms} + P_c)}{(P_{ms} + P_c) - P_c} \cdot 100$$

Donde:

- P_{mh} = peso muestra antes del secado (g)
- P_{ms} = peso muestra después de secado (g)
- P_c = peso del contenedor de la muestra (g)

Índice:

Se esperan resultados de 5-10% de humedad.

IV) Salud de suelo; características bioquímicas del suelo



Definición de características bioquímicas:

Contenido orgánico: es el porcentaje de materia orgánica del total del suelo seco.

Análisis NPK: nitrógeno disponible (N), fósforo disponible (P) y potasio (K), es el peso de NPK (cada uno por separado) por unidad de peso de suelo.

pH: índice de acidez o alcalinidad del suelo a menor bajo 7 indica suelo ácido y sobre 7 indica suelo alcalino.



Objetivo:

Diagnosticar las características bioquímicas del suelo que determinan las condiciones para un adecuado desarrollo de la flora y fauna del lugar. Contenido orgánico e inorgánico del suelo, nitrógeno, fósforo y potasio.

Metodología:

El porcentaje de materia orgánica en una muestra de suelo se determina mediante la diferencia de peso que presenta una muestra completamente seca antes y después de ser sometida a un proceso de calcinación a una temperatura de 360°C.

Para determinar el porcentaje de materia orgánica del suelo es necesario secar 5 gramos de suelo por triplicado a 105°C por 24 horas en un contenedor de porcelana de peso conocido (P_c).

A continuación, se pesa cada contenedor de porcelana con la muestra completamente seca para determinar el peso inicial, conocido como peso antes de la calcinación (P_{ac}). Posteriormente, las muestras se calcinan en un horno de mufla a una temperatura de 360°C durante 2 horas.

Finalmente, las muestras son retiradas del horno Muffla y son enfriadas en una desecadora o recipiente de vidrio pirex con cierre hermético y material desecante para mantener ambiente seco hasta temperatura ambiente y luego son pesadas para determinar el peso final o el peso después de calcinación (P_{dc}).

$$\text{Materia orgánica \%} = \frac{(P_{ac} - P_{dc})}{P_{ac} - P_c} \cdot 100$$

Donde:

• P_{ac} = peso contenedor con muestra seca antes de calcinación (g).

• P_{dc} = peso contenedor con muestra después de calcinación (g).

• P_c = peso contenedor porcelana vacío (g).

Índice: 3-5% de materia orgánica



Metodología:

Metodología: características bioquímicas del suelo; análisis NPK

El análisis de NPK debe ser realizado por un laboratorio certificado de análisis fisicoquímicos o, en su defecto, en laboratorios universitarios preparados para mediciones fisicoquímicas de suelo. Las muestras se toman en terreno y se tratan tal como se describe en la sección: Salud de suelo: toma y preparación de muestras de suelo, de este capítulo del manual, para llevarlos al laboratorio en las condiciones que ellos piden. El laboratorio debe entregar resultados de cantidad de cada parámetro por separado (nitrógeno o fósforo disponibles o potasio) en milígramo del parámetro por kilogramo de suelo seco o también llamado ppm.

$$\text{Contenido parámetros NPK} = \frac{A}{B}$$

Donde:

- A = peso del N o P o K.
- B = unidad de peso del suelo.

Índice: Nitrógeno entre 20-40 mg de N/kg de suelo o 20-40 ppm de N.
 Potasio sobre 200-400 mg de K/kg de suelo o 200-400 ppm de K.
 Fósforo alrededor de 10-20 mg P/kg de suelo o 10-20 ppm de P.

El pH determina capacidad del suelo para lograr crecimiento activo de plantas. pH ácido disminuye el crecimiento de plantas. Suelos urbanos contaminados muestran acidificación de suelos, pero los suelos cuidados pueden autorregularse alcalinizándose y así mejorando la capacidad de crecimiento de plantas.”

Para realizar el ensayo de pH, se mezcla 10 g de suelo previamente tamizado (para eliminar piedras y palos de más de 2 mm de diámetro) con 20 ml de agua destilada o desmineralizada. Se agita durante 30 minutos y a continuación se deja reposar por tres horas. El pH se mide en el agua que queda cuando el suelo precipita al fondo. Se puede separar el agua de la parte sólida para medir mejor el pH. Se recomienda equipo pHmetro de mesón o portátil. También se acepta papeles indicadores pero que permitan determinar entre 0,5 puntos de pH al menos.

CLASIFICACIÓN	PH
Fuertemente ácido	< 5,0
Moderadamente ácido	5,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Medianamente alcalino	7,4 - 8,5
Fuertemente alcalino	≥ 8,5

Índice:

Ideal medianamente alcalino, es decir, 7,4 - 8,5

05

Capítulo 5

**Caso de estudio; aplicación
de indicadores en
prototipos de Refugios
Biourbanos**

Capítulo 5

Caso de estudio; aplicación de indicadores en prototipos de Refugios Biourbanos

a) El diseño de Refugios Biourbanos

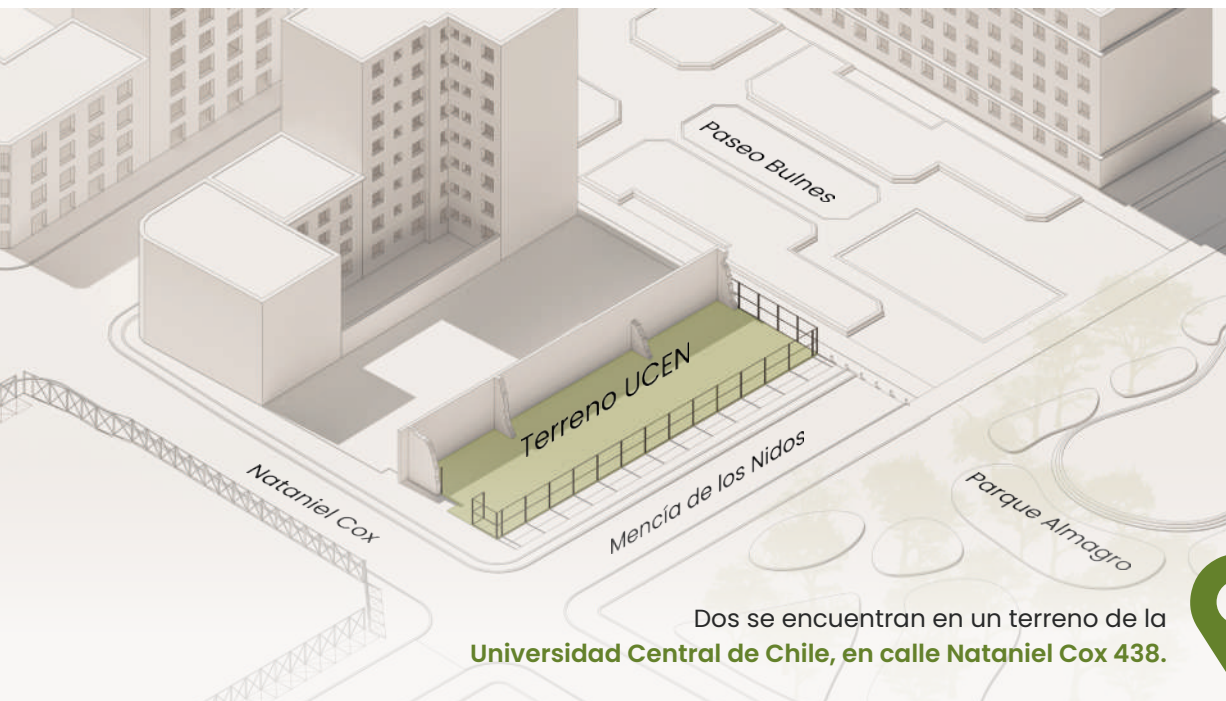
El diseño de los prototipos se fundamenta en la experiencia previa del núcleo de investigación Aguas de Barrio, en el Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) en proyectos que implementan Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) ubicados en plazas de la Región Metropolitana. Por otra parte, reúne el trabajo previo del equipo de Jardín Biodiverso y Núcleo de Biodiversidad Urbana en proyectos asociados al diseño y estudio de Modelos de Asociaciones Vegetales Nativas de potencial uso urbano.

Recordando que los Refugios Biourbanos para efectos de esta guía serían lugares abiertos de pequeña escala que sirven de resguardo microclimático natural frente a episodios de calor extremo, donde se protege y potencia la biodiversidad urbana local y brindan bienestar a las personas. Además, integran estrategias para el cierre del ciclo hidrológico urbano dentro de su mismo ámbito de intervención.

El desafío en este proyecto es establecer laboratorios abiertos de investigación que permitan evaluar la efectividad de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) para medir la calidad del agua infiltrada del subsuelo, el desarrollo de la vegetación nativa ante nuevos requerimientos hídricos limitados y la generación de microclimas que mitiguen los efectos de las olas de calor. Esto, con el propósito de definir un diseño con efectividad comprobada y con planteamientos que puedan ser replicados en otros contextos urbanos.

El caso de estudio se desarrolla en dos ubicaciones, en donde se ejecutaron seis refugios climáticos ubicados en dos terrenos dentro de la Comuna de Santiago de Chile, estas ubicaciones presentan condiciones morfológicas similares.

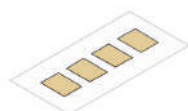




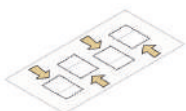
Ambos sitios presentan condiciones climáticas y morfológicas similares, con ligeras variaciones entre ellos. En los dos predios, existe un muro medianero de adobe ubicado en el deslinde norte el cual proyecta una sombra sobre los refugios. Además, ambos emplazamientos se encuentran delimitados por superficies pavimentadas, como aceras y estructuras de hormigón.

b) Operaciones de diseño

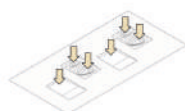
Las operaciones de diseño para los prototipos en ambos terrenos UTEM y UCEN son similares con ligeras variaciones. Estas corresponden a:



Implantación:



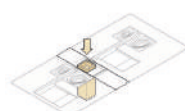
Desplazamiento de localización:



Configuración



Conducción



Infiltración



Flujo de personas

Implantación: se establecen refugios de idénticas dimensiones en las áreas a intervenir, dispuestos en el mismo sentido (orientado - poniente) para asegurar que las condiciones de asoleamiento sean idénticas.

Desplazamiento de localización: dos de los refugios se desplazan hacia el norte para generar espacios de esparcimiento entre estos.

Configuración: se define una franja de plantación, de orientación y dimensiones fija, un polígono de 20 m², con el fin de establecer áreas no variables para el monitoreo de la vegetación, a pesar de las adaptaciones propias de cada refugio.

Conducción: se proyecta una zanja para canalizar excedentes de aguas provenientes de las áreas de plantación. Dirigiéndolas a la zanja a través de la morfología de cada jardín.

Infiltración: por medio de un pozo de infiltración en el área central para gestionar el agua en eventos pluviométricos extremos. Este pozo permite llevar las aguas a una capa con altos niveles de infiltración. En la lógica del laboratorio abierto, se contempla un dispositivo registrable, que facilitará la medición de la calidad del agua en el punto final del ciclo.

Flujos de personas: entre los espacios de plantación se contemplan ejes de tránsito para dar habitabilidad y comunicación a los espacios, además de facilitar el monitoreo entre jardines.

Operaciones para el cierre hidrológico local

Las operaciones de diseño para los prototipos en ambos terrenos UTEM y UCEN son similares con ligeras variaciones. Estas corresponden a:

Operaciones para el cierre hidrológico local

Las operaciones de diseño para los prototipos en ambos terrenos UTEM y UCEN son similares con ligeras variaciones. Estas corresponden a:

Captar: Se implementó un sistema de captación de aguas pluviales por gravedad para aprovechar el agua proveniente de la cubierta del edificio adyacente al predio de implantación. Además, se consideró otras fuentes de agua, como el agua gris proveniente de lavamanos de edificio educacional adyacente.

Retener: Esta estrategia busca reducir la escorrentía del agua para generar humedad. Su propósito es mantener la vegetación en condiciones óptimas para su sobrevivencia al retener la humedad después de la lluvia o el riego. Además, busca mitigar los riesgos asociados a grandes eventos pluviométricos al retener la mayor cantidad de agua posible. Incluye la creación de jardines de lluvia y/o microcuencas hasta la instalación de piedras de distinta granulometría, gaviones o durmientes, los cuales en conjunto contribuyen a la biorretención.

Conducir: El sistema de conducción, busca gestionar y dirigir las aguas hacia un punto central, tanto para lograr el volumen de agua necesario para la toma de muestras, como para favorecer la conexión con el sistema de infiltración para el cierre del ciclo hidrológico. Además, se busca minimizar los riesgos de desbordamiento de aguas en los jardines con microcuencas en el caso de precipitaciones intensas y posibles desbordamientos.

Filtrar: Esta estrategia, busca mejorar la calidad del agua captada a través de SBN asociadas a la implementación de filtros de áridos en conjunto con la plantación de especies vegetales depuradoras.

Infiltrar: Es la estrategia que define el cierre del ciclo hidrológico local. Se asocia a optimizar el sistema para que los excedentes finales de las aguas de los refugios puedan llegar a recargar acuíferos a través de la infiltración. Lo anterior implica definir a través de la estratigrafía, la ubicación del suelo naturalmente drenante, y definir estrategias de diseño –como pozos de infiltración– que permitan generar la conexión entre la superficie y el subsuelo drenante, sin llegar directamente a los acuíferos, para favorecer la depuración natural del agua.

Operaciones para favorecer la biodiversidad nativa

Las operaciones de diseño para los prototipos en ambos terrenos UTEM y UCEN son similares con ligeras variaciones. Estas corresponden a:

Diversificar especies y estratas: El objetivo es incrementar la riqueza de especies y fomentar la noción de conjunto o ecosistema. Para esto se aumenta el número de especies nativas presentes en el refugio y se incorporan a la propuesta todas las formas de vida o estratas: arboles, arbustos, hierbas y suculentas.

Densificar: Se busca aumentar la cobertura vegetal para disminuir la temperatura y proteger el suelo en el menor tiempo posible. Para esto se aumenta la cantidad de individuos por metro cuadrado considerando los tamaños de crecimiento de las especies propuestas.

Restablecer la actividad biológica del suelo: Se espera incrementar los organismos vivos y benéficos del suelo. Para esto se incorpora suelo recuperado de lugar junto a un porcentaje de materia orgánica a la mezcla de sustrato.

Airear y proteger el suelo: Con el fin de mejorar la porosidad y retener la humedad del suelo, se incorpora un porcentaje de gravilla y arena a la mezcla de sustrato junto a una capa superficial vegetal (mulch).

c) Descripción de los prototipos experimentales

Los seis prototipos construidos fueron diseñados, previendo tanto el comportamiento del agua en el ciclo de captación, conducción filtración e infiltración, como los criterios que se utilizarían para definir tasas de riego experimental, con el fin de evaluar de manera individual el comportamiento de la biodiversidad vegetal, el ahorro hídrico y la acción microclimática.

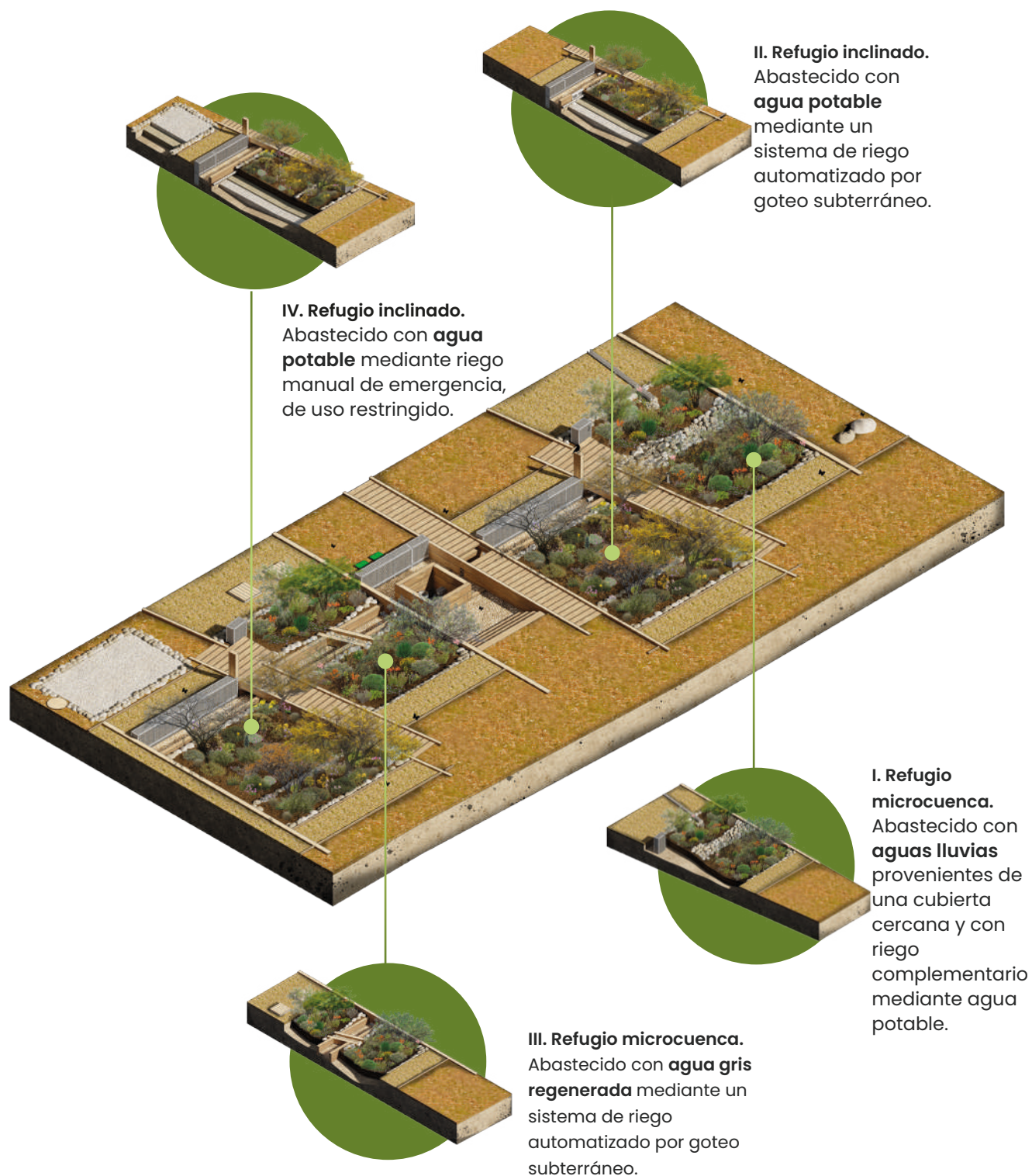
UBICACIÓN	MORFOLOGÍA	PALETA VEGETAL	CONDICIÓN DE RIEGO	CANTIDAD DE RIEGO EN VERANO
UCEN	Refugio inclinado	Paleta vegetal 2	Abastecido con agua potable mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo.	13,3 L/m ² /día
UTEM	Refugio inclinado	Paleta vegetal 2	Abastecido con agua potable mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo.	10,1 L/m ² /día
UTEM	Refugio microcuenca	Paleta vegetal 1	Abastecido con agua gris regenerada mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo.	10,1 L/m ² /día
UTEM	Refugio microcuenca	Paleta vegetal 1	Abastecido con aguas lluvias provenientes de una cubierta cercana y con riego complementario mediante agua potable.	1,8 L/m ² /día
UTEM	Refugio inclinado	Paleta vegetal 2	Abastecido con agua potable mediante riego manual de emergencia, de uso restringido.	1,7 L/m ² /día
UCEN	Refugio inclinado	Paleta vegetal 2	Abastecido con agua potable mediante riego manual de emergencia, de uso restringido.	1,4 L/m ² /día

Tabla 18. Refugios según condición de riego en verano de 2025



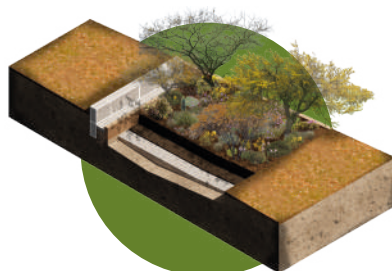


LABORATORIO ABIERTO DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA
AGUAS DE BARRIO LAB - UTEM

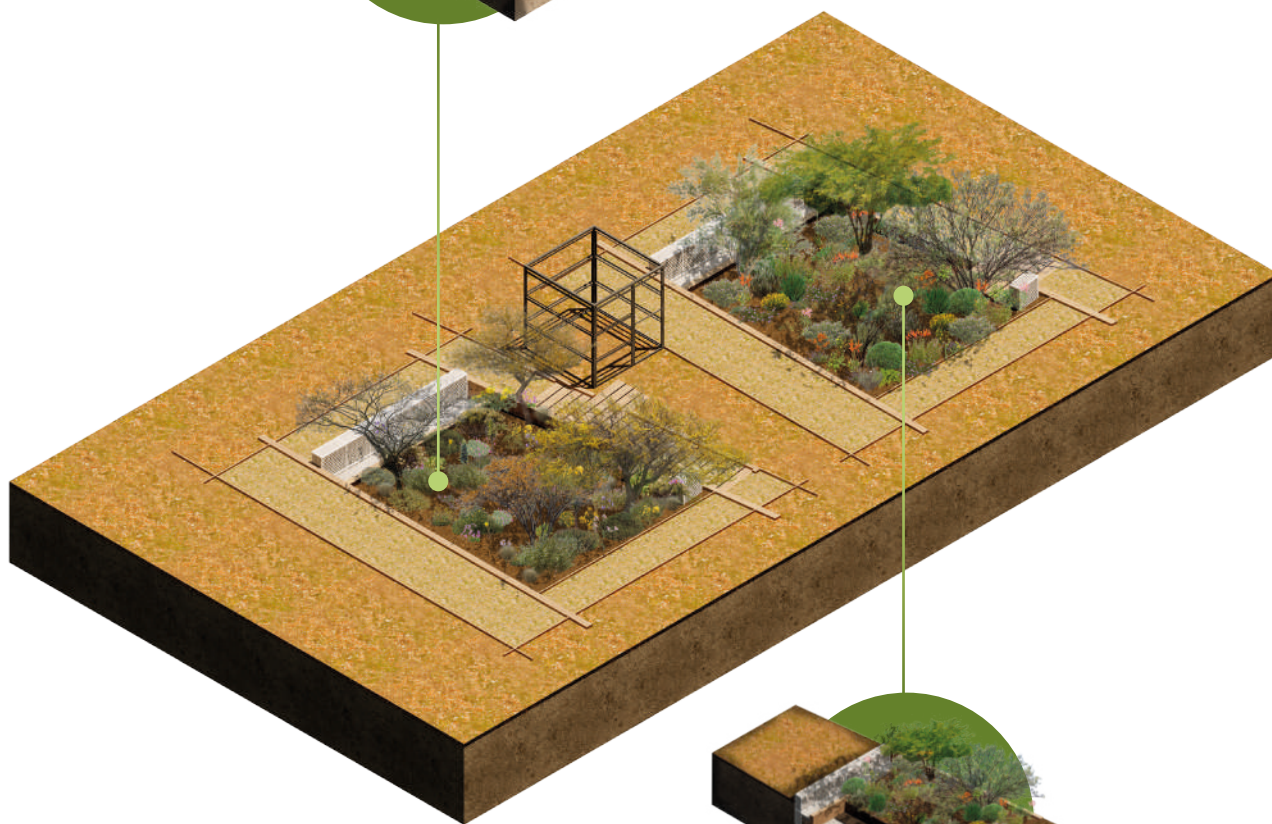




REFUGIOS BIOURBANOS
UCEN



I. Refugio Inclinado.
Abastecido con agua potable mediante riego manual restringido de emergencia.



I. Refugio Inclinado.
Abastecido con agua potable, mediante riego automatizado por goteo subterráneo.

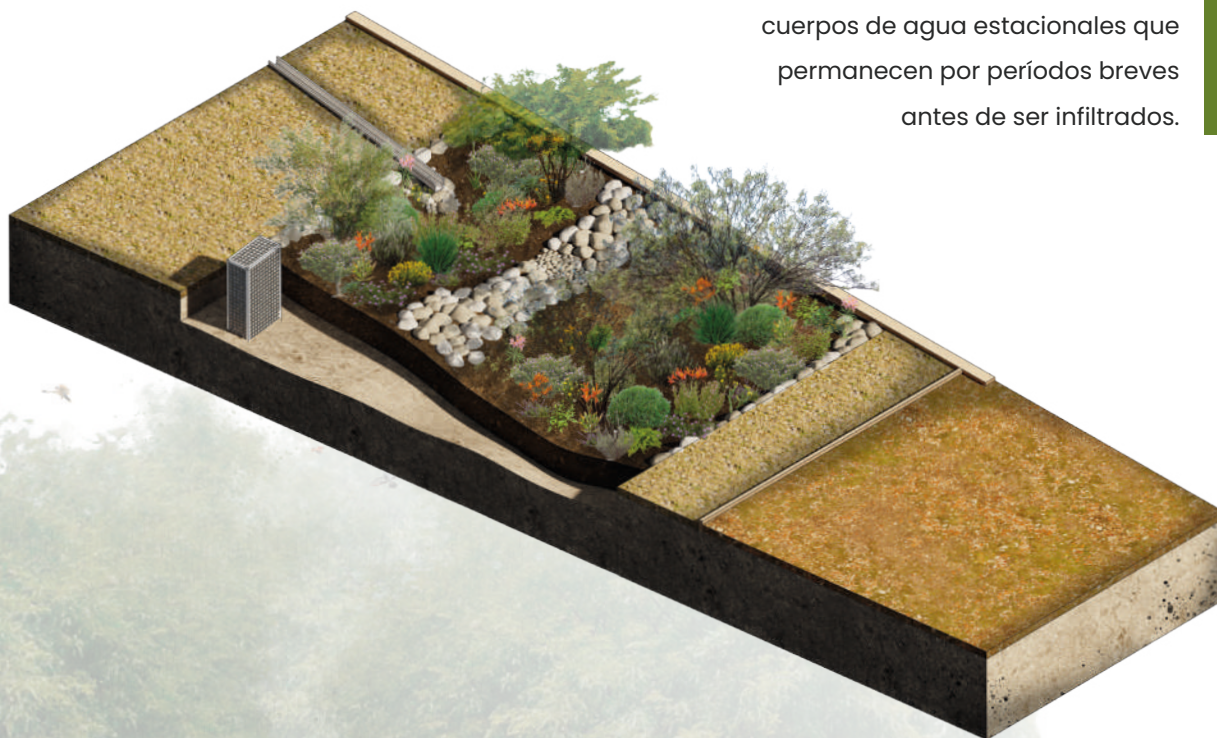


I. Refugio microcuenca.

Abastecido con aguas lluvias provenientes de una cubierta cercana y con riego complementario mediante agua potable.

El refugio está diseñado para gestionar eventos pluviométricos extremos, reduciendo la escorrentía superficial y generando zonas de retención temporal, que además permiten la infiltración al subsuelo por medio de capas permeables.

Este prototipo adopta una morfología cóncava, tanto en su superficie como en su base subsuperficial, permitiendo formar cuerpos de agua estacionales que permanecen por períodos breves antes de ser infiltrados.



Funciones principales:

Aguas: lámina superficial y subsuperficial de retención y acumulación de aguas lluvias. Reducción y ralentización de la escorrentía superficial.



Biodiversidad: resistencia al estrés hídrico, protección y mejoramiento de las condiciones del suelo, retención de humedad, atracción de fauna.



Clima: reducción de temperatura por medio de elementos con inercia térmica, microsomas y bajo albedo. Reducción de temperatura por medio de la evapotranspiración y sombra natural.

Componentes

Sustrato técnico, espesor de capa 40cm, compuesto por 60% de tierra proveniente del suelo existente, más un 15% de gravilla, 20% de arena y un 5% de compost definido según la caracterización inicial de suelo.

Mulch, espesor 5 cm.

Árido grueso superior, bolones para la retención de humedad subsuperficial.

Muro de contención de durmientes, dimensiones 6"x10".

Mobiliario de Gaviones, rellenos con bolones, dimensiones 30x60x120 cm.

Canal de conducción de aguas por gravedad, compuesta por áridos de canto rodado y durmientes de dimensiones 6"x10".

Sistema de riego, abastecido por un sistema de conducción de aguas lluvias desde cubiertas cercanas.

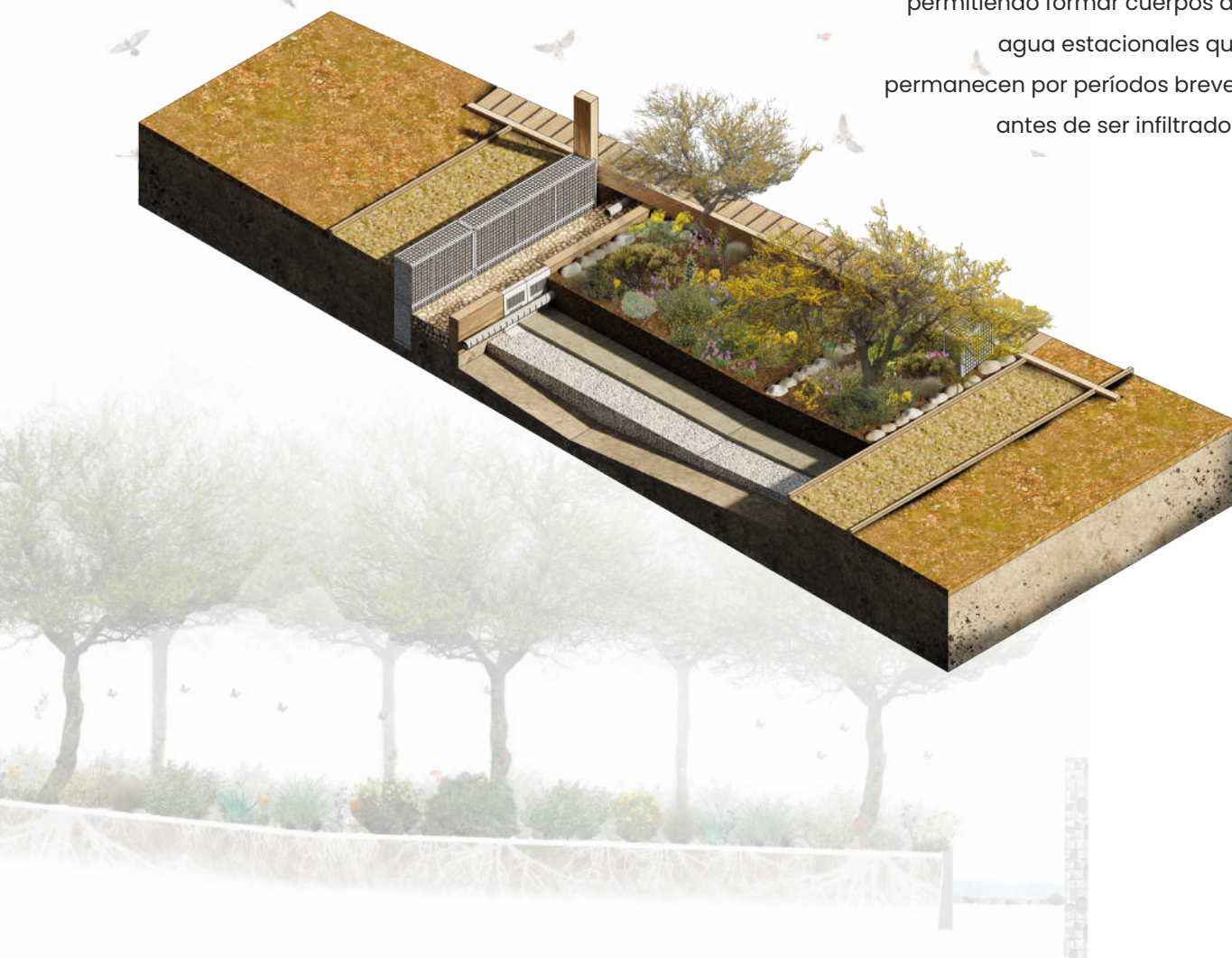


II. Refugio inclinado

Abastecido con agua potable mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo.

El refugio se caracteriza por su morfología con ligeras pendientes, orientadas hacia el sur, el objetivo de esta es reducir el ángulo de incidencia solar proveniente del norte, disminuyendo las ganancias térmicas por radiación directa.

Este prototipo adopta una morfología cóncava subsuperficial, y una inclinación superficial, permitiendo formar cuerpos de agua estacionales que permanecen por períodos breves antes de ser infiltrados.



Funciones principales:

Aguas: retención y acumulación subsuperficial de aguas lluvias. Reducción y ralentización de la escorrentía superficial.



Biodiversidad: resistencia al estrés hídrico, protección y mejoramiento de las condiciones del suelo, retención de humedad, atracción de fauna.



Clima: reducción de temperatura por medio de elementos con inercia térmica, microsombas y bajo albedo. Reducción de temperatura por medio de la evapotranspiración y sombra natural.

Componentes

Capa superficial drenante árido grueso, espesor de capa 15 cm.

Capa subsuperficial drenante árido fino, espesor de capa 5 cm.

Sustrato técnico, espesor de capa 40 cm, compuesto por 60% de tierra proveniente del suelo existente, más un 15% de gravilla, 20% de arena y un 5% de compost definido según la caracterización inicial de suelo.

Mulch, espesor 5 cm.

Árido grueso superior, bolones para la retención de humedad subsuperficial.

Muro de contención de gaviones, rellenos con bolones, dimensiones 30x60x120cm.

Muro de contención de durmientes, dimensiones 6"x10".

Canal de conducción de excedentes de aguas por gravedad, compuesta por áridos de canto rodado y durmientes de dimensiones 6"x10"

Sistema de Riego, automatizado abastecido con agua potable.

Paleta vegetal de 15 especies nativas



III. Refugio microcuenca.

Abastecido con agua gris regenerada mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo.

El refugio microcuenca con riego automatizado es abastecido con agua gris, regenerada mediante un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.

Este prototipo adopta una morfología cóncava, tanto en su superficie como en su base subsuperficial, permitiendo retener láminas de agua temporales que permanecen por períodos breves antes de ser infiltrados.



Funciones principales:

Aguas: retención y acumulación superficial y subsuperficial de aguas lluvias. Reducción y ralentización de la escorrentía superficial. Reutilización de agua gris regenerada.



Biodiversidad: resistencia al estrés hídrico, protección y mejoramiento de las condiciones del suelo, retención de humedad, atracción de fauna.



Clima: reducción de temperatura por medio de elementos con inercia térmica, micro sombras y bajo albedo. Reducción de temperatura por medio de la evapotranspiración y sombra natural.

Componentes

Sustrato técnico, espesor de capa 40 cm, compuesto por 60% de tierra proveniente del suelo existente, más un 15% de gravilla, 20% de arena y un 5% de compost definido según la caracterización inicial de suelo.

Mulch, espesor 5 cm.

Árido grueso superior, bolones para la retención de humedad subsuperficial.

Muro de contención de durmientes, dimensiones 6"x10".

Mobiliario de Gaviones, rellenos con bolones, dimensiones 30x60x120 cm. Canal de conducción de excedentes aguas por gravedad, compuesta por áridos de canto rodado y durmientes de dimensiones 6"x10".

Sistema de riego, automatizado abastecido con agua gris regenerada mediante un humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Humedal depurador de aguas. Humedal subsuperficial de flujo horizontal con 12 especies de juncos nativos.

Paleta vegetal de 15 especies nativas



IV. Refugio inclinado.

Abastecido con agua potable mediante riego manual de emergencia, de uso restringido.

El refugio se caracteriza por su morfología con ligeras pendientes, orientadas hacia el sur el objetivo de esta es reducir el ángulo de incidencia solar proveniente del norte, disminuyendo las ganancias térmicas por radiación directa.

Este prototipo adopta una morfología cóncava subsuperficial, permitiendo formar cuerpos de agua estacionales que permanecen por períodos breves antes de ser infiltrados.



Funciones principales:

Aguas: retención y acumulación subsuperficial de aguas lluvias. Reducción y ralentización de la escorrentía superficial.



Biodiversidad: resistencia al estrés hídrico, protección y mejoramiento de las condiciones del suelo, retención de humedad, atracción de fauna.



Clima: reducción de temperatura por medio de elementos y materiales de alta inercia térmica, micro sombras y bajo albedo. Reducción de temperatura por medio de la evapotranspiración y sombra natural.

Componentes

Capa superficial, espesor de capa 40 cm, compuesto por 60% de tierra proveniente del suelo existente, más un 15% de gravilla, 20% de arena y un 5% de compost definido según la caracterización inicial de suelo.

Capa subsuperficial drenante árido fino, espesor de capa 5 cm.

Sustrato técnico, espesor de capa 40 cm.

Mulch, espesor 5 cm.

Árido grueso superior, bolones para la retención de humedad subsuperficial.

Muro de contención de gaviones, rellenos con bolones, dimensiones 30x60x120 cm.

Muro de contención de durmientes, dimensiones 6"x10".

Canal de conducción de excedentes de aguas por gravedad, compuesta por áridos de canto rodado y durmientes de dimensiones 6"x10".

Paleta vegetal de 15 especies nativas

06

Capítulo 6

**Comentarios asociados con
la evaluación de efectividad**

Capítulo 6

Comentarios asociados con la evaluación de efectividad

I. Calidad de Agua Tratada.

La calidad del agua tratada se evalúa principalmente en el caso crítico de la regeneración de agua gris a través de la SBN implementada para depuración natural de aguas, la cual corresponde a un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial, donde el afluente corresponde a un estanque decantador y el efluente corresponde a un estanque de acumulación.

Afluente: agua gris proveniente de lavamanos, que ingresa al estanque decantador.

SBN: humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Efluente: agua gris regenerada que sale hacia el estanque de acumulación.

Respecto de la naturaleza del curso de agua, en este caso corresponde a un flujo de agua gris; por lo tanto, sobre la base de esto se debe aplicar la normativa del Decreto 40. Se utiliza la tabla 1 para uso urbano, ya que es más restrictiva y permite evidenciar que el sistema cumple con creces el uso de la tabla 2 y 3, correspondiente a uso recreacional y ornamental respectivamente. Se visualizan la comparación de los resultados de laboratorio en las Tablas 20 y 21

8 AFLUENTE		FECHA Y HORA DE MUESTREO: 24-10-2024; 13:49		NORMATIVA APLICADA		
Ensayo	Unidad de Medida	Valor Medición	Valor NCh1333	Valor DS-46 Tabla 1	Valor DS-46 Tabla 2	Valor Decreto 40
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg/L	132	No Aplica	No Aplica	No Aplica	10
Coliformes Fecales (CF)	NPM/100 ml	2	1000	No Aplica	No Aplica	10
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	390	No Aplica	No Aplica	No Aplica	10
Turbiedad	UNT	140	No Aplica	No Aplica	No Aplica	5

Tabla 20 Resultados Decreto 40, punto afluente a la SBN.

NÚMERO DE MUESTRA: 7 EFLUENTE		FECHA Y HORA DE MUESTREO: 24-10-2024; 14:23		NORMATIVA APLICADA		
Ensayo	Unidad de Medida	Valor Medición	Valor NCh1333	Valor DS-46 Tabla 1	Valor DS-46 Tabla 2	Valor Decreto 40
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	mg/L	7,39	No Aplica	No Aplica	No Aplica	10
Coliformes Fecales (CF)	NPM/100 ml	2	1000	No Aplica	No Aplica	10
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5	No Aplica	No Aplica	No Aplica	10
Turbiedad	UNT	6,9	No Aplica	No Aplica	No Aplica	5

Tabla 2l: Resultados decreto 40, punto efluente a la SBN

Con base en lo anterior, y analizando los resultados, es posible evaluar la efectividad de depuración del humedal de acuerdo con lo expresado en la Figura 8.

Parámetros Decreto 40 Pre-Post Tratamiento Humedal

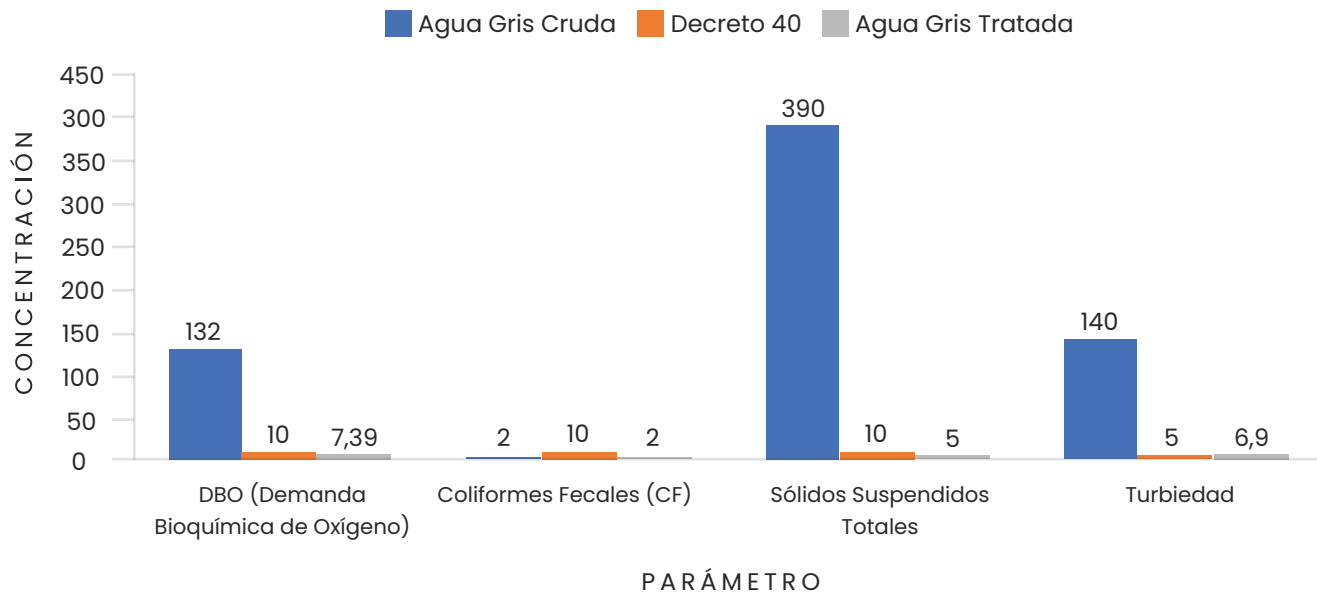


Figura 8 Variación de parámetros del decreto 40 antes y después del humedal, octubre 2024

Sobre la base de los resultados anteriores se aplica el indicador de Eficiencia de Remoción para cada uno de los parámetros medidos, esto se aprecia en la Tabla 22.

PARÁMETRO MEDIDO	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)
DBO	94
Coliformes Fecales (CF)	100
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	99
Turbiedad	95
Eficiencia Promedio (%)	97

Tabla 22 Aplicación del indicador para el humedal sobre la base del Decreto 40.

II. Eficiencia Hídrica de Riego

Se define el caso base de estudio, según los reportes de referencia para la comuna de Santiago. Durante el verano del año 2022 se destinaron 9 L/día m² para regar un total de 184 hectáreas de pasto ornamental, lo que equivale a 1.840.000 m³ y a un volumen diario de riego de 16.530.300 litros.

Se seleccionó como caso de estudio un prototipo de Refugio inclinado abastecido con agua potable mediante riego manual restringido de emergencia, con 20 m², de superficie, está compuesto de plantas de bajo consumo hídrico, y es regado con agua potable.

Para realizar un monitoreo adecuado de la necesidad de riego, se instalaron sensores de humedad en el proyecto. Se definió una ventana de observación correspondiente a los tres meses de verano (diciembre, enero y febrero). Durante este período, el riego se realizó cuando el nivel de humedad del suelo llegó a los 200 cb, lo cual, de acuerdo a los manuales de los sensores de humedad de suelo de la estación meteorológica instalada, representa un suelo completamente seco. Esta situación se replicó aproximadamente cada 14 días. El riego se realizó en periodos máximos de 30 minutos.

Aplicando la metodología, se determinó un caudal de riego de 0,4 L/s. Con base en estos datos, se construyó la Tabla 23, donde se resumen los riegos aplicados al prototipo.

JARDÍN	SUPERFICIE (M2)	TEMPORADA RIEGO				
Inclinado	20	Verano				
CAUDAL (L/s)	DÍA	FECHA	TIEMPO DE RIEGO (MINUTOS)	VOLUMEN REGADO (LITROS)	VOLUMEN ACUMULADO (LITROS)	
0,4	Jueves	02/01/2025	10	240	240	
	Viernes	03/01/2025	10	240	480	
	Viernes	17/01/2025	30	720	1200	
	Lunes	03/02/2025	30	720	1920	
	Miércoles	19/02/2025	30	720	2640	
	Días Totales	80	Tiempo Total (min)	110	2640	
Requerimiento de Riego (L/m2/semana)						15,87

Tabla 23 Resumen de los riegos aplicados para el refugio inclinado abastecido con agua potable mediante riego manual restringido de emergencia.

Durante el plan de riego intensivo, se han utilizado 2,640 litros de agua para 80 días de riego, entre el 2 de diciembre de 2024 y el 19 de febrero de 2025. Aplicando la fórmula de la metodología utilizada, se estima que el requerimiento diario de agua por metro cuadrado en el prototipo es de aproximadamente 1,65 L/día m2.

Con los valores obtenidos anteriormente, se aplica la fórmula del indicador de Eficiencia de Riego, lo cual resulta lo siguiente:

$$Eficiencia\ de\ riego = \frac{V_{base} - V_R}{V_{base}} \cdot 100\%$$

Donde:

- V_{base} = volumen del caso base expresado en litros.
- V_R = volumen de riego del refugio expresado en litros.

$$Eficiencia\ de\ riego\ (\%) = \frac{9 - 1,65}{9} * 100$$

$$Eficiencia\ de\ riego\ (\%) = 81,67\%$$

Si se utiliza la misma selección de especies vegetales utilizada en este proyecto a todas las áreas verdes de Santiago, se lograría un ahorro aproximado del 82% en el consumo diario de agua, lo que equivale a cerca de 13,5 millones de litros de agua al día.

Finalmente se interpreta el resultado sobre la base de la tabla de diagnóstico sugerido (tabla 10), resulta en un diagnóstico excelente, donde el uso de agua es eficiente sin riesgo para la vegetación.

EFICIENCIA HÍDRICA (%)	DIAGNÓSTICO	INTERPRETACIÓN TÉCNICA
>80%	Excelente	Uso del agua muy eficiente sin riesgo para la vegetación

III. Almacenamiento e Infiltración del suelo

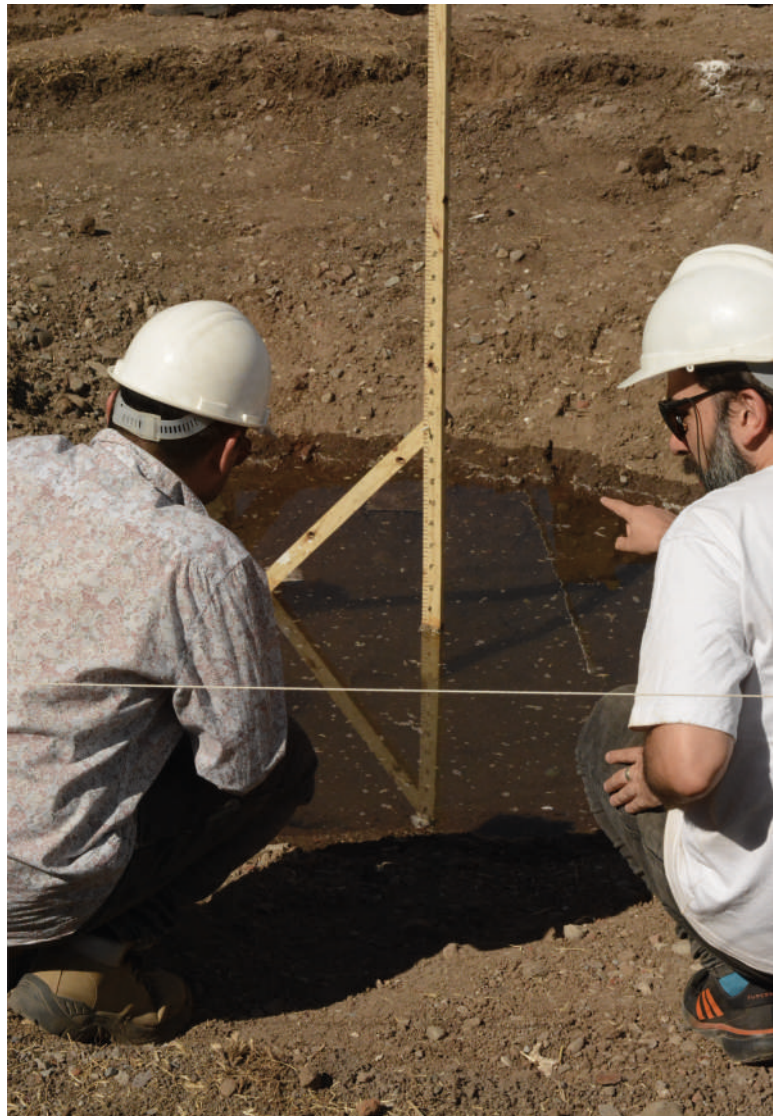
Se selecciona un evento de precipitación representativo; basándose en estudios previos, se elige un valor de 69 milímetros, correspondiente al máximo de precipitación en 24 horas en el área del proyecto, considerando un período de retorno de 10 años.

El caso de estudio corresponde a un refugio microcuena de 20 m², el cual es considerado como jardín y le corresponde un coeficiente de escorrentía de 0,35, dicha microcuena es abastecida con agua lluvia de cubierta cercana y riego complementario con agua potable, cuando los sensores de suelo alcanzan 100 cb. Una vez definido lo anterior, se determina el área aportante a la precipitación, que en este caso considera el aporte del techo, que contempla un valor de 92 m² y un coeficiente de escorrentía igual a 0,9.

Por lo tanto, con el valor de área aportante en ambas superficies, el coeficiente de escorrentía, y el valor definido para la precipitación, se calcula el volumen aportado por el evento diario, aplicando la fórmula resulta un valor de 6196 litros.

Para determinar el volumen total de agua infiltrada, es esencial conocer la tasa de infiltración del suelo. En este caso, basándose en estudio de Porchet previos del proyecto, se estima una tasa de infiltración promedio de 219 mm/h.

Por lo tanto, considerando que cada milímetro en un área de 1m², corresponde a 1litro de agua, los 219 mm/hr equivalen a 219 litros de agua que el suelo es capaz de infiltrar por cada m² en una hora.





Para los cálculos, se considera un evento registrado en el refugio microcuenca de 3 horas, lo cual es adecuado, pensando que la intensidad de una hora, estadísticamente no supera el valor diario.

Reemplazando:

$$V_{inf} = 219 * 20 * 3 = 13140 \text{ litros}$$

Una vez obtenido el valor de infiltración en 3 horas, es necesario determinar el volumen de almacenamiento. En este caso, se realizaron mediciones in situ al terreno, lo que permitió obtener una medición representativa.

Por lo tanto, el volumen de almacenamiento debido a la depresión en la superficie para el jardín de lluvia es de aproximadamente 1500 litros.

Con los datos anteriores, es posible se determinar el volumen de captura, para ello se aplica la fórmula expuesta en la metodología:

$$V_c = V_{inf} + V_{alm}$$

Reemplazando:

$$V_c = 13140 + 1500 = 14.640 \text{ Litros}$$

Por lo tanto, conociendo los datos anteriores, es posible aplicar el indicador:

$$\% \text{ Control de escorrentía} = \min\left(\frac{V_c}{V_{lluvia}}, 1\right) * 100$$

$$\% \text{ Control de escorrentía} = 100\%$$

Una vez aplicado el indicador, se interpreta el resultado, siguiendo la tabla de diagnóstico, corresponde a una alta efectividad, donde la SBN retiene la totalidad del volumen de escorrentía generado por eventos de lluvia, lo cual indica un diseño óptimo y una alta eficiencia en el control de la escorrentía.

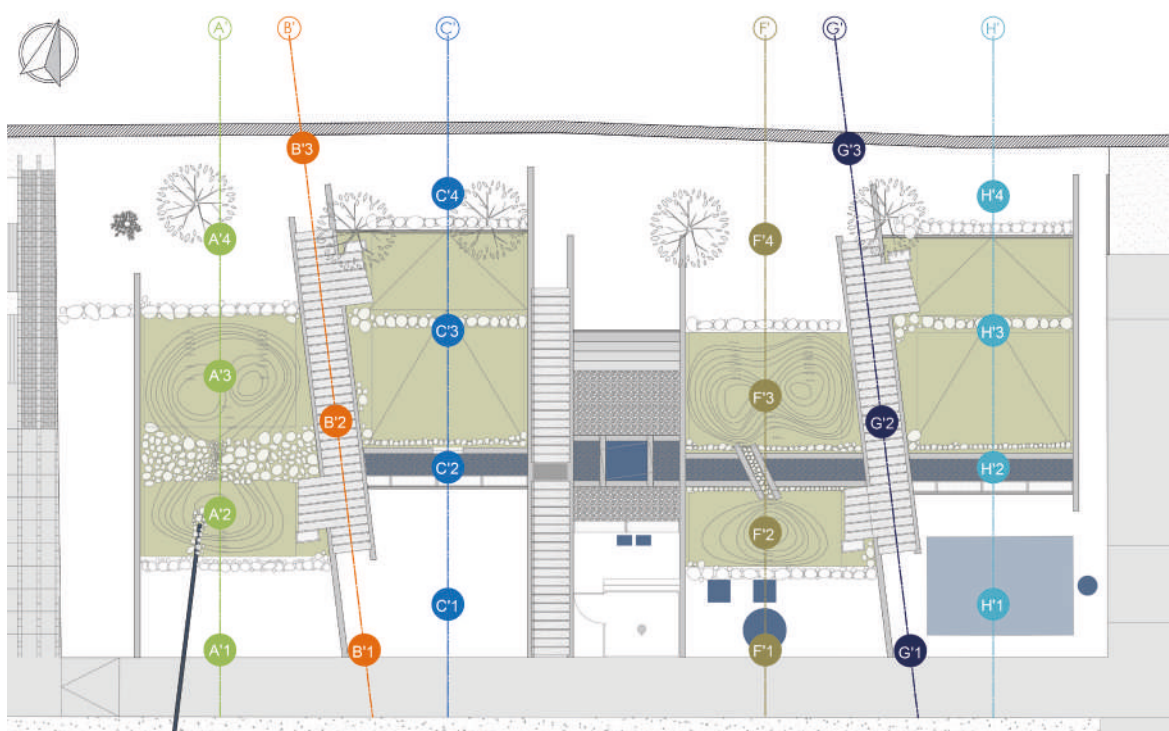
CATEGORÍA	RANGO DE CONTROL (%)	INTERPRETACIÓN TÉCNICA
Muy alto	90-100	La SBN retiene prácticamente la totalidad del volumen de escorrentía generado por eventos de lluvia frecuentes. Indica un diseño óptimo y una alta eficiencia en el control de la escorrentía.

Tabla 24 Tabla de diagnóstico de efectividad

IV. Reducción de Temperatura Ambiental (RTA)

Para la aplicación del indicador se trazaron 6 ejes en el caso de estudio, definiendo como caso base para cada eje el punto representativo del espacio antes de la intervención. Este caso los puntos 1. Este caso los puntos (1'A, 1'B, 1'C, 1'F, 1'G y 1'H).

Figura 9 Planta con trazado de ejes de medición.



Se realizó la medición en 3 momentos del día, a las 8:30 h, a las 12:00 h y a las 16:00 h, para conocer la efectividad durante todo el día, el mes de medición fue el mes de enero y los valores expresados en la tabla corresponden a los valores promedio mensuales.

		MAÑANA			MEDIODÍA			TARDE		
	Punto	Temp. Promedio °C	Variación	Efectividad	Temp. Promedio °C	Variación	Efectividad	Temp. Promedio °C	Variación	Efectividad
EJE A	1A	20,96			29,62			31,77		
	2A	20,92	-0,05	0,22%	29,26	-0,35	1,19%	32,38	0,62	-1,94%
	3A	22,03	1,07	-5,10%	30,01	0,39	-1,32%	32,38	0,61	-1,91%
	4A	22,41	1,45	-6,90%	30,09	0,48	-1,61%	31,92	0,15	-0,46%
EJE B	1B	21,15			29,85			31,82		
	2B	22,38	1,22	-5,78%	30,04	0,18	-0,62%	32,00	0,18	-0,56%
EJE C	1C	21,78			30,30			30,34		
	2C	22,51	0,73	-3,36%	29,94	-0,36	-1,19%	32,57	0,23	-0,71%
	3C	23,38	1,60	-7,36%	30,48	0,18	-0,61%	32,63	0,29	-0,90%
	4C	24,00	2,22	-10,21%	30,12	-0,18	-0,58%	32,22	-0,12	0,36%
EJE F	1F	23,14			30,75			33,11		
	2F	23,04	-0,10	0,43%	30,74	-0,01	0,03%	31,87	-1,24	3,74%
	3F	24,55	1,41	-6,08%	31,86	1,12	-3,63%	32,02	-1,09	3,30%
	4F	23,46	0,32	-1,40%	30,37	0,62	-2,03%	32,38	-0,73	2,21%
EJE G	1G	23,43			31,42			32,61		
	2G	23,75	0,32	-1,38%	31,06	-0,35	-1,13%	32,59	-0,02	0,05%
EJE H	1H	23,59			31,35			33,06		
	2H	24,40	0,81	-3,42%	31,15	-0,19	-0,61%	32,27	-0,79	2,40%
	3H	24,72	1,13	-4,79%	31,25	-0,09	-0,29%	32,00	-1,06	3,21%
	4H	25,33	1,74	-7,37%	32,18	0,83	-2,65%	33,14	0,08	-0,23%

Tabla 25 Síntesis temperaturas promedio, variación y porcentaje de efectividad, aplicadas a enero de 2025.

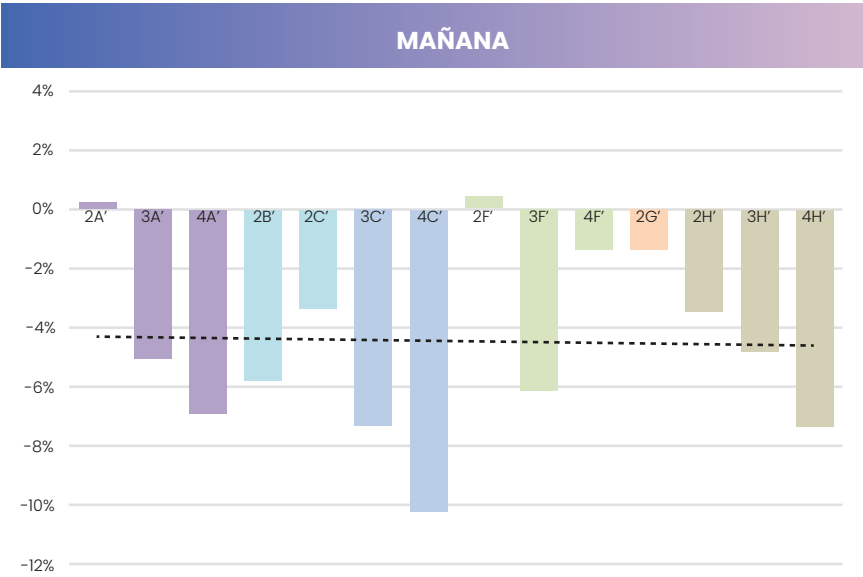


Figura 10 Porcentaje de Reducción de Temperatura Ambiental durante la mañana.

Durante la mañana se aprecia una tendencia a la efectividad negativa en todos los ejes analizados alcanzando hasta el 10% sobre el caso base.

Es posible reconocer un aumento de las temperaturas en los ejes A, B y C.

Los ejes B y G corresponden a los espacios de circulación entre pilotos. Si bien tienen las mismas condiciones morfológicas y materiales se aprecia una reducción de las temperaturas en el eje G:

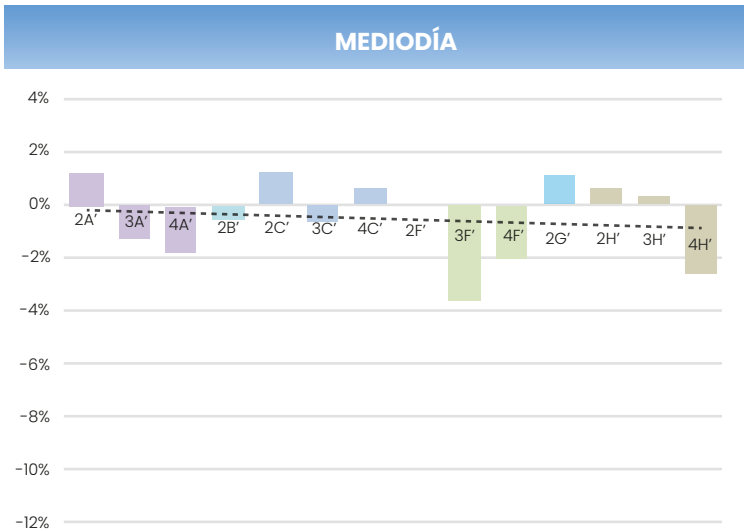


Figura 11 Porcentaje de Reducción de Temperatura Ambiental durante el mediodía.

A medida que el movimiento solar avanza hacia el zenit se reduce la diferencia de temperatura entre el caso base (Punto A) de cada uno de los ejes y el interior de los refugios. La línea de tendencia muestra una inclinación leve de mayor efectividad en los ejes A, B y C, ejes con mayor sombra por su ubicación poniente.

Refugio inclinado con riego de agua potable, correspondiente al eje C, aumenta su efectividad, pasado de ser el espacio con mayor temperatura al de mayor efectividad, siendo el punto 2C' el que presenta menor temperatura, mientras que el 4C' es el punto de mayor amplitud térmica, con un 11%.

Refugio inundable con agua lluvia, correspondiente al eje A, muestra un aumento de efectividad en la reducción de temperatura, mostrando una efectividad constante en el punto 2A', al igual que el punto 2C', ambos correspondientes a jardines microcuencas

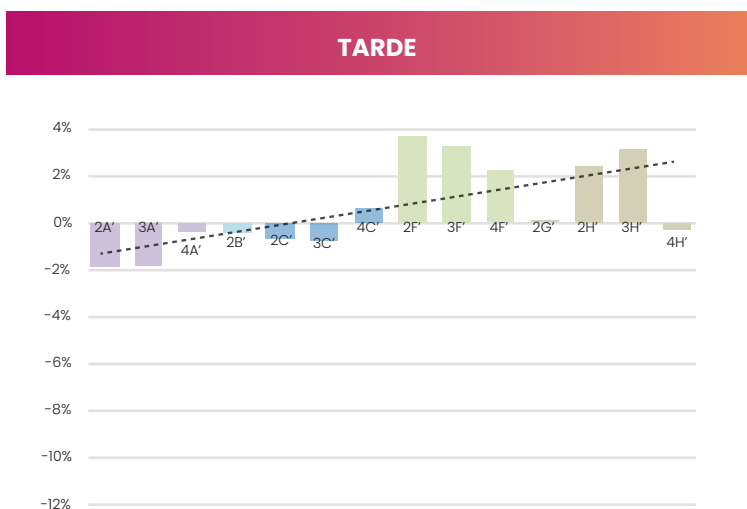


Figura 12 Porcentaje de Reducción de Temperatura Ambiental durante la tarde.

En el proceso de diseño, las decisiones de orientación de un espacio público son clave por su impacto en la efectividad, ya que los conos de sombra de las edificaciones preexistentes y de la vegetación proyectada tendrán una incidencia directa en el desempeño térmico de los refugios.

El gráfico de la mañana, a diferencia de los muestreos del mediodía y de la tarde, expresa valores de baja efectividad, lo que podría ser interpretado como un resultado negativo, pero se debe considerar que estos valores corresponden a temperaturas dentro del rango de confort, no se expresa sobrecalentamiento los refugios en horas de la mañana, si no que aporta una perspectiva que evidencia otro fenómeno: los refugios crean un entorno microclimático más estable que los espacios no intervenidos (caso base), reduciendo la oscilación térmica en las horas nocturnas.

En la medida que las temperaturas aumentan al mediodía se puede ver la importancia de la esta estabilidad térmica de los refugios, mientras las temperaturas ambientales suben aproximadamente 10 °C en el caso base, en los refugios el aumento de temperatura es de entre 7°C - 8°C, obteniendo una mayor efectividad en las mediciones de la tarde, que corresponden a los momentos de mayor temperatura del día, lo que argumenta su efectividad.

En particular el punto 2F' alcanza la efectividad promedio más alta con 3.74%, esta medición corresponde al área delimitada en una superficie de 2,0x4,0 m, lo que argumenta la definición de esta superficie como la unidad mínima del componente jardín del modelo mejorado.

Aplicación de indicador de efectividad

CATEGORÍA EFECTIVIDAD	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Muy baja	0	0,2
Baja	0,2	0,4
Media	0,4	0,6
Alta	0,6	0,8
Muy alta	0,8	1

Tabla 26 Aplicación de indicador de efectividad

Se normalizan los datos promedio de la ventana de observación y se aplica el índice de por cada uno de los horarios de medición.

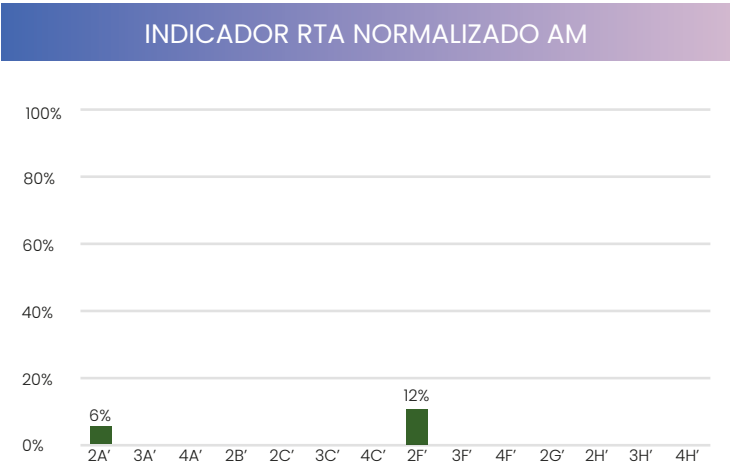


Figura 13 Índice de efectividad normalizado, datos AM

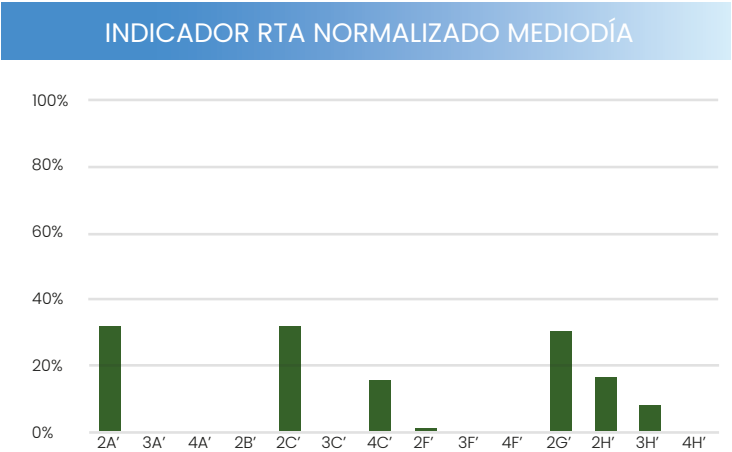


Figura 14 Índice de efectividad normalizado, datos mediodía.

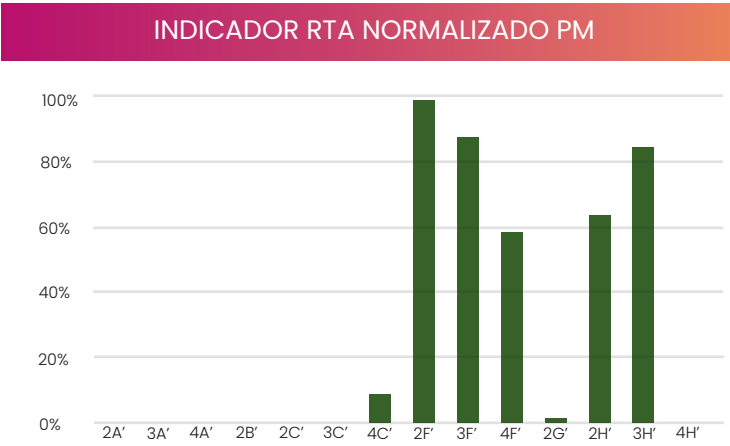


Figura 15 Índice de efectividad normalizado, datos PM.

La aplicación del indicador muestra que los valores de Alta y Muy alta efectividad se concentran en el eje F y H.

Efectividad Reducción Temperatura Ambiental		
Horario	Punto	Efectividad
AM		
	2A'	Muy baja efectividad
	2F'	Muy baja efectividad
Mediodía		
	2A'	Baja efectividad
	2C'	Baja efectividad
	4C'	Muy baja efectividad
	2G'	Baja efectividad
	2H'	Muy baja efectividad
	3H'	Muy baja efectividad
PM		
	4C'	Muy baja efectividad
	2F'	Muy alta efectividad
	3F'	Muy alta efectividad
	4F'	Media efectividad
	2G'	Muy baja efectividad
	2H'	Alta efectividad
	3H'	Muy alta efectividad

Tabla 27 Efectividad por puntos en reducción de temperatura ambiental

V. Reducción de temperatura superficial (RTS).

Para la aplicación del indicador de Reducción de Temperatura Superficial se toma la misma ventana de observación que el indicador Reducción de Temperatura Ambiental (RTA), se define la paleta de materiales para un muestreo representativos del caso estudio respecto del caso base, que en este caso se define como tierra desnuda, representativo del espacio antes de la intervención.

CASO BASE	ÁREA DE ESTUDIO
T5_TIERRA DESNUDA	T-7 MULCH
	T8 - ACERO BLANCO
	T9 - ÁRIDOS ZANJA
	T10 - DURMIENTE
	T12 - PIEDRA 1
	T13 - PIEDRA 2
	T14 - MULCH A LA SOMBRA
	T15 - SOLERILLA MADERA
	T16 - TIERRA

Tabla 28 Paleta de materiales analizados

Se definen tres muestreos diarios a las 9:30 h, 13:30 h y 17:30 h para la medición de cada uno de los materiales seleccionados, incluido el caso base

*Filas en gris corresponden a días con mayor temperatura ambiental de la muestra														
		CASO BASE	ÁREA DE ESTUDIO			ÁREA DE ESTUDIO			ÁREA DE ESTUDIO			ÁREA DE ESTUDIO		
FECHA	HORARIO	T5-TIERRA DESNUDA	T-7 MULCH	VARIA- CIÓN	%	T8-ACERO BLANCO	VARIA- CIÓN	%	T13 - PIEDRA2	VARIA- CIÓN	%	T14-MULCH A LA SOMBRA	VARIA- CIÓN	%
Vie 03-01-2025	10:14	33,3	40,8	7,5	-23%	50,2	17,0	-51%	25,4	-7,8	23,5%	50,9	17,6	-53,0%
Lun 06-01-2025	10:07	37,6	46,6	9,0	-24%	29,9	-7,7	21%	30,2	-7,4	19,8%	45,4	7,8	-20,8%
Mie 08-01-2025	9:51	33,9	37,8	3,9	-11%	29,0	-5,5	15%	29,2	-4,7	13,9%	31,8	-2,1	6,2%
Vie 10-01-2025	10:13	35,1	47,2	12,1	-34%	39,6	4,5	-13%	36,8	1,7	-4,7%	52,6	17,4	-49,6%
Lun 13-01-2025	9:41	28,6	30,7	2,2	-8%	21,2	-7,3	26%	25,2	-3,4	11,8%	34,3	5,8	-20,2%
Mie 15-01-2025	9:38	23,7	33,4	9,7	-41%	23,0	-0,7	3%	25,3	1,6	-6,8%	31,2	7,6	-32,0%
Lun 20-01-2025	9:48	32,0	37,7	5,7	-18%	29,2	-2,8	9%	26,1	-5,9	18,3%	21,4	-0,6	1,8%
Mie 22-01-2025	9:35	19,9	32,1	12,2	-61%	20,4	0,5	-3%	22,3	2,4	-12,1%	27,6	7,7	-38,9%
Vie 24-01-2025	9:36	20,8	35,4	14,6	-70%	28,9	8,1	-39%	23,9	3,1	-14,9%	28,6	7,8	-37,3%
Lun 27-01-2025	9:52	31,2	32,0	0,8	-2%	26,2	-5,0	16%	24,1	-7,0	22,8%	25,4	-5,8	18,5%
Mie 29-01-2025	9:37	26,2	35,4	9,1	-35%	27,1	0,9	-3%	21,9	-4,3	16,5%	27,4	1,1	-4,3%
Vie 31-01-2025	9:35	26,2	36,6	10,4	-40%	49,8	23,6	-90%	22,2	-4,0	15,2%	33,9	7,6	-29,1%
Vie 03-01-2025	13:56	67,8	74,6	6,8	-10%	53,6	-14,2	21%	60,6	-7,2	10,6%	43,6	-24,1	35,6%
Lun 06-01-2025	13:40	60,3	66,9	6,6	-11%	44,9	-15,5	26%	56,2	-4,2	6,9%	42,3	-18,1	29,9%
Vie 10-01-2025	13:52	58,9	69,0	10,1	-17%	46,3	-12,7	21%	56,3	-2,6	4,4%	44,5	-14,4	24,4%
Lun 13-01-2025	13:33	57,7	65,9	8,3	-14%	41,5	-16,2	28%	54,5	-3,1	5,4%	38,1	-19,5	33,9%
Mie 15-01-2025	13:28	64,6	71,5	6,9	-11%	49,9	-14,7	23%	56,8	-7,9	12,2%	53,9	-10,8	16,7%
Vie 17-01-2025	13:42	63,7	67,4	3,8	-6%	46,7	-17,0	27%	66,2	2,5	-3,9%	46,5	-17,1	26,9%
Lun 20-01-2025	13:41	59,3	68,1	8,9	-15%	55,4	-3,9	7%	51,0	-8,3	14,0%	43,3	-15,9	26,9%
Mie 22-01-2025	9:35	56,5	60,4	3,9	-7%	37,3	-19,2	34%	48,2	-8,4	14,8%	53,2	3,4	6,0%
Vie 24-01-2025	13:39	66,0	72,4	7,4	-11%	52,3	-12,7	20%	56,8	-8,2	12,6%	46,0	-19,0	29,3%
Lun 27-01-2025	13:25	51,9	68,7	16,8	-32%	46,1	-5,8	11%	52,5	0,6	-1,2%	55,2	3,3	-6,3%
Mie 29-01-2025	13:36	62,1	65,5	3,4	-5%	48,4	-13,8	22%	54,8	-7,3	11,7%	55,5	-6,6	10,7%
Vie 31-01-2025	13:32	61,7	69,7	8,0	-13%	48,7	-13,0	21%	58,8	-2,9	4,7%	45,3	-16,4	26,5%
Vie 03-01-2025	17:29	58,1	54,6	-3,5	-6%	40,9	-17,2	30%	50,9	-7,1	12,3%	38,2	-19,9	34,3%
Lun 06-01-2025	18:06	55,5	50,0	-5,5	10%	38,0	-17,5	32%	50,3	-5,2	9,4%	35,1	-20,4	36,7%
Mie 08-01-2025	13:25	51,9	41,1	-9,8	19%	37,4	-14,5	28%	37,2	-14,7	28,3%	30,8	-21,1	40,6%
Vie 10-01-2025	17:39	56,3	53,0	-3,3	6%	40,0	-16,3	29%	50,0	-6,3	11,1%	43,7	-12,6	22,4%
Lun 13-01-2025	17:59	51,2	47,5	-3,7	7%	37,0	-14,2	28%	42,4	-8,7	17,1%	32,3	-18,9	36,9%
Mie 15-01-2025	17:55	52,6	58,0	5,4	-10%	43,2	-9,4	18%	48,0	-4,6	8,7%	51,4	-1,2	2,3%
Vie 17-01-2025	17:29	57,8	53,8	-4,0	7%	43,4	-14,4	25%	46,8	-11,0	19,0%	35,3	-22,6	39,0%
Lun 20-01-2025	17:54	53,9	46,4	-7,5	17%	33,3	-29,7	38%	41,0	-13,0	24,0%	32,8	-21,1	39,1%
Mie 22-01-2025	17:52	51,1	47,2	-4,0	8%	35,9	-15,2	30%	36,5	-14,7	28,7%	44,3	-6,8	13,3%
Vie 24-01-2025	17:47	54,9	58,9	3,9	7%	42,4	-12,6	23%	45,6	-9,4	17,1%	51,9	-3,1	5,6%
Lun 27-01-2025	17:45	60,0	53,5	-6,5	11%	41,3	-18,7	31%	47,0	-13,0	21,6%	54,3	-5,6	9,4%
Vie 29-01-2025	17:52	53,6	47,2	-6,4	12%	36,3	-17,3	32%	41,3	-12,3	23,0%	31,1	-22,5	42,0%
Vie 31-01-2025	17:37	63,8	61,1	-2,7	4%	47,6	-16,2	25%	55,6	-8,2	12,8%	45,0	-18,8	29,4%

Tabla 29 Comparación de temperaturas entre caso base y materiales de área de estudio.

El gráfico muestra la comparación entre los diferentes materiales analizados. Se expresa la temperatura superficial en grados Celsius, la diferencia de temperatura y el porcentaje de aumento o reducción de temperatura.

Comparación de temperatura superficial:

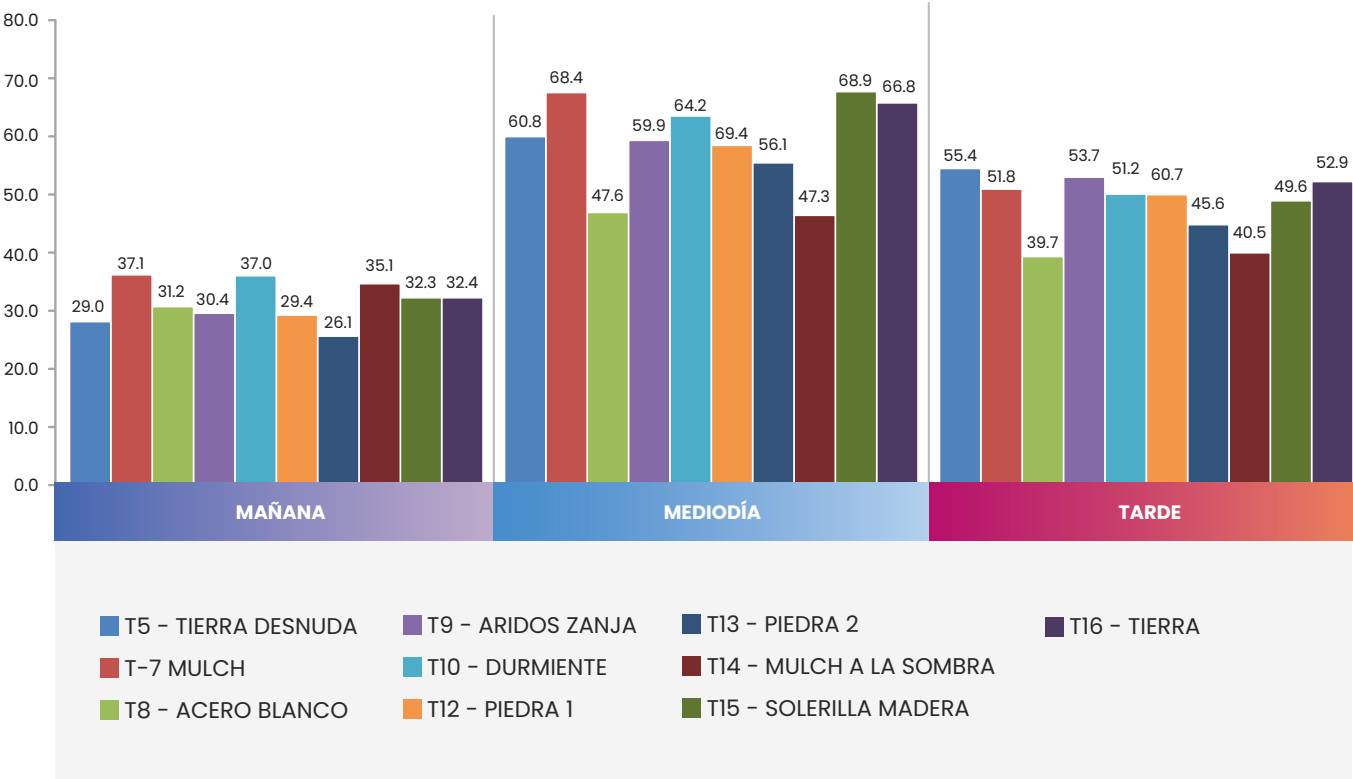


Figura 16 Comparación de temperaturas superficiales

Se puede ver un aumento considerable de la temperatura entre las mediciones de la mañana y el mediodía. Siendo el mediodía el punto más desfavorable, con temperaturas que alcanzan los 68°C.

Los puntos más desfavorables son:

Las solerillas de madera (T15) tienen un aumento de 34,6°C.

El caso base, tierra desnuda (T5) y el mulch (T7) muestran un aumento de temperatura de 31° Celsius.

RTS Respecto de caso base tierra desnuda:

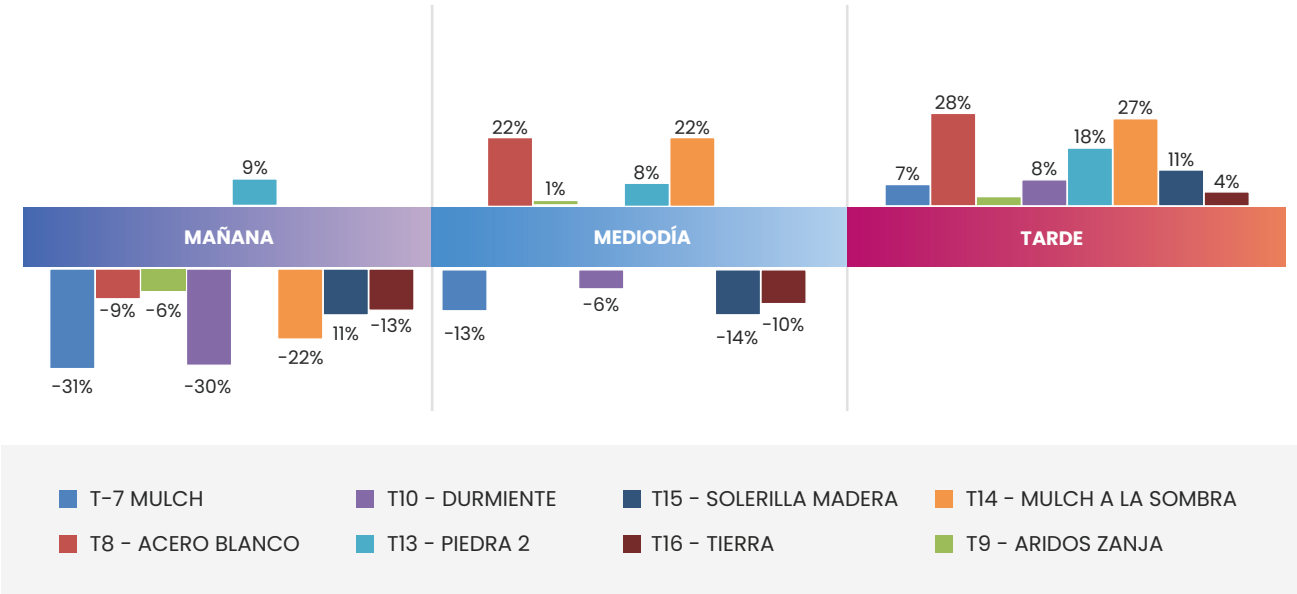


Figura 17 Tabla de reducción de temperatura superficial.

En el gráfico de Reducción de Temperatura Superficial se muestra en porcentajes las diferencias de temperaturas, expresando como valores positivos la reducción de temperatura en grados Celsius, esto corresponde a un aumento de la efectividad, por lo tanto, los porcentajes negativos expresan el aumento de temperatura; es decir, una reducción de la efectividad o efectividad negativa.

El comportamiento de los materiales durante las horas de la mañana muestra un calentamiento mayor al del caso base, con excepción del material Piedra 2 (T13), que correspondiente a áridos de gran tamaño.

Por otro lado, en el mediodía existen comportamientos disímiles, destacando el acero blanco (T8) y el mulch a la sombra(T14) como los materiales con mayor efectividad en Reducción de Temperatura Superficial, reduciéndola en un 22%.

En las mediciones de la tarde la tendencia es hacia el aumento de efectividad general, teniendo un comportamiento positivo de los ocho materiales analizados, dentro de este escenario el T8 y T14 siguen siendo los materiales de mayor efectividad, mientras que la Piedra 2 (T3) mejora su desempeño

Comparación de temperatura superficial de materiales:

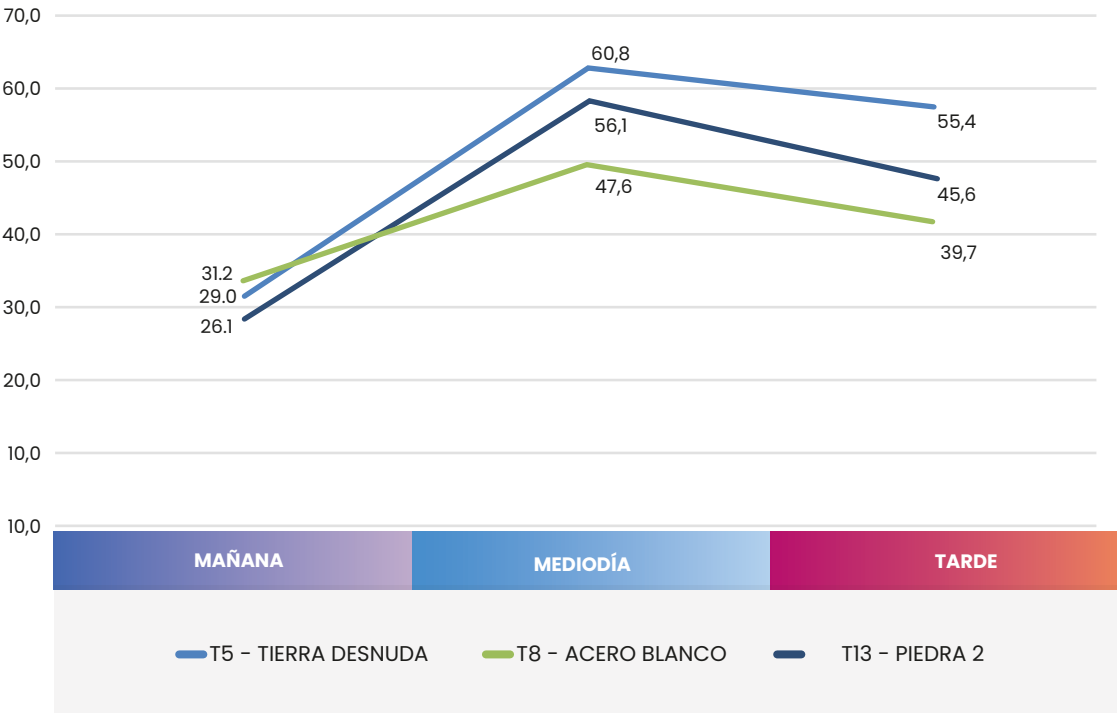


Figura 18 Comparación de materiales de alta efectividad en horario PM

Gráfico de la figura 18 muestra la comparación de materiales alta efectividad durante la tarde, como el acero blanco (T8) y la piedra 2 (T13) en relación con el caso base T5.

Conclusiones:

Se puede extrapolar a través de los resultados que existen tres dimensiones a considerar en la selección de materiales, diseño y ubicación de refugios climáticos, con el objetivo de planificar mejores resultados de efectividad:

Propiedades intrínsecas: es clave el entendimiento de las propiedades y su comportamiento térmico de los materiales.

En el caso de estudio, los áridos de canto rodado de gran tamaño son materiales con efectividad constante durante todos los momentos de medición. Durante los horarios de más calor, en las tardes, aumentan su efectividad en un 10% por sus propiedades intrínsecas, tales como densidad y calor específico.

Modificación de propiedades: analizar la capacidad de reflexión de radiación solar, para permitir la reducción de absorción de temperatura.

El acero pintado de blanco T8 tiene como objetivo el aumento del albedo. Con esta modificación el acero blanco es el material de mayor comportamiento, con un 28% de efectividad. A pesar de su alta conductividad el aumento del albedo modifica su comportamiento, permitiendo su adaptación.

Elementos externos que contribuyen: integrar variables permite asociar propiedades para sumar beneficios. El mulch a la sombra, en comparación con el mulch sin cobertura vegetal tiene un aumento de efectividad del 20% gracias a la reducción de la radiación

La combinación de estos tres factores aporta desde distintas perspectivas al cumplimiento del indicador, entregando adaptabilidad a diferentes materiales para su utilización en refugios climáticos.

VI. Supervivencia vegetal

Se establecieron 2 paletas vegetales, de 15 especies en cada una. Se consideraron diversas formas de vida, entre árboles, arbustos, subarbustos, hierbas perennes y suculentas. En su totalidad son especies de plantas nativas y endémicas de Chile central que fueron seleccionadas con base en una metodología de valor paisajístico.

De las 30 especies ensayadas, los resultados experimentales permiten recomendar 23 nuevas especies para el espacio público, de las cuales 17 alcanzaron un porcentaje de supervivencia > 80%, considerado un excelente resultado para el primer año, etapa más crítica para el establecimiento de las plantas. Hay otras 2 especies que alcanzaron al menos el 75% de supervivencia, considerada un rendimiento moderado; sin embargo, ambas también son recomendadas para ser utilizadas en los modelos de refugio por su alto valor paisajístico y amplia disponibilidad en el mercado.

Nº	ESPECIE NATIVA	% SOBREVIVENCIA FINAL PROMEDIO PARA TODOS LOS TRATAMIENTOS	HÁBITO O FORMA DE VIDA
1	<i>Alstroemeria ligtu</i>	-	Hierba perenne (geófito)
2	<i>Andeimalva chilensis</i>	75,0	Arbusto
3	<i>Baccharis linearis</i>	100	Arbusto
4	<i>Balbisia peduncularis</i>	86,1	Subarbusto
5	<i>Cistanthe laxiflora</i>	91,1	Hierba perenne
6	<i>Colliguaja odorifera</i>	95,8	Arbusto
7	<i>Nasella laevissima</i>	85,4	Hierba perenne
8	<i>Puya alpestris</i>	100	Suculenta
9	<i>Pasithea caerulea</i>	-	Hierba perenne(geófito)
10	<i>Puya coerulea</i>	95,7	Suculenta
11	<i>Senna cumingii</i>	85,7	Arbusto
12	<i>Sphaeralcea obtusiloba</i>	96,9	Arbusto
13	<i>Tropaeolum tricolor</i>	-	Hierba perenne(geófito)
14	<i>Vachelia caven</i>	100	Árbol
15	<i>Alternanthera porrigens</i>	100	Hierba perenne
16	<i>Eryngium paniculatum</i>	100	Hierba perenne
17	<i>Fabiana imbricata</i>	91,7	Arbusto
18	<i>Haplopappus macrocephalus</i>	100	Subarbusto
20	<i>Lycium chilense</i>	91,7	Arbusto
19	<i>Lepechinia salviae</i>	75,0	Arbusto
21	<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	91,7	Arbusto
22	<i>Neltuma alba</i>	100	Árbol
23	<i>Sisyrinchium graminifolium</i>	75,0	Hierba perenne

Tabla 30 Supervivencia final promedio para las distintas especies.

Nota: Para el caso de las géofitas, no se incluyen los resultados de supervivencia ya que estas especies pierden su estructura aérea durante el verano, por tanto el monitoreo se realizó de manera posterior.

Alternanthera porrigens, *Cistanthe laxiflora*, *Puya alpestri*, *Puya coerulea* y *Eryngium paniculatum*, los arbustos *Baccharis linearis*, *Colliguaja odorifera*, *Fabiana imbricata*, *Haplopappus macrocephalus*, *Lycium chilense*, *Muehlenbeckia hastulata*, *Sphaeralcea obtusiloba* y los árboles *Neltuma alba* y *Vachelia caven* sobrepasaron el 90% de sobrevivencia final.

En las especies recomendadas de la paleta jardín microcuenca que fue sometida a agua gris tratada vs agua lluvia, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los análisis de sobrevivencia. No obstante, los análisis MDA¹, (técnica para evaluar el daño celular en plantas por estrés ambiental) muestran aumento de lipoperoxidación en las especies *Alternanthera porrigens*, *Lycium chilense*, *Neltuma alba* y *Sisyrinchium graminifolium*, sometidas a riego con agua gris tratada.

En las especies recomendadas de la paleta jardín talud que fue sometida a un gradiente hídrico entre 13,3 y 1,4 L/ m²/día, aproximadamente, solo 2 especies, *Cistanthe laxiflora* y *Nasella laevissima*, son sensibles y alcanzaron porcentajes de sobrevivencia menor cuando fueron sometidas a un riego restringido. Respecto a la sobrevivencia, el resto de las especies fueron insensibles al gradiente hídrico aplicado a la paleta del refugio inclinado



Sin embargo, *Nasella laevissima* mostró indicadores de estrés oxidativo con análisis ROS sobre el normal tanto en riego restringido como el recomendado para el espacio público. Lo mismo se encuentran en *Andeimalva chilensis*, *Encelia canescens*, *Sphaeralcea obtusiloba*, con valores entre 1-2 veces por sobre el normal, aunque esta situación no se expresó con aumentos de la mortalidad.

Por el contrario, el mismo análisis ROS muestran que *Cistanthe laxiflora* no presentó evidencia de que sus tejidos estén sufriendo estrés oxidativo e incluso el indicador MDA muestra valores asociados con tolerancia salina/hídrica durante un día de verano para el tratamiento de riego restringido.

¹. Dhindsa, R. S. & Matowe, W. Drought tolerance in two mosses: correlation with enzymatic defense against lipid peroxidation. J. Exp. Bot. 32, 79–91 (1981).

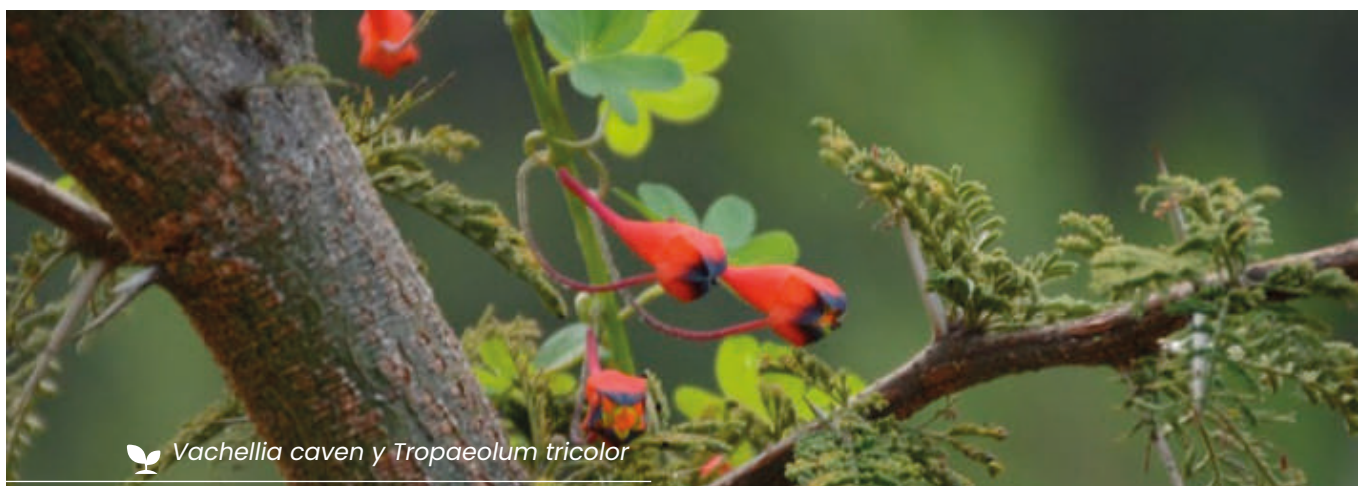
Sun, C., Wu, T., Zhai, L., Li, D., Zhang, X., Xu, X., ... & Han, Z. (2016). Reactive oxygen species function to mediate the Fe deficiency response in an Fe-efficient apple genotype: an early response mechanism for enhancing reactive oxygen production. Frontiers in Plant Science, 7, 1726.

VII. Crecimiento de la vegetación

En términos generales, el crecimiento del conjunto vegetal está determinado por la disponibilidad de agua. Si bien las especies seleccionadas tienen un crecimiento que varía según la estación del año, que es mayor en primavera y menor en invierno. Las tasas de crecimiento de las especies de la paleta vegetal refugio inclinado, sometidas a un riego restringido de 1,4 L/m²/día fue de 53,82 cm, en promedio. La tasa de crecimiento de las especies sometidas a riego recomendado de 13,3 L/m²/día fue de 113,6 cm, en promedio. Por consiguiente, las especies sometidas a un riego restringido desaceleran su crecimiento en 52%.

ESPECIE	Crecimiento invierno en cm (±1 Desviación estándar)	Crecimiento primavera en cm (±1 Desviación estándar)	Crecimiento verano en cm (±1 Desviación estándar)
<i>Alstroemeria ligtu</i>	3,8 (2,8)	-7,8 (4,9)	-1,2 (4,0)
<i>Alternanthera porrigens</i>	-1,6 (7,1)	6,6 (7,4)	41,5 (37,1)
<i>Eryngium panicalatum</i>	1,5 (4,9)	29,1 (17,4)	-0,1 (19,2)
<i>Fabiana imbricata</i>	2,3 (2,7)	10,2 (6,8)	14,4 (21,5)
<i>Hiplopappus macrocephalus</i>	0,9 (4,1)	4,9 (4,4)	1,5 (4,6)
<i>Lycium chilense</i>	2,5 (3,1)	6,2 (14,7)	12,9 (17,7)
<i>Lepechinia salviae</i>	-4,5 (16,5)	5,5 (15,3)	1,9 (8,2)
<i>Muehlenbeckia hastulata</i>	0,1 (2,6)	37,8 (34,7)	95,1 (65,8)
<i>Neltuma alba</i>	-3,0 (5,0)	13,9 (11,6)	48,7 (28,2)
<i>Sisyrinchium graminifolium</i>	-2,4 (3,5)	13,9 (14,3)	-10,3 (12,7)

Tabla 31 Paleta vegetal jardín microcuenca



Vachellia caven y *Tropaeolum tricolor*

ESPECIE	Crecimiento invierno en cm (±1 Desviación estándar)	Crecimiento invierno en cm (±1 Desviación estándar)	Crecimiento invierno en cm (±1 Desviación estándar)
<i>Andeimalva chilensis</i>	0,6 (1,9)	36,7 (28,8)	5,6 (40,0)
<i>Baccharis linearis</i>	3,0 (8,8)	24,2 (11,0)	22,7 (11,0)
<i>Balbisia peduncularis</i>	2,5 (4,5)	13,7 (12,1)	2,6 (20,8)
<i>Cistanthe laxiflora</i>	1,4 (4,9)	6,6 (12,2)	-6,3 (16,5)
<i>Colliguaja odorifera</i>	2,5 (5,0)	3,3 (4,1)	9,7 (16,8)
<i>Nasella laevissima</i>	1,3 (5,5)	12,9 (10,8)	5,8 (8,3)
<i>Pasithea caerulea</i>	1,9 (5,1)	-15,8 (6,1)	-0,2 (1,2)
<i>Puya alpestris</i>	-0,4 (3,4)	4,4 (5,4)	4,8 (6,0)
<i>Puya coerulea</i>	0,0 (2,0)	3,1 (4,2)	3,0 (4,2)
<i>Senna cumingii</i>	-0,1 (2,8)	4,5 (9,0)	10,1 (18,6)
<i>Sphaeralcea obtusiloba</i>	-1,0 (5,6)	25,4 (18,7)	11,6 (20,2)
<i>Tropaeolum tricolor</i>	-5,1 (2,0)	-26,5 (15,0)	0,0 (0)
<i>Vachelia caven</i>	1,8 (7,8)	10,1 (14,9)	26,9 (23,0)

Tabla 32 Paleta vegetal jardín talud

Las especies seleccionadas de ambas paletas vegetales presentaron durante el primer año de la plantación altas tasas de crecimiento, especialmente durante la estación de primavera y verano. Por el contrario, durante invierno el crecimiento fue muy bajo, incluso negativo para varias especies.

Los resultados muestran que independientemente del volumen del riego aplicado, varias especies desaceleran su crecimiento durante el verano y otras simplemente decrecen en un proceso denominado auto raleo.

Especial mención requieren las hierbas **geófitas** *Alstroemeria ligtu*, *Pasithea caerulea* y *Tropaeolum tricolor*. Las plantaciones se realizaron a finales de otoño del 2024 y las geófitas muestran tasas de crecimiento positivo solo durante el invierno. Esto se debe a que estas hierbas entran en receso durante el verano, perdiendo su sistema vegetativo superficial quedando el bulbo bajo la superficie del suelo.

Las especies *Andeimalva chilensis*, *Encelia canescens*, *Sphaeralcea obtusiloba* y *Nasella laevissima* mostraron indicadores de estrés oxidativo sobre el normal durante el verano, especialmente en plantas sometidas a bajos volúmenes de riego y todas ellas registraron altas tasas de crecimiento.

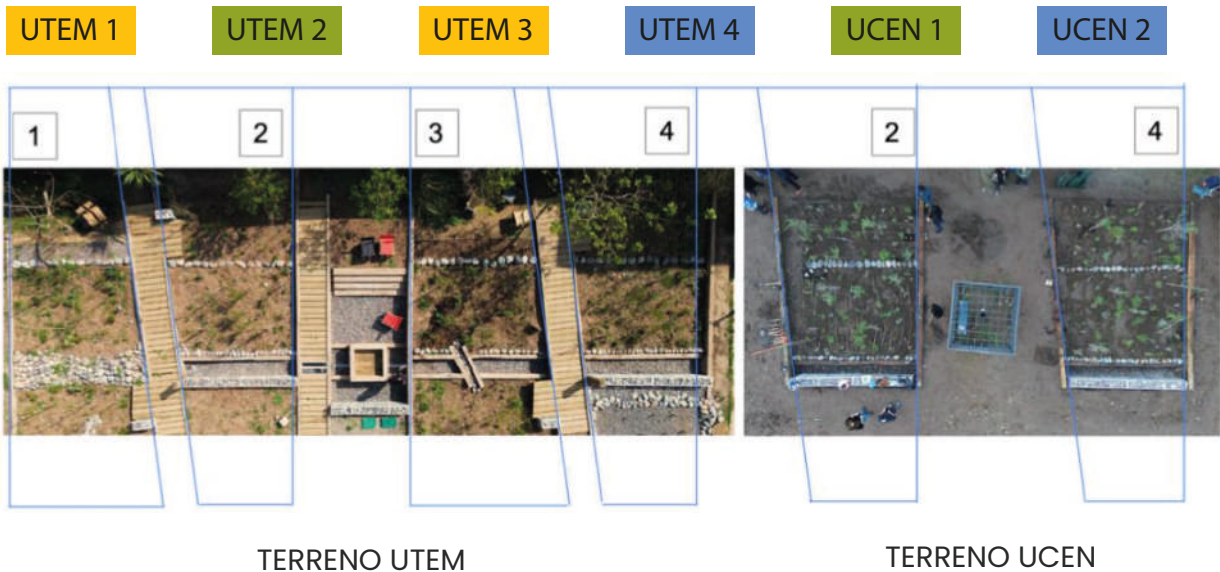
Sin embargo, las especies *Cistanthe laxiflora*, *Eryngium paniculatum* y *Sisyrinchium graminifolium* que presentaron tasas de crecimiento negativo durante el verano, sus indicadores de estrés mostraron valores asociados con tolerancia salina/hídrica durante un día de verano.



VIII. Salud de suelo; características biofísicas del suelo

Los análisis fueron realizados sobre muestras tomadas en cuatro momentos diferentes para cada uno de los 6 refugios ensayados: muestreo o punto 0 fue realizado sobre el sustrato preparado como base antes de la plantación de las especies vegetales de los refugios. El muestreo 1 se realizó a mediados de agosto, cuando las especies vegetales estaban recién plantadas, (mes inicial del crecimiento vegetal). El muestreo 2 del mes de noviembre se realizó con tres meses de crecimiento de las plantas y el muestreo 3 a finales de febrero (durante el verano), a los seis meses de crecimiento de las especies vegetales. Todos los muestreos fueron realizados en los refugios, en puntos entre plantas, para evitar destrucción física de estas.

- | | | | |
|---|--|--|--|
| 1) Abastecido con aguas lluvias provenientes de una cubierta cercana y con riego complementario mediante agua potable. | 2) Abastecido con agua potable mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo. | 3) Abastecido con agua gris regenerada mediante un sistema de riego automatizado por goteo subterráneo. | 4) Abastecido con agua potable mediante riego manual de emergencia, de uso restringido. |
|---|--|--|--|



Los primeros resultados respecto del análisis de la actividad microbiológica total (diacetato de fluoresceína DAF) –que incluye no solo bacterias, sino hongos unicelulares, protozoos y archeas– muestran una baja actividad presente en la primera toma de muestra 0, que corresponde a la mezcla usada como sustrato inicial. Luego de los seis meses de crecimiento de las plantas, los resultados muestran un aumento importante de la actividad microbiológica, lo que coincide justamente con la aparición de las raíces en las zonas antes despobladas de los refugios.

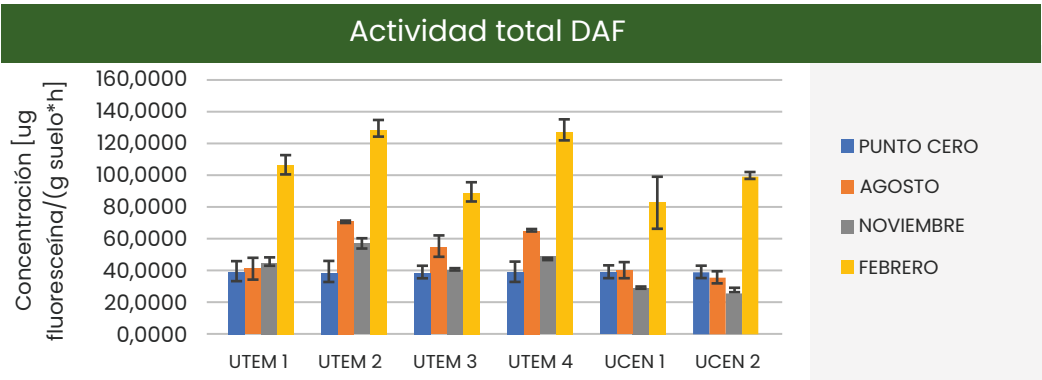


Figura 19 Incremento temporal de la presencia microbiológica

Los resultados además muestran que hay ciertas bacterias como las que descomponen urea (actividad ureasa) que aumentan antes de la llegada de las raíces y lo observado es que preparan las condiciones para que pueda desarrollarse la rizosfera. En el gráfico de actividad ureasa, se observa el aumento de esta actividad microbiológica específica antes de la aparición de raíces y antes del aumento de la actividad microbiológica total (3 meses, en Agosto).

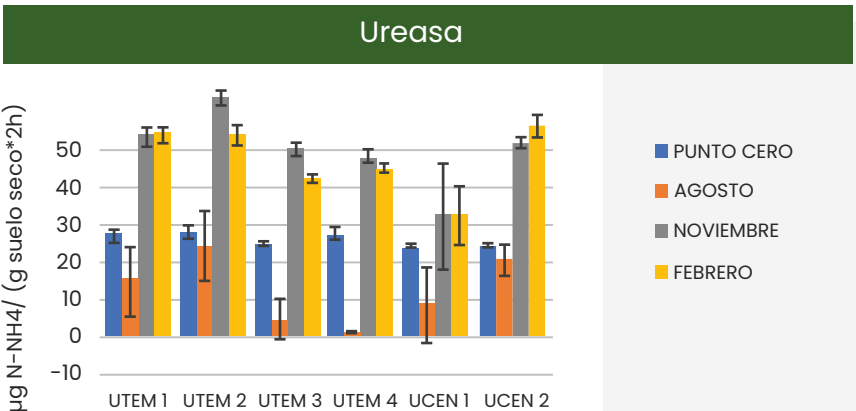


Figura 20 Incremento de Actividad microbiológica específica

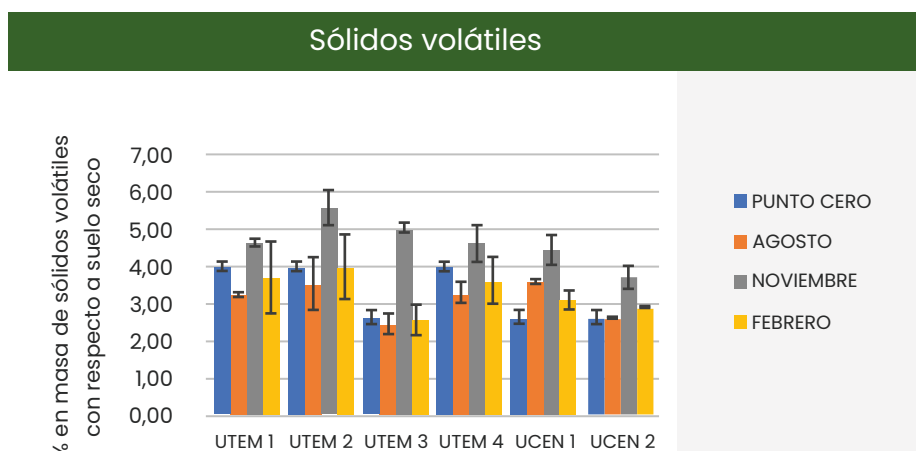


Figura 21 Contenido de Mteria Orgánica determinada por Sólidos Volátiles.

Finalmente, se analizó la humedad del suelo al momento de la obtención de las muestras y su capacidad para retener agua. Los resultados indican que la capacidad de retención del suelo se va modificando en los diferentes suelos hasta estabilizarse logrando un valor de 50% de CRA; es decir, los suelos se estabilizan cuando logran la capacidad de retener el 50 % de su masa seca en agua, cada kilogramo de suelo seco puede retener hasta 0,5 kg de agua hasta que se satura.

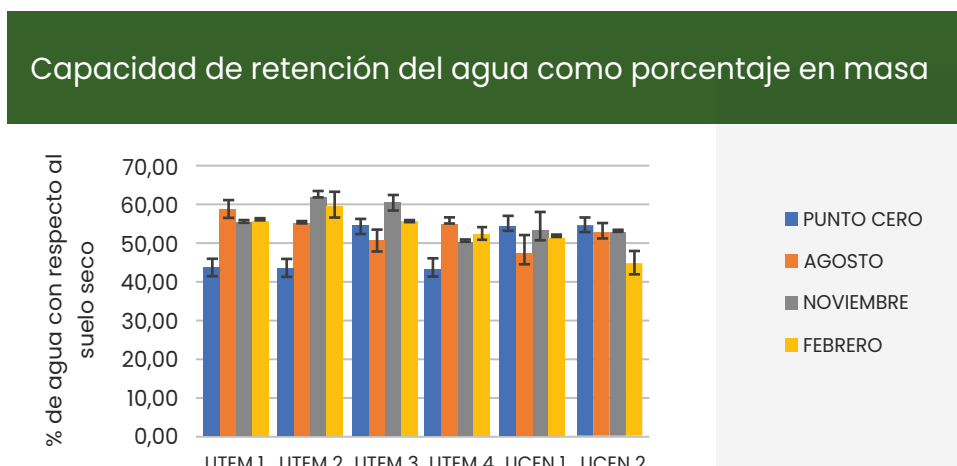


Figura 20 Capacidad de retención de agua del suelo.

IX. Salud de suelo; características bioquímicas del suelo

Un indicador importante de la salud del suelo es el nivel de acidez que este posee. Esta acidez se puede determinar por el valor de pH del suelo que en valores bajo 7,0 indican acidez y en valores sobre 7,0 indican alcalinidad. Para suelos existen rangos que definen el carácter del suelo según su pH.

CLASIFICACIÓN	pH
Fuertemente Ácido	< 5,0
Moderadamente Ácido	5,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Medianamente Alcalino	7,4 - 8,5
Fuertemente Alcalino	≥ 8,5

Tabla 33 Acidez del suelo según valor pH

Los suelos analizados en el punto 0 mostraron un carácter moderadamente ácido, Tal como se muestra en el gráfico, el pH fue aumentando de forma constante en los refugios hasta llegar a un pH medianamente alcalino, que permite un crecimiento vegetal adecuado. El aumento de pH se detuvo y estabilizó en el muestreo de noviembre, indicando condiciones adecuadas para el crecimiento y establecimiento de la vegetación.

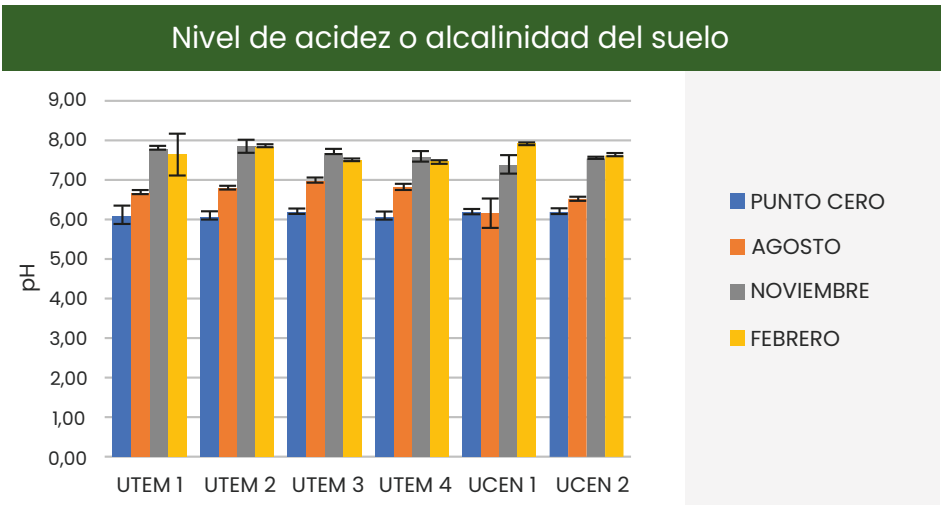


Figura 23 Evolución del nivel de acidez del suelo a través del aumento del pH

Respecto de los macronutrientes NPK. El potasio presentó valores diferentes en ambos sustratos utilizados del suelo, pero en ambos casos en concentraciones adecuadas y a pesar de que se identifican ciertas variaciones durante el proceso, las concentraciones de las muestras iniciales y las finales se mantuvieron similares.

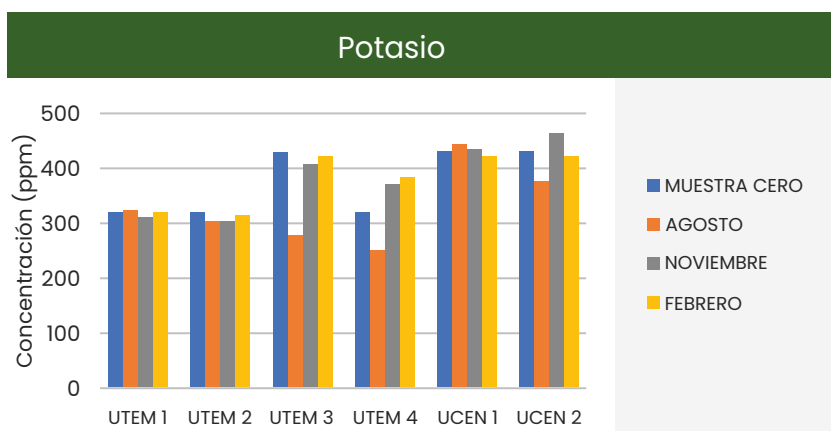


Figura 23 Evolución en la presencia de macronutrientes.

La concentración de nitrógeno inicial comenzó en 35 ppm. Luego podemos identificar que los suelos se ajustaron, probablemente por el aumento de microorganismos específicos como ureasa, logrando valores adecuados de nitrógeno. En este resultado, el único suelo que presentó niveles menores de nitrógeno fue el refugio regado con aguas grises.

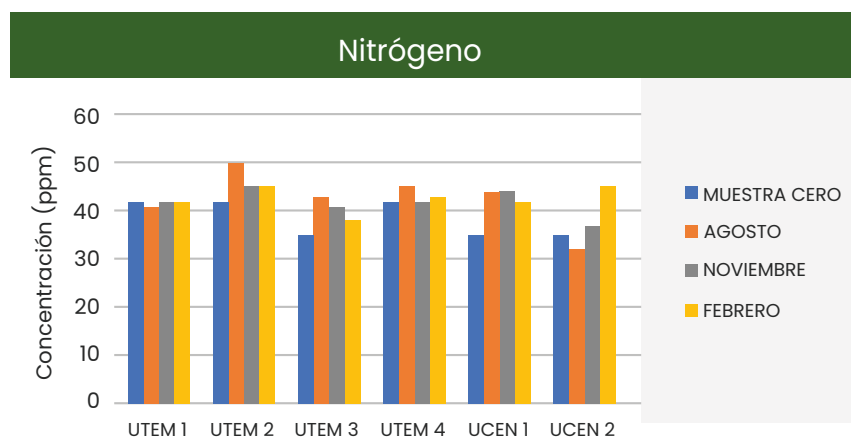


Figura 25 Evolución en el incremento de Nitrógeno en el suelo.

Respecto del fósforo disponible, muestra niveles altos de 85 ppm en algunos refugios, mayores que lo adecuado para suelos sanos. Esto puede deberse a la recuperación de tierra de ambos terrenos, utilizada para la conformación del sustrato inicial.

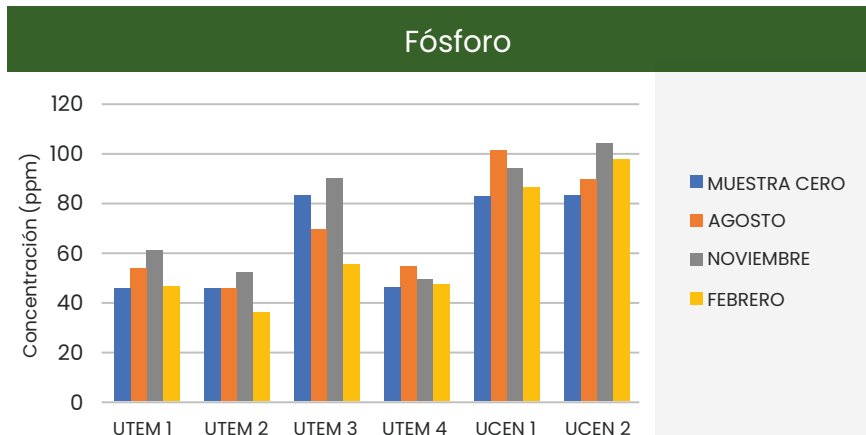


Figura 26
Incremento del
Fósforo.

Otra de las actividades analizadas fue la fosfatasa alcalina, que justamente opera aumentando las concentraciones de fósforo disponible. Tal como se observa en el gráfico, el aumento de esta actividad ocurre solo en febrero junto con la aparición de las raíces.

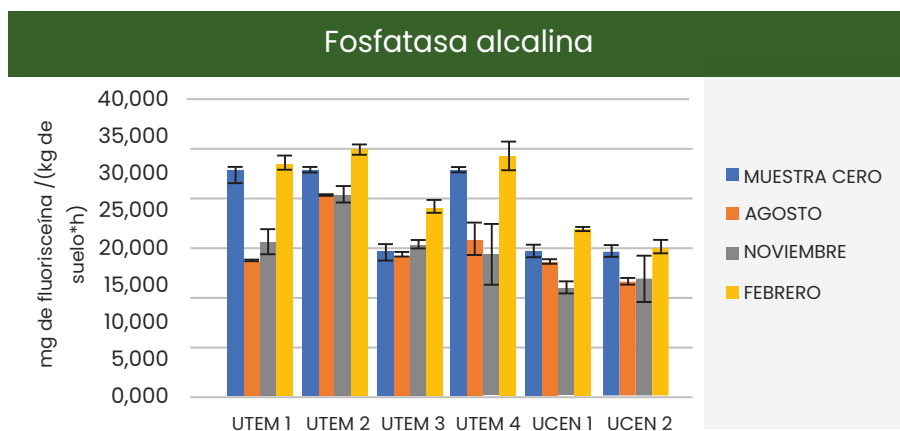


Figura 27 Evolución
de la fosfatasa
alcalina.

07

Capítulo 7

**Consideraciones generales
para la gobernanza, puesta
en marcha y seguimiento de
SBN en espacios públicos
barriales**

Capítulo 7

Consideraciones generales para la gobernanza, puesta en marcha y seguimiento de SBN en espacios públicos barriales



La implementación exitosa proyectos de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) en espacios públicos barriales, requiere de una estructura de gobernanza, que evalúe el conjunto de procesos, instituciones y mecanismos a través de los cuales se toman y ejecutan decisiones relacionadas con la ideación, diseño, implementación y mantención de los Refugios Biourbanos. La efectividad de la implementación, su replicabilidad y evaluación, demanda de la interacción entre el Estado (en sus diferentes niveles), la sociedad civil, el sector privado y la academia, con el fin de equilibrar intereses, asignar responsabilidades y asegurar la sostenibilidad de las intervenciones.

Buscando levantar consideraciones generales que orienten un futuro modelo de gobernanza, se realizaron actividades de participación con representantes estratégicos, orientado a la construcción de un mapa de actores involucrados en cada etapa del desarrollo de proyectos SBN, reconociendo los objetivos y problemáticas a superar en cada etapa.

a) Proceso metodológico para la construcción del mapa de actores

La construcción del mapa de actores en torno a proyectos de SBN en espacios públicos barriales respondió a la necesidad de comprender los múltiples niveles de incidencia, responsabilidad y articulación institucional en las distintas fases de desarrollo de estos proyectos.

Como punto de partida se distinguieron las cuatro fases operativas más representativas del ciclo de vida de proyectos de SBN:



Etapa de incubación: corresponde al momento en que se concibe la idea del proyecto, se reconocen necesidades y oportunidades territoriales, y se identifican fuentes de financiamiento y actores relevantes.



Etapa de diseño y gestión: contempla el desarrollo técnico del proyecto, selección de soluciones, elaboración de planos, definición presupuestaria y gestión de permisos.



Etapa de construcción: involucra la ejecución de las obras físicas y el control de calidad de su implementación.



Etapa de mantenimiento: incluye todas las actividades de seguimiento, evaluación de resultados y conservación operativa de las soluciones implementadas.

Esta división permitió organizar el análisis en función de los requerimientos técnicos, institucionales y sociales específicos de cada etapa.

Para el caso de la macrozona central de Chile, se identifican los principales actores involucrados en cada fase. La incidencia de los actores identificados fue ponderada sobre la base de la experiencia en el desarrollo de proyectos de espacio público de los socios colaboradores del proyecto. Así, por ejemplo, a nivel local y comunal, se destacó la presencia de unidades municipales tales como Secplan, Aseo y Ornato / Jardines y el Departamentos de pavimentación. A nivel nacional y regional, el Minvu, Serviu, MOP, Seremi de Salud, y programas como Quiero Mi Barrio emergen como referentes claves. También se identificaron como relevantes: la comunidad o vecinos a escala barrial, la academia, ONG, empresas consultoras, y especialistas externos, indicando la necesidad de un enfoque multifactorial y transdisciplinario.

REGIONAL

INCUBACIÓN

- Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)
- Gobierno Regional (GORE)
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE)
- Consejo de Monumentos Nacionales (CMN)
- Secretaría de Planificación municipal
- Programa Quiero Mi Barrio
- Academia
- Vecinos y organizaciones vecinales
- Empresas Privadas y Consultoras
- Agrupaciones Civiles
- ONG

- MINVU
- MOP
- GORE
- Secretaría de Planificación municipal
- Empresas Privadas y Consultoras
- Vecinos y organizaciones vecinales
- Agrupaciones Civiles
- Academia

- MINVU
- MOP
- GORE
- Academia

- MINVU
- MOP
- ACADEMIA
- GORE

DISEÑO Y GESTIÓN

- MINVU
- MMA
- SERVIU
- Seremis de Salud
- GORE
- Secretaría De Planificación Municipal
- Subdirecciones municipales asociadas a Aseo y Ornato, Jardines, Pavimentación, Vivienda, Medio ambiente, Movilidad Urbana
- Empresas Privadas y Consultoras
- Especialistas externos
- Vecinos y organizaciones vecinales.
- Programa Quiero Mi Barrio
- ChileCompra

- MINVU
- MMA
- SERVIU
- Secretaria De Planificación Municipal
- Subdirecciones municipales asociadas a Aseo y Ornato, Jardines, Pavimentación.
- Departamento de Acción Sanitaria SEREMI Salud
- Consejo Municipal
- Especialistas Externos

- MINVU
- GORE

- SERVIU
- SUBDERE
- GORES
- Dirección de presupuestos
- Academia y sus fuentes de financiamiento

CONSTRUCCIÓN

- Secretaría De Planificación Municipal
- Subdirecciones municipales asociadas a Aseo y Ornato, Jardines, Pavimentación, Vivienda, Medio ambiente, Movilidad Urbana
- Especialistas Externos
- CMN - Empresas Privadas y - Consultoras
- ChileCompra

- SERVIU: Pavimentos Participativos
- Secretaría De Planificación Municipal
- Subdirecciones municipales asociadas a Aseo y Ornato, Jardines, Pavimentación
- CMN
- Especialistas Externos

- ChileCompra

- MINVU
- MOP - Academia
- CORFO Y ANID
- ChileCompra
- Dirección de presupuestos

MANTENCIÓN

- Seremi de Salud - Municipios
- Subdirecciones municipales asociadas a Aseo y Ornato, Jardines, Pavimentación
- Dirección municipal de Infraestructura Pública
- Vecinos y organizaciones vecinales.
- Academia
- Sistema de Compras Públicas
- Empresas Privadas y Consultoras

- Subdirecciones municipales asociadas a Aseo y Ornato, Jardines, Pavimentación,
- Dirección municipal de Infraestructura Pública
- Consejo Municipal

- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE
- MINVU

- Ministerio del Medio Ambiente
- Minvu

Tabla de actores por etapa y nivel

La construcción del mapa no solo se limitó a identificar quiénes participan, sino también cuáles son los objetivos que guían su accionar. Algunos de los objetivos más recurrentes y concordantes fueron:



En incubación: centralizar la definición de áreas de intervención, estandarizar soluciones, mejorar el diálogo interinstitucional, recuperar aguas lluvias y grises, e incrementar la biodiversidad local.

Esta etapa se caracteriza por una alta concentración de objetivos exploratorios y estratégicos, enfocados en la conceptualización y justificación del proyecto. La diversidad de actores es notable, lo que subraya la importancia de una visión multidisciplinaria y participativa desde el inicio. El Equipo de proyecto (núcleo) y la Comunidad son actores centrales en esta fase de definición.



En Diseño: personalizar soluciones al contexto barrial, aumentar la infraestructura verde, acelerar la evacuación de aguas lluvias, y mejorar procesos de tramitación.

Esta es la etapa involucra un gran número de actores a distintos niveles y por ende concentra la mayor cantidad de objetivos, reflejando la complejidad de transformar una idea en un plan concreto y ejecutable. Lo anterior demanda de una mayor experiencia técnica, además de la gestión de permisos y la coordinación interinstitucional.



En construcción: priorizar el trabajo manual y la instalación de materiales prefabricados, certificar empresas especializadas, y simplificar procesos burocráticos. En esta etapa, el enfoque se desplaza hacia la ejecución física. La cantidad de objetivos y actores se reduce ligeramente en comparación con la etapa de Diseño y Gestión, pero se vuelven altamente especializados y operativos.



En mantención: mejorar la educación ambiental, garantizar la efectividad de las intervenciones y reducir los costos operativos en el tiempo. Esta etapa se centra en la sostenibilidad y el uso a largo plazo del espacio y es la fase con la menor cantidad de objetivos y actores. Existe menos desarrollo en esta dimensión, siendo la fase con menor grado de avance y exploración de procesos y soluciones.

A partir de relación de objetivos que movilizan a los distintos actores, con el ciclo de vida de un proyecto tipo, es posible distinguir los distintos intereses en discusión en cada etapa y necesarios de considerar como base para la discusión técnica y el mejoramiento de procesos. A modo de síntesis se presenta la propuesta de distribución de objetivos según etapa y nivel, desarrollada en el taller de participación.



INCUBACIÓN

Centralizar la definición de áreas de intervención. Mejorar el diálogo interinstitucional. Mejorar el diálogo intersectorial. Establecer lenguaje común asociado con Diseño Sensible. Priorizar materiales con baja huella de carbono. Recuperar aguas grises. Priorizar el uso de SBN en la depuración del agua. Recuperar aguas lluvias. Aumentar el personal especializado. Incorporar sistemas tecnológicos complejos para depurar aguas.

Implementar proyectos de largo plazo con alta precisión y calidad. Priorizar el uso de SBN en la depuración del agua. Definir estándares de calidad equitativos. Reducir focos de contaminación de aguas superficiales. Incrementar la biodiversidad local.

Estandarizar soluciones. Mejorar el diálogo interinstitucional. Mejorar el diálogo intersectorial. Incrementar la biodiversidad local. Reducir las temperaturas en el espacio público. Recuperar aguas grises. Mejorar los procesos de tramitación de permisos.

Recuperar aguas lluvias. Cambiar imaginarios sobre áreas verdes para zona central. Mejorar la educación ambiental. Mejorar la calidad del agua excedente. Incrementar cantidad y variedad de proveedores. Implementar proyectos de largo plazo con alta precisión y calidad.



DISEÑO Y GESTIÓN

Participar en la definición de los lugares a intervenir. Mejorar el diálogo interinstitucional. Acelerar la rápida evacuación del agua lluvia. Incorporar sistemas tecnológicos complejos para depurar aguas. Incrementar la Infraestructura Verde en el barrio. Priorizar materiales con baja huella de carbono. Aumentar superficies de sombras.

Implementar proyectos de largo plazo con alta precisión y calidad. Priorizar el uso de SBN en la depuración del agua. Mejorar los procesos de tramitación de permisos. Definir estándares de calidad equitativos. Mejorar la educación ambiental. Estandarizar soluciones. Ampliar la evacuación de aguas lluvias.

Personalizar soluciones adaptadas a la realidad local. Incrementar la biodiversidad local. Recuperar aguas grises. Aumentar superficies de sombras. Reducir costos de construcción. Mejorar la calidad del agua excedente. Priorizar materiales con baja huella de carbono. Priorizar materiales prefabricados de rápida instalación.

Cambiar imaginarios sobre áreas verdes para zona central. Recuperar aguas lluvias. Mejorar la asignación de recursos valorando la complejidad de las intervenciones. Reducir costos de construcción. Ampliar la evacuación de aguas lluvias. Aumentar el personal especializado. Alargar la vida de las intervenciones.



CONSTRUCCIÓN

Mejorar el diálogo interinstitucional. Implementar proyectos de rápida ejecución. Simplificar los procesos burocráticos. Priorizar el trabajo manual.

Estandarizar soluciones. Mejorar la educación ambiental. Priorizar materiales prefabricados de rápida instalación.

Mejorar la calidad del agua excedente. Certificar a empresas idóneas para construcción especializada. Priorizar materiales prefabricados de rápida instalación. Aumentar la supervisión de proyectos.



MANTENCIÓN

Ahorrar recursos en el tiempo. Garantizar la efectividad de las intervenciones. Mejorar la educación ambiental. Mejorar la calidad del agua excedente. Ahorrar en personal de mantención.

Mejorar la educación ambiental. Mejorar la calidad del agua excedente.

Incrementar cantidad y variedad de proveedores.

Aumentar el personal especializado.

Tabla de objetivos por etapa y nivel

Finalmente, se contrastaron los objetivos con un levantamiento de las principales problemáticas que afectan el desarrollo de un proyecto SBN. En términos generales, la discusión entre los socios colaboradores releva como problemáticas transversales el exceso de burocracia y fragmentación institucional que se demanda la gestión de trámites, permisos y la necesidad de coordinar con múltiples entidades estatales, cada una con sus propios tiempos, requisitos y objetivos. Así mismo se menciona la existencia de una escasa cultura de colaboración intersectorial e interescolar, predominando la lógica sectorial y vertical, lo que dificulta la articulación efectiva entre ministerios, municipios y la comunidad.

Por otra parte, una debilidad actual es la falta de presupuesto específico y líneas de financiamiento dedicadas exclusivamente a infraestructura verde urbana y, lo que es más crítico, a su mantención a largo plazo. Los proyectos suelen centrarse en la ejecución, olvidando los costos operativos o en otros casos quedan sujetos a los ciclos electorales, con riesgo de ser abandonados o modificados por las nuevas administraciones.

Existen debilidades en el conocimiento técnico, capacidades que dan cuenta de una baja presencia de profesionales especializados en diseño y gestión de infraestructura verde en los equipos municipales, o de programas de capacitación para la comunidad. A esto se suma una marcada resistencia al cambio y percepción de riesgo, por parte de algunos funcionarios públicos o vecinos que prefieren mantener los procesos tradicionales de diseño. Por último, se reconoce que existen dificultades para medir el impacto real de los proyectos SBN, lo que impide justificar nuevas inversiones o replicar modelos exitosos.

b) Limitaciones y oportunidades de diseño y gobernanza

La implementación de SBN en el desarrollo de proyectos de espacio público representa una estrategia crucial para abordar los desafíos ambientales y urbanos contemporáneos. Sin embargo, la efectividad y escalabilidad de estas iniciativas están intrínsecamente ligadas con su gobernanza.



A continuación, se analizan las problemáticas que emergen en el ciclo de vida de una intervención con SBN en el espacio público.

I. Barreras que limitan el desarrollo óptimo de proyectos de SBN en la ciudad

El presente análisis se enfoca en desglosar y comprender las principales barreras que limitan el desarrollo óptimo de proyectos de SBN, trascendiendo la mera identificación de obstáculos para ofrecer un panorama comprensivo de las fricciones existentes. Dicha aproximación es fundamental para el diseño de un modelo de gobernanza que no solo reconozca estas dificultades, sino que también proponga mecanismos para su mitigación y superación. En este contexto, se detallan las problemáticas y limitaciones identificadas que un modelo de gobernanza para proyectos SBN debiera enfrentar.

1- Problemas de cantidad y calidad de aguas disponibles

- Disponibilidad hídrica para riego tecnificado.
- Contingencias para la gestión del riesgo de inundación.
- Calidad de las aguas.
- Fallos en el soporte técnico para sistemas de regeneración de agua gris.

2- Dificultades presupuestarias para diseñar, construir y mantener proyectos WSUD

- Falta de recursos.
- Altos costos de construcción.
- Errores de cálculo de costos asociados.
- Falta de proveedores.
- Altos costos de mantención.

3- Dificultades técnicas en terreno en proceso de construcción y mantención

- Garantías de correcto funcionamiento.
- Falta de información sobre preexistencias en el terreno.
- Complejidad en mantención.

4- Excesiva extensión de plazos y complejidad de gestión para la implementación de proyectos y riesgo de paralización de proyectos iniciados.

- Tiempos de proceso de diseño extensos.
- Procedimientos para la asignación de contratos públicos.
- Complejidad en procesos de licitación.
- Exceso de burocracia en obtención de permisos.
- Tiempos de desarrollo extensos.
- Tiempos políticos.

5. Poca disponibilidad de productos prefabricados para la innovación en WSUD

- Limitaciones en el catálogo de materiales para espacio público.
- Falta de equipamiento prefabricado multifuncional.
- Falta de dispositivos de SUDS en el mercado.

6- Falta de capital humano especializado

Falta de recursos humanos del aparato público especializados.

- Falta de consultoras especializadas.
- Falta de profesionales especializados

7- Falta de procedimientos y personal para realizar monitoreos de efectividad en el tiempo

- Falta de claridad de cómo medir efectividad.
- Falta de datos sobre efectividad.

8- Falta de liderazgos y coordinación para definir acuerdos y procedimientos comunes en todo espacio público

- Falta de diálogo entre actores.
- Necesidades diversas de actores no dialogantes.
- Falta de claridad en los procesos.
- Apropiación indebida del espacio público.
- Dificultad para definir propiedad y generar acuerdos sobre el uso del agua lluvia.
- Dificultad para definir propiedad y generar acuerdos sobre el uso del agua gris recuperada.
- Desigualdad de criterios y estándares de calidad para mobiliario y equipamiento de espacio público.

9- Problemas para la valoración del beneficio asociado con una intervención, frente a los impactos negativos asociados

Percepción negativa de los beneficiarios directos de las propuestas.

- Vandalismo e incivildades.

10- Incertidumbre climática por eventos extremos y problemas emergentes

- Incertidumbre climática por lluvias.
- Incertidumbre climática por calor extremo.
- Contaminantes en materias primas.
- Contingencias para la gestión del riesgo por calor extremo.

II. Oportunidades en la concordancia de objetivos y actores

Pese a las limitaciones, a partir del análisis del mapa de actores se detectan oportunidades en la concordancia de objetivos entre actores involucrados en la toma de decisiones. En otras palabras, la articulación en torno a objetivos comunes define una serie de lineamientos que debieran orientar la gobernanza para el desarrollo de proyectos SBN, representando áreas de consenso entre los distintos intereses.

1- Mejorar el conocimiento y la vinculación comunitaria con el entorno

Este lineamiento subraya la importancia de fomentar una conexión profunda entre los habitantes y su espacio circundante, trascendiendo la mera observación. Implica cultivar una participación activa de la ciudadanía en la concepción de los proyectos, promoviendo un entendimiento compartido de los principios estéticos y funcionales que guían las intervenciones urbanas. Su propósito es enriquecer la conciencia ambiental y transformar las percepciones arraigadas sobre la infraestructura verde, asegurando que las soluciones implementadas respondan genuinamente a las particularidades y necesidades de cada localidad.



Objetivos específicos contenidos:

Participar en la definición de los lugares a intervenir; establecer lenguaje común asociado con Diseño Sensible; mejorar la educación ambiental; cambiar imaginarios sobre áreas verdes para zona central; certificar a empresas idóneas para construcción especializada; personalizar soluciones adaptadas a la realidad local.

2. Implementar una gestión integrada de cuenca

Enfatiza la urgencia de adoptar un enfoque unificado y coordinado para la administración de los recursos hídricos en un territorio. Propone establecer un punto central para la toma de decisiones sobre las áreas de intervención, garantizando coherencia y optimización a gran escala. Su visión es ejecutar proyectos de largo aliento con una precisión y calidad sobresalientes, armonizando las prácticas y elevando los estándares equitativos. Fundamentalmente, busca fortalecer la comunicación y la colaboración entre las diversas instituciones y sectores involucrados en la gobernanza del agua.



Objetivos específicos contenidos:

Centralizar la definición de áreas de intervención; implementar proyectos de largo plazo con alta precisión y calidad; estandarizar soluciones; definir estándares de calidad equitativos; mejorar el diálogo interinstitucional; mejorar el diálogo intersectorial.

3. Optimizar el uso de los recursos públicos

Este lineamiento se enfoca en la búsqueda de la máxima eficiencia en la inversión de fondos estatales para el desarrollo de infraestructuras públicas. Su propósito es generar economías significativas a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, desde su implementación inicial hasta su mantenimiento a largo plazo, reduciendo los desembolsos asociados con la construcción y la operación. Aspira a una distribución más estratégica de los fondos, reconociendo y valorando la complejidad inherente a cada intervención para asegurar un retorno óptimo de la inversión pública.



Objetivos específicos contenidos:

Ahorrar recursos en la implementación; ahorrar recursos en el tiempo; ahorrar en personal de mantención; reducir costos de construcción; reducir costos de mantención; mejorar la asignación de recursos valorando la complejidad de las intervenciones.

4. Agilizar los tiempos de respuesta

Aborda la imperativa de acelerar los procesos en el desarrollo de proyectos, desde la concepción hasta la materialización. Persigue la implementación de iniciativas que puedan ejecutarse con celeridad, sin sacrificar la calidad. Un eje central es la simplificación de los trámites administrativos y la desburocratización de los procedimientos, eliminando obstáculos que históricamente han dilatado los plazos y obstaculizado una entrega eficiente de los beneficios a la ciudadanía.



Objetivos específicos contenidos:

Implementar proyectos de rápida ejecución; mejorar los procesos de tramitación de permisos; simplificar los procesos burocráticos.

5. Diversificar los servicios ecosistémicos de las SBN

Este lineamiento se dedica a potenciar las múltiples funciones que las Soluciones Basadas en la Naturaleza pueden ofrecer al entorno urbano. Su meta es asegurar que las intervenciones no solo sean efectivas, sino que también contribuyan a enriquecer la biodiversidad local y a mitigar los efectos del cambio climático en las ciudades. Busca activamente generar microclimas más confortables, reduciendo las altas temperaturas y ampliando las zonas de sombra, mejorando así la calidad de vida y el bienestar en el espacio público.



Objetivos específicos contenidos:

Garantizar la efectividad de las intervenciones; incrementar la biodiversidad local; reducir las temperaturas en el espacio público; aumentar superficies de sombras.

6. Mejorar la seguridad hídrica urbana

Se centra en robustecer la capacidad de la ciudad para gestionar y aprovechar sus recursos hídricos de manera sostenible. Prioriza la aplicación de infraestructuras verdes para el tratamiento del agua y promueve activamente la recuperación de diversas fuentes, como aguas grises y pluviales, para su reutilización. Además, busca optimizar la infraestructura de drenaje para prevenir inundaciones y controlar la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, integrando tecnologías avanzadas para una depuración eficiente y una gestión del ciclo del agua más resiliente.



Objetivos específicos contenidos:

Priorizar el uso de SBN en la depuración del agua; recuperar aguas grises; recuperar aguas lluvias; ampliar la evacuación de aguas lluvias; reducir focos de contaminación de aguas superficiales; acelerar la rápida evacuación del agua lluvia; incorporar sistemas tecnológicos complejos para depurar aguas.

7. Innovar en diseño y procesos en la construcción del espacio público

Este lineamiento impulsa la adopción de metodologías y materiales avanzados en la creación de espacios urbanos. Prioriza el uso de componentes con un bajo impacto ambiental y la integración de elementos prefabricados que agilicen los tiempos de ensamblaje en obra. Asimismo, valora la destreza artesanal que implica soluciones sencillas y de bajo costo a la vez que se orienta a establecer criterios de calidad uniformes, fomentando una evolución en las prácticas constructivas hacia soluciones más sostenibles, eficientes y vanguardistas.



Objetivos específicos contenidos:

Priorizar materiales con baja huella de carbono; priorizar materiales prefabricados de rápida instalación; priorizar el trabajo manual; definir estándares de calidad equitativos; priorizar materiales prefabricados de rápida instalación.

c) Desafíos futuros

La creciente integración de SBN en la configuración de espacios públicos barriales representa una estrategia innovadora y esencial para la resiliencia urbana. No obstante, su implementación efectiva y su escalabilidad a largo plazo se encuentran con una serie de desafíos intrínsecos que demandan un abordaje holístico, progresivo y eminentemente colaborativo. Estos obstáculos, que abarcan desde aspectos institucionales y técnicos hasta culturales y financieros, exigen una reevaluación profunda de los modelos de gobernanza actuales para asegurar que las SBN trasciendan su conceptualización y se consoliden como componentes permanentes del desarrollo urbano. La superación de estas barreras es crucial para liberar el potencial transformador de las SBN y materializar sus múltiples beneficios ecosistémicos y sociales en el entorno construido. Con base en el análisis de problemáticas y objetivos inmersos en las distintas etapas de desarrollo de un proyecto SBN, se visualizan las siguientes dimensiones por fortalecer:

1- Construcción de un marco de gobernanza adaptativo

Es imprescindible generar un marco de gobernanza que facilite la coordinación entre niveles territoriales y entre sectores, integrando mecanismos de resolución de conflictos, participación ciudadana vinculante y liderazgo técnico-político. Esto último debiera considerar las rutas críticas ya identificadas (gestión hídrica, recursos humanos, procesos administrativos, etc.).

2. Estandarización y monitoreo

Se requiere avanzar en la definición de indicadores de efectividad, temporalidad de levantamiento de datos, y metodologías de evaluación adaptadas a la realidad local. Esto permitiría validar empíricamente los beneficios de las SBN, superando su actual conceptualización predominantemente cualitativa.

3. Gestión del conocimiento y formación de capacidades

El fortalecimiento de capacidades técnicas dentro del aparato público y de la oferta de servicios especializados es clave para sostener las estrategias en el tiempo. La academia y los centros de investigación tienen un rol clave en sistematizar aprendizajes y generar evidencia aplicada.

4. Cultura de mantenimiento y apropiación social

Superar la visión de proyecto terminado requiere instalar una cultura de mantención colaborativa que incluya capacitación comunitaria, planes de gestión compartidos y estrategias de financiamiento sostenido. Asimismo, la apropiación de las soluciones por parte de los vecinos es relevante para su resguardo, impacto y permanencia.

08

Capítulo 8

**Criterios metodológicos
jerarquización de
localización de Refugios
Biourbanos. El caso de la
comuna de Santiago**

Capítulo 8

Criterios metodológicos jerarquización de localización de Refugios Biourbanos. El caso de la comuna de Santiago



Con el fin de avanzar en las decisiones para el escalamiento y jerarquización de áreas urbanas de intervención para definir estrategias de implementación de Refugios Biourbanos, se formula una propuesta de localización de refugios climáticos, basada en el análisis multidimensional urbano, con información georreferenciada, vinculada aspectos geográficos, térmicos, sociales y de accesibilidad. Se consideran distintas variables. Se utiliza de referencia la comuna de Santiago para identificar lugares donde la implementación de Refugios Biourbanos, podría aportar la mayor cantidad de co-beneficios asociados, considerando como aspecto crítico, el análisis detallado del calor urbano en temporadas de olas de calor de verano.

En primer lugar, se identifican los servicios de salud de acceso público que se encuentran operativos durante todo el año. En segundo lugar, se consideran las áreas verdes. Estos serían los lugares que aportan aspectos positivos para el resguardo frente al calor. Una vez identificados estos puntos se integran para el análisis de tiempo de accesibilidad considerando distancias estimadas de recorrido caminando. En tercer lugar, se incorporan el registro de temperatura superficial según información satelital, lo cual permite identificar zonas con condiciones térmicas más favorables y zonas críticas más desfavorables frente al calor extremo. Finalmente, se consideran variables sociodemográficas, extraídas de instrumentos de medición censal, que permiten caracterizar a la población más vulnerable frente a eventos de calor extremo.



Figura 28: Mapas de análisis para considerar en la localización jerárquica de Refugios Climáticos.

Estos aspectos pueden considerarse como los requerimientos mínimos para la localización de Refugios Biourbanos, existiendo otros factores complementarios que pueden ser incorporados. Entre ellos, se incluyen distintas metodologías para la medición de accesibilidad al equipamiento, considerando variables como los tiempos de caminata diferenciados por grupo etario o condiciones físicas específicas. Asimismo, el catastro de equipamientos puede integrar un mayor nivel de detalle, incorporando información sobre el acondicionamiento térmico de las edificaciones, la condición del mobiliario urbano, la disponibilidad de baños y fuentes de agua, así como la capacidad de albergar público.

Por otra parte, la medición de temperatura puede complementarse con variables climáticas adicionales, tales como la humedad relativa, el viento, la temperatura ambiental y otras condiciones meteorológicas. Además, la temperatura superficial puede ser estimada mediante imágenes satelitales o a través de instrumentos de mayor precisión y resolución cartográfica, según la escala del análisis requerido. La superposición de estos aspectos de análisis espacial, combinados aspectos demográficos térmicos y socioeconómicos, permitirían la jerarquización de aquellos lugares donde intervenir.

En función de los resultados de los análisis, los criterios de intervención podrían ir en dos direcciones: apuntar a ampliar y fortalecer las zonas más frescas de escala local, con el fin de mejorar la cobertura de las áreas que ya entregan bienestar ambiental. O bien, se podría optar por definir los lugares críticos que presentan mayor vulnerabilidad climática frente al calor extremo, y por lo tanto una mayor urgencia de intervención, que permitan cambiar las dinámicas de estrés térmico que afectan a las personas y a la biodiversidad local. En el primer caso, se trataría de medidas de adaptación mientras que, en el segundo, serían medidas de mitigación al cambio climático. Lo anterior, considerando que a largo plazo se espera que toda un área urbana disponga de una cobertura de infraestructura verde multifuncional, que permita el reconocimiento de núcleos, nodos y corredores de conectividad ecológica en un entorno urbano.

De esta manera, los Refugios Biourbanos –y la integración de SBN el diseño de refugios climáticos para la biodiversidad y el bienestar humano–, constituyen estrategias de intervención de escala barrial que aportan beneficios multidimensionales, en términos de seguridad hídrica, climática, ecológica y se complementan en los usos sociales locales. Se espera que sean parte de un sistema integrado de planificación urbana ecológica que se complementa con intervenciones de otras escalas, formando una red de infraestructura verde urbana.

La Implementación de SBN en entornos urbanos, en la macrozona central de Chile, es parte de un proceso en desarrollo, el cual aún requiere mayor conocimiento técnico, e integración interdisciplinar sobre las estrategias de diseño urbano asociadas, dimensionamiento de intervenciones y los impactos positivos que dichas intervenciones pueden tener en un corto, mediano y largo plazo. Para dimensionar estos impactos, es necesario avanzar en la validación de indicadores de evaluación, que sirvan tanto para nuevos proyectos, como para poder evaluar en nuevos términos, las iniciativas que se van implementando paulatinamente en la ciudad. De manera que se logre el tránsito efectivo hacia las ciudades sensibles al agua.

09

Capítulo 9

Anexos

ANEXO 1

Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

Anexo 1: Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

Glosario

Las definiciones fueron elaboradas a partir de fuentes técnicas y adaptadas al contexto de esta guía.

Adimensional: valor que no tiene unidad de medida, ya que resulta de la relación entre magnitudes que se cancelan entre sí. Es un número puro, usado para representar proporciones, índices o razones comparables.

Afluente: agua que entra a un sistema de tratamiento, como aguas grises o lluvia que llega a un humedal o biofiltro.

Efluente: agua que sale de un sistema de tratamiento, luego de haber pasado por un proceso de depuración o filtrado.

Escorrentía: agua de lluvia que fluye sobre la superficie del suelo, techos o calles, y que puede arrastrar contaminantes hacia cuerpos de agua o sistemas de drenaje.

Parámetros críticos: variables específicas que, al superar ciertos umbrales, representan un riesgo significativo para la salud humana, el medio ambiente o el rendimiento de los cultivos.

SBN (Soluciones Basadas en la Naturaleza): estrategias que imitan o aprovechan procesos naturales para enfrentar desafíos ambientales, como la gestión del agua, el cambio climático o la biodiversidad. Ejemplos: humedales artificiales, jardines de lluvia o techos verdes.

Uso urbano: aplicación no potable del agua tratada en entornos urbanos, como riego de áreas verdes, limpieza de calles o recarga de sistemas de drenaje, excluyendo el consumo humano directo.

Ahorro hídrico: cantidad de agua que se deja de utilizar respecto de un escenario base convencional.

Consumo base: volumen de agua estimado que consumiría una superficie vegetal bajo condiciones de riego convencional, sin medidas de eficiencia.

Consumo real: volumen de agua efectivamente utilizado para el riego de una superficie durante un período determinado.

ANEXO 1

Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

Eficiencia hídrica de riego: indicador que representa el porcentaje de agua ahorrada en comparación con un consumo base.

Estado hídrico de la vegetación: condición fisiológica de las plantas respecto de la disponibilidad de agua. Puede evaluarse visualmente o mediante sensores de humedad del suelo.

Escenario base de riego: referencia teórica del volumen de agua que se utilizaría en un sistema convencional sin medidas de eficiencia, utilizada como punto de comparación.

Estrés hídrico: condición en la que las plantas reciben menos agua de la necesaria para mantener su funcionamiento fisiológico. Se manifiesta mediante marchitez, pérdida de color o reducción del crecimiento.

Sensor de humedad del suelo: instrumento que permite medir el contenido de agua en el perfil del suelo, ayudando a determinar si las plantas están siendo correctamente regadas.

Umbral de estrés hídrico: valor mínimo de humedad del suelo o condición visual bajo el cual las plantas comienzan a sufrir estrés. Su definición depende del tipo de vegetación y contexto climático.

Almacenamiento temporal: volumen de agua lluvia que es contenido por un sistema (como un jardín de lluvia, zanja o microcuenca) por un tiempo limitado antes de infiltrarse o evaporarse. No corresponde a acumulación permanente.

Área de captación: superficie que recibe precipitación directa y desde donde el agua escurre hacia el punto de infiltración o almacenamiento. Puede incluir techos, senderos, pavimentos o suelos duros.

Balance volumétrico: método de cálculo que estima el comportamiento del agua en un sistema comparando entradas, salidas y almacenamiento. En el contexto del indicador, se usa para estimar la infiltración y la eficiencia hídrica del refugio.

Conductividad hidráulica saturada (K_s): propiedad física del suelo que indica la facilidad con que el agua se mueve a través de sus poros cuando está completamente saturado. Se expresa normalmente en milímetros por hora (mm/h) y depende de factores como la textura, estructura y compactación del suelo. Es un parámetro clave en el diseño de sistemas de infiltración, ya que define la capacidad máxima del suelo para absorber agua en condiciones saturadas.

ANEXO 1

Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

Evento de diseño: precipitación representativa usada como base para calcular la capacidad del sistema. Suele expresarse en mm o L/m², con base en frecuencia de retorno (ejemplo: 10 mm en 1 hora para Santiago).

Efectividad del sistema: porcentaje del volumen de lluvia que un refugio es capaz de gestionar (almacenar e infiltrar) sin generar escorrentía superficial.

Escorrentía: agua lluvia que fluye sobre el suelo o superficies impermeables sin infiltrarse, generando carga sobre los sistemas de drenaje urbano.

Infiltración: proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie hacia el perfil del suelo. Depende de las características del terreno, vegetación y compactación.

Jardín de lluvia: depresión ajardinada diseñada para captar, almacenar temporalmente e infiltrar aguas lluvias provenientes de superficies impermeables.

Método B (NCh 3610): técnica establecida por la Norma Chilena 3610 para calcular el volumen de infiltración sobre la base de un balance de masas, sin requerir modelaciones complejas.

Precipitación: cantidad de lluvia caída sobre una superficie, expresada comúnmente en milímetros (mm). 1 mm equivale a 1 litro por metro cuadrado.

Retención: capacidad del sistema para captar el agua lluvia y evitar su escurrimiento inmediato. Puede incluir tanto almacenamiento como infiltración.

Tasa de infiltración: velocidad a la cual el agua ingresa al perfil del suelo, normalmente expresada en mm/h o m/h, y determinada por las propiedades físicas del suelo y su grado de saturación.

Volumen gestionado: suma del volumen infiltrado más el almacenado por el sistema durante un evento de lluvia. Es el numerador del indicador de efectividad.

ANEXO 1

Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

TABLAS DE REFERENCIA PARA INDICADORES DE AGUA

Tabla 36. Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de acuerdo con la normativa NCh1333

ELEMENTO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	4,00
Berilio (Be)	mg/L	0,10
Boro (B)	mg/L	0,75
Cadmio (Cd)	mg/L	0,010
Cianuro (CN)	mg/L	0,20
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	200
Cobalto (Co)	mg/L	0,05
Cobre (Cu)	mg/L	0,20
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	1,00
Hierro (Fe)	mg/L	5,00
Litio (Li)	mg/L	2,50
Litio (cítricos) (Li)	mg/L	0,075
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	0,2
Plata (Ag)	mg/L	0,2
pH	Adimensional	5,5 a 9,0
Plomo (Pb)	mg/L	5,00
Selenio (Se)	mg/L	0,02
Sodio Porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250,00
Vanadio (V)	mg/L	0,10
Zinc (Zn)	mg/L	2,00

TABLAS DE REFERENCIA PARA INDICADORES DE AGUA

Tabla 37. Clasificación de aguas para riego según su salinidad

CLASIFICACIÓN	CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA, C, μ MHOS/CM A 25°C	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES, S, MG/L A 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < c \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < c \leq 5000$

ANEXO 1

Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

Tabla 38. Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de acuerdo con el Decreto Supremo 46

PARÁMETRO	UNIDAD	TABLA 1 DS46	TABLA 2 DS46
Aceites y grasas	mg/L	10	10
Aluminio	mg/L	5	20
Arsénico	mg/L	0,01	0,01
Benceno	mg/L	0,01	0,01
Boro	mg/L	00,75	3
Cadmio	mg/L	0,002	0,002
Cianuro	mg/L	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250
Cobre	mg/L	1	3
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,2
Fluoruro	mg/L	1,5	5
Hierro	mg/L	5	10
Manganeso	mg/L	0,3	2
Mercurio	mg/L	0,001	0,001
Molibdeno	mg/L	1	2,5
Níquel	mg/L	0,2	0,5
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	10	15
Nitrito más nitrato	mg/L	10	15
Pentaclorofenol	mg/L	0,009	0,009
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,01	0,02
Sulfatos	mg/L	250	500
Sulfuros	mg/L	1	5
Tetracloroetano	mg/L	0,04	0,0
Tolueno	mg/L	0,7	0,7
Triclorometano	mg/L	0,2	0,2
Xileno	mg/L	0,5	0,5
Zinc	mg/L	3	20
pH	Adimensional	Entre 6 y 8,5	Entre 6 y 8,5

ANEXO 1

Información complementaria para aplicación de indicadores de Ahorro Hídrico y Calidad de Aguas.

Tabla 39. Materiales mínimos requeridos para el muestreo junto con el costo estimado

ELEMENTO	FUNCIÓN	PRECIO ESTIMADO (UF)
Guantes de látex Caja 100 unidades	Higiene y seguridad durante el muestreo.	0,11
Frascos plásticos 1-3 litros 10 unidades	Contención de muestra, deben estar limpios.	0,13
Bomba de trasvasije manual	Permite la circulación de la muestra desde el punto hacia el recipiente.	0,08
Cuadernos y lápices	Permiten la elaboración de la bitácora de proceso al momento de la recolección de muestras.	0,08

Tabla 40. Costo en UF para cada tipo de ensayo

TIPO DE ENSAYO	COSTO POR MUESTRA (UF)
NCh1333	5,1
DS-46	7,7
Decreto 40	0,80

Tabla 41. Volúmenes mínimos sugeridos por muestras para cada una de las normativas aplicadas

NORMATIVA	VOLUMEN MÍNIMO POR MUESTRA
NCh1333	2-3 L
Decreto 46	2-3 L
Decreto 40	1-2 L

Referencia: elaborada a partir de: NCh 409/1.Of2005, DS 46/2002, Art. 15, y protocolo de laboratorio MC-014 (abril de 2024). Para detalles sobre volúmenes mínimos específicos por tipo de análisis (físico, químico y microbiológico), se sugiere consultar también NCh409/2: Agua potable – Parte 2: Muestreo.

ANEXO 2

Tabla de referencia, para la recogida de datos climáticos in situ.

FECHA:		NUBOSIDAD (%):		DATOS TOMADOS POR:			UBICACIÓN:	
Punto	Hora	WBGT (°C)	T° Ambiental	Humedad %	T° Globo Negro (°C)	T° Bulbo. Húmedo	Expuesto al sol	Ubicado bajo sombra
1 A'								
2 A'								
2.1 a'								
3 A'								
4 A'								
1 B'								
2 B'								
1 C'								
2 C'								
3 C'								
3.1 c'								
4 C'								
1 F'								
2 F'								
2.1 f'								
3 F'								
4 F'								
1 G'								
2 G'								
1 H'								
2 H'								
3 H'								
3.1 h'								
4 H'								
Observaciones:								

ANEXO 2

Tabla de referencia, para la recogida de datos climáticos in situ.

Tabla 42. Tabla de recogida de datos para resultados REDUCCION DE TEMPERATURA AMBIENTAL (RTA)

FECHA	PUNTO DE MEDICIÓN	HORA	T °C	VARIACIÓN DE T °C
	P_1 (caso base)			
	P_2			
	P_3			
	P_4			

Tabla 43 ficha de comparación para temperatura superficial por material

FICHA DE COMPARACIÓN DE TEMPERATURA SUPERFICIAL							
CASO BASE	ÁREA DE ESTUDIO	Mañana	RTS %	Mediodía	RTS %	Tarde	RTS %
Material 1 caso base		29 °C		60,8 °C		55,4 °C	
	Material 2	37,1 °C	-31%	68,4 °C	-13%	51,88 °C	7%
	Material 3	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 4	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 5	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 6	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 7	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 8	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 9	°C	%	°C	%	°C	%
	Material 10	°C	%	°C	%	°C	%





Refugios Biourbanos:

Guía para evaluar la efectividad de Soluciones Basadas en la Naturaleza en un barrio



EDICIONES UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA METROPOLITANA



Refugios Biourbanos:

Guía para evaluar la efectividad de Soluciones Basadas en la Naturaleza en un barrio

**REFUGIOS BIOURBANOS: GUÍA PARA EVALUAR
LA EFECTIVIDAD DE SbN EN LOS BARRIOS ® 2025**

PROYECTO ANID IDEA I+D ID23110043 Refugios Biourbanos: modelo para un enfoque integral de evaluación de efectividad de soluciones basadas en la naturaleza para el diseño urbano sensible al agua, como estrategia de adaptación al cambio climático.