



Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos

REVALORIZACIÓN DEL CICLO DE AGUA EN EL PARQUE O'HIGGINS

—
SISTEMA PARA LA PURIFICACIÓN, REUTILIZACIÓN Y PUESTA EN
VALOR DEL AGUA EN EL ESPACIO PÚBLICO A TRAVÉS DEL PROYECTO
ARQUITECTÓNICO

Santiago Arturo Gana Figueroa

*Tesis presentada a la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica
de Chile para optar al título Profesional de Arquitecto y Grado de Magister en
Arquitectura Sustentable y Energía*

Profesores Guía
Inés Macarena Burdiles Aranedá
Mauricio Lama Kuncar

29 de Enero 2019
Santiago de Chile

© 2019, Santiago Arturo Gana Figueroa

INDICE

007	i. ABSTRACT
011	ii. INTRODUCCIÓN
013	1. CASO, TEMA Y PROBLEMA
013	a. Historia del parque y su relación con la formación de su sistema hídrico
017	b. La crisis del recurso hídrico
021	c. Sistema hídrico actual en el parque
025	d. Preocupaciones y problemáticas
035	2. PREGUNTAS
037	3. HIPÓTESIS
039	4. OBJETIVOS
039	a. Generales
039	b. Específicos
041	5. METODOLOGÍA
043	iii. MARCO TEÓRICO
059	iv. DESARROLLO
061	1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PARQUE
061	a. Sistema hídrico actual del parque
067	b. Laguna del Tibet y sus potencialidades
073	2. INFORMACIÓN SOBRE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA
073	a. Ley de recolección, reutilización y disposición de aguas grises
079	b. Tratamientos para la purificación del agua
	i. Tratamiento agua gris
	-Tratamientos no convencionales
	ii. Tratamiento agua con sedimento
095	c. Cálculos para dimensionar las distintas etapas del nuevo ciclo hídrico en el parque según su demanda

109	3. MEDICIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS CON AGUA EN DISTINTAS CONDICIONES
109	a. Campaña de levantamiento
109	i. Instrumento utilizado
109	ii. Fechas de las mediciones
111	iii. Cámara de registro utilizada
111	iv. Metodología de medición
115	v. Aplicación de tabla psicométrica
115	vi. Creación de gráficos
117	vii. Elección de casos de medición
	- Plaza de la Aviación
	- Parque Renato Poblete
	- Laguna del Tíbet Parque O'Higgins
119	b. Factores a considerar
119	i. Enfriamiento evaporativo
121	ii. Sensación térmica
121	c. Fichas de mediciones
123	i. Plaza de la Aviación
127	ii. Parque Renato Poblete
129	iii. Laguna del Tíbet Parque O'Higgins
131	d. Conclusiones de las mediciones
135	v. CONCLUSIONES
151	vi. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

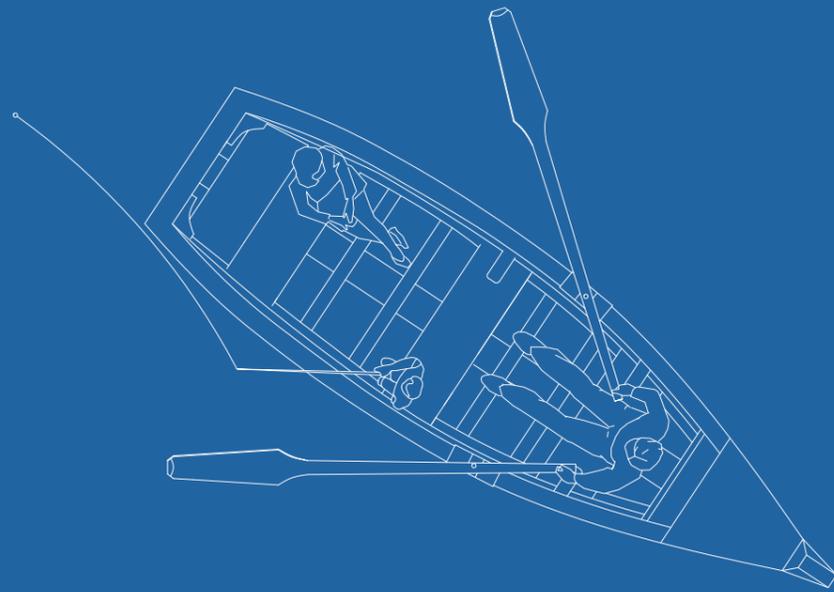


i.

ABSTRACT

ABSTRACT

Esta investigación y proyecto nacen a partir del potencial de renovación que tiene el Parque O'Higgins respecto a una serie de problemas técnicos, espaciales y arquitectónicos asociados al uso del agua. Su deficiente almacenamiento, tratamiento y distribución, además de la casi inexistente relación entre una de las lagunas más importantes del parque (Laguna del Tíbet) y su alrededor, hacen urgente la necesidad de poner en valor este recurso, a través del diseño de un nuevo ciclo de purificación. De esta manera, se pretende utilizar este elemento como el foco central de la investigación y el proyecto de arquitectura.



ii.

INTRODUCCIÓN

1. CASO, TEMA Y PROBLEMA

- a. Historia del parque y su relación con la formación de su sistema hídrico
- b. La crisis del recurso hídrico
- c. Sistema hídrico actual en el parque
- d. Preocupaciones y problemáticas

2. PREGUNTAS

3. HIPÓTESIS

4. OBJETIVOS

- a. Generales
- b. Específicos

5. METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

1. CASO, TEMA Y PROBLEMA

a. Historia del parque en relación a la formación de su sistema hídrico

El Parque O'Higgins, antiguamente Parque Cousiño (imagen 01), está ubicado en la ciudad de Santiago, Región Metropolitana. Fue donado al gobierno por Luis Cousiño el año 1873, con la finalidad de crear un gran pulmón verde, en donde se pudieran realizar actividades recreativas y también actividades de carácter militar. Este, fue diseñado por el urbanista español Manuel Arana Borica y el paisajista francés Gustavo Renner, proyecto que consideraba sólo una laguna, esta -"originalmente era muy extensa, con una superficie de tres hectáreas, 300 metros de largo y 1,75m de profundidad"- (Beach, 2010), que según las fuentes revisadas se puede inferir¹ tenía un uso recreativo (imagen 2). Posteriormente, tanto la crisis económica de 1930 como los cambios culturales, generaron un cambio en la forma de vida de la aristocracia chilena, lo que provocó el abandono del lugar por parte de los estratos altos de la sociedad y marcó el inicio del declive del sector y del parque.

Entre los años 1970 y 1973 se propusieron intervenciones puntuales con la finalidad de reactivar y mejorar el estado de abandono del parque. Una de ellas fue otorgar concesiones, tales como la zona norte del parque para el actual parque de diversiones "Fantasilandia" y las canchas de tenis "Santiago Lawn". Al mismo tiempo, se construye el estadio actualmente llamado "Movistar Arena" el cual forma parte de una de las instalaciones más grandes del parque. Además, el paisajismo realizado en el proyecto en la zona sur, llevó a cabo la plantación de nuevos árboles y áreas de césped (CORMU, 1973). Sumado a esto se implementó un sistema de riego, desarrollado por Luis Bianchi, que manteniendo el sistema de acequias existente,



Imagen 01

Vista aérea Parque Cousiño, Club Hípico y sus alrededores, año 1931



Imagen 02

Laguna Del Tibet con agua



Imagen 03

Obras de la Laguna del Cerro Chino, Marzo 1972

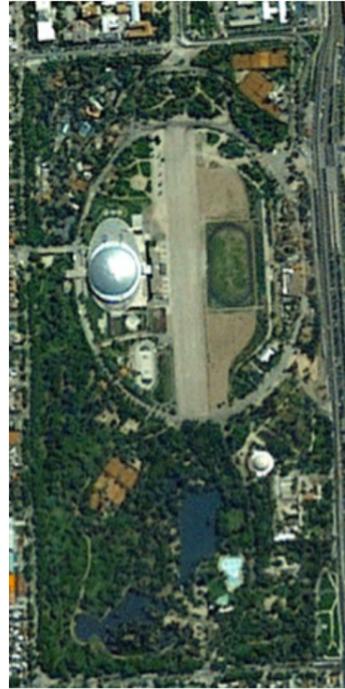


Imagen 04
Parque O'Higgins año 2007



Imagen 05
Parque O'Higgins año 2008



Imagen 06
Situación actual de la Laguna del Cerro Chino

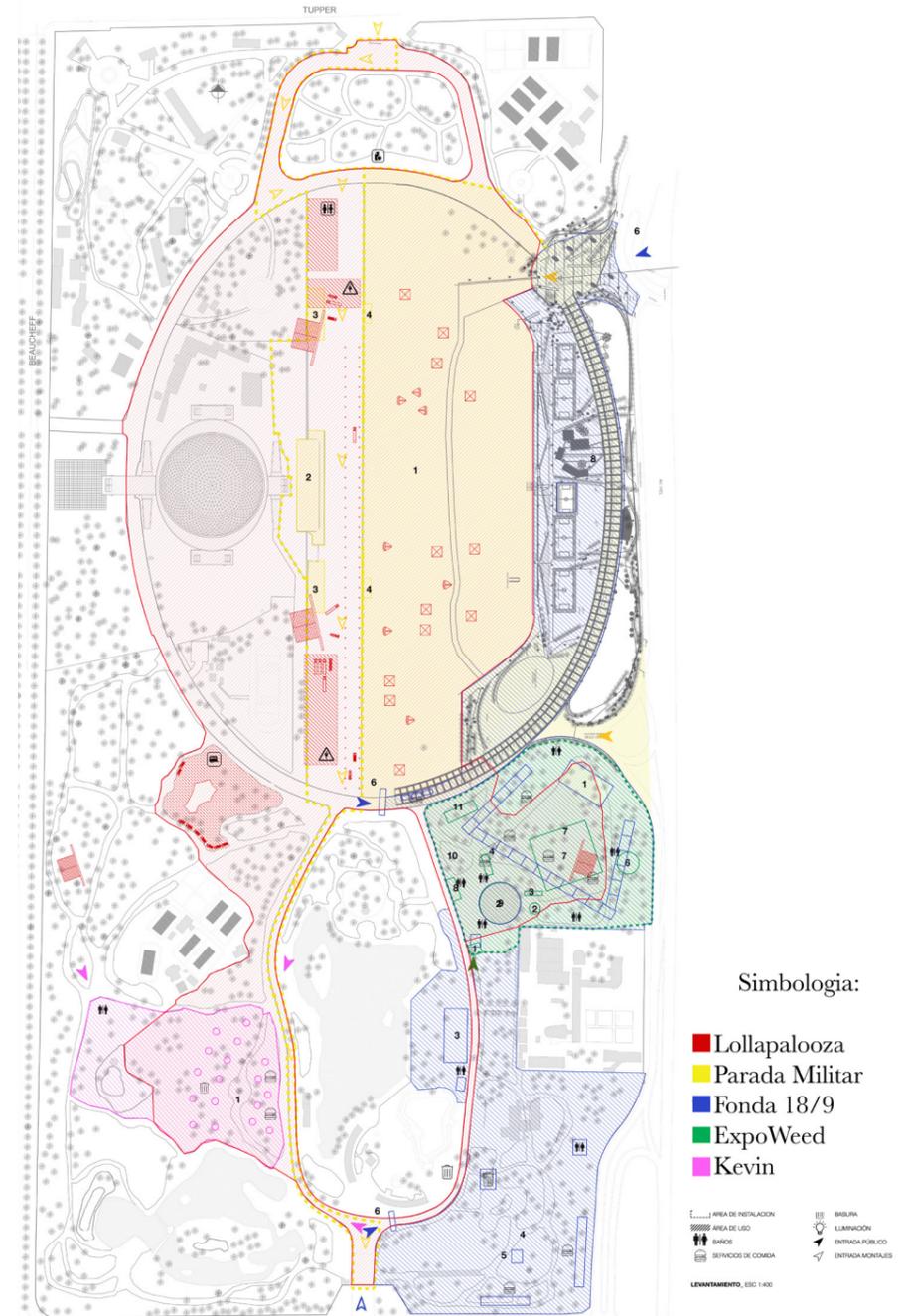


Imagen 07
Espacios de los Eventos Temporales en el Parque O'Higgins

Figure 4.1 Global distribution of the world's water

Note: see Chapter 3 on water that is easily available to plants.

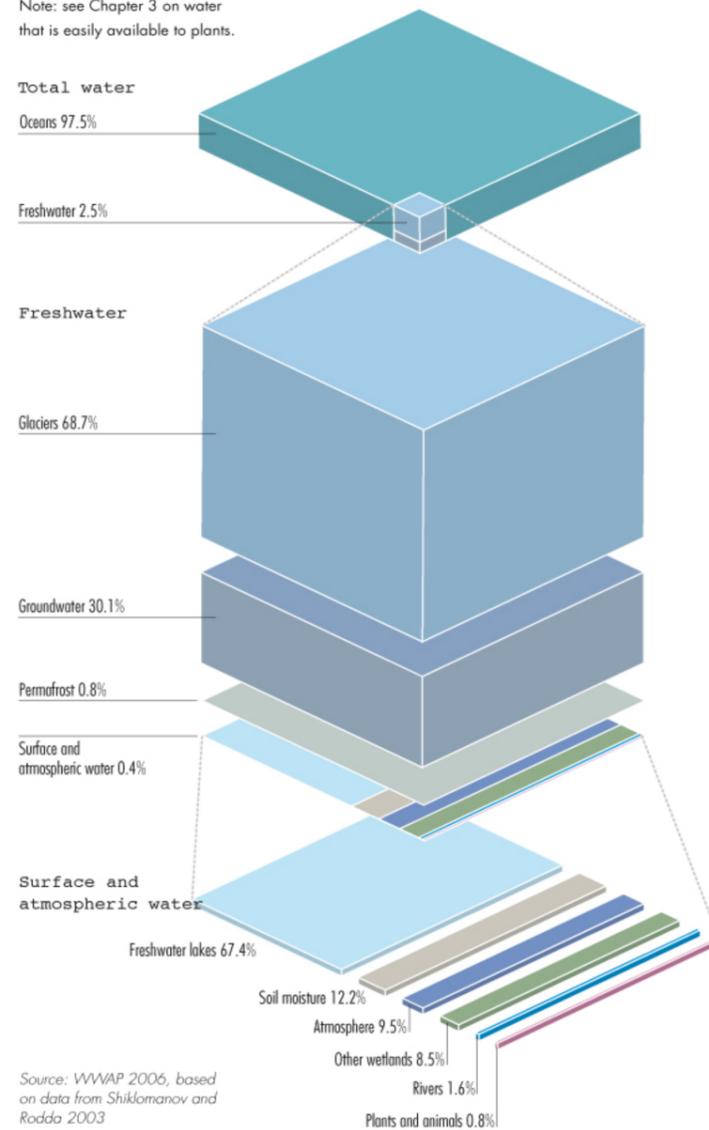


Imagen 08

Distribución global del agua en el mundo.

incorpora aspersores y considera también el riego con manguera. En este periodo se desarrolló otro diseño paisajístico, elaborado por Carlos Martner, que influyó en la definición estética del parque, fue la construcción de la segunda laguna artificial del parque (imagen 03) llamada actualmente “Laguna del Cerro Chino” (imagen 06), que según las fuentes revisadas se puede inferir¹ que su fin era de tipo recreativo más que funcional. Finalmente, una de las últimas modificaciones en el parque fue el año 2008 (ver imagen comparativa 04 y 05.), donde se realizó una remodelación en la explanada adyacente al “Campo de Marte”, aumentando su área verde e instalando un nuevo sistema de riego².

Hoy en día, el Parque O’Higgins atiende una serie de programas a escala metropolitana en donde se realizan festivales de música masivos, fiestas típicas y ceremonias militares (imagen 07), como también actividades a escala barrial de uso deportivo, recreativo y de paseo. Esto explica que el terreno, al usarse para este tipo de eventos, obtenga altos niveles de deterioro, haciendo que la mantención del parque sea a su vez permanente y sumamente importante. Por otra parte, la vegetación sufre de gran deterioro, debido a la erosión provocada tanto por los eventos como por el actual sistema de riego.

b. La crisis del recurso hídrico

En el esquema de la problemática global del agua (imagen 08) un 70% de la superficie mundial es agua, de ese un 2.5% del agua es dulce y de esta un 0.4% esta en la atmósfera y en la superficie. Esto quiere decir que el 0.4% del agua dulce del mundo están disponibles para consumo diverso, donde en Chile el sector agrícola usa un 73%, un 12% la industria, un 9% por la

¹ Sabiendo que el tipo de riego que se usaba en esa época correspondía al de tendido, el cual usaba la gravedad y los canales para llegar a todos los lugares del parque. Se puede inferir que, al estar la laguna en el punto mas bajo del parque, esta tenía la finalidad de recibir el agua sobrante del riego, para que así, esta laguna tuviera un fin recreativo y pintoresco.

² Cambio el riego de tipo tendido, por mayoritariamente, riego por aspersión.

minería y finalizando con un 6% el agua sanitaria (imagen 09).

Además, de las aguas residuales del ser humano, un 90 a 95% de estas son vertidas sin ningún tratamiento en los países en desarrollo. Es por esto que cada año 2,5 millones de personas mueren de sed o por beber agua contaminada. Sumado a esto, desde 1960 el aumento del consumo para fines de riego ha aumentado en un 60%. (Aracena 2012)

Entre 2011 y 2050 se espera que la población mundial aumente un 33%, pasando de 7.000 millones a 9.300 millones de habitantes. Además, se prevé que la población que vive en las áreas urbanas casi se duplicará, pasando de 3.600 millones en 2011 a 6.300 millones en 2050 (Michael Tran 2016).

Se predice que el mundo podría enfrentarse a un déficit mundial de agua del 40% en 2030 en un escenario normal acostumbrado (WRG 2030, 2009). Se considera fundamental mejorar la eficiencia en el uso del agua para hacer frente a la brecha del 40% entre la oferta y la demanda y mitigar la escasez de agua en 2030 (Michael Tran 2016).

De un 25 a un 50% se calculan las pérdidas de las redes de agua potable mundial. En Chile (imagen 10) alcanzan el 30% en las zonas urbanas, y el mayor consumo lo representan las actividades recreativas (fuentes, riego de jardines, campos de golf, parques etc)

Es por estos datos alarmantes que el uso eficiente y la reutilización del recurso hídrico son sumamente importantes, por lo que es relevante lograr tener una ciudadanía informada. Si los usuarios fuesen conscientes de la gravedad del tema, se lograría reducir el consumo de agua global, para, en el mejor de los casos revertir los efectos en el planeta.

DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA.

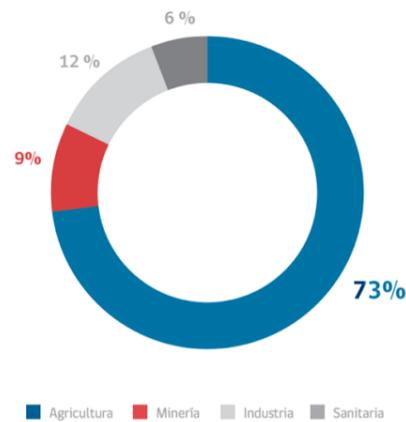


Imagen 09
Usos del agua dulce en Chile.

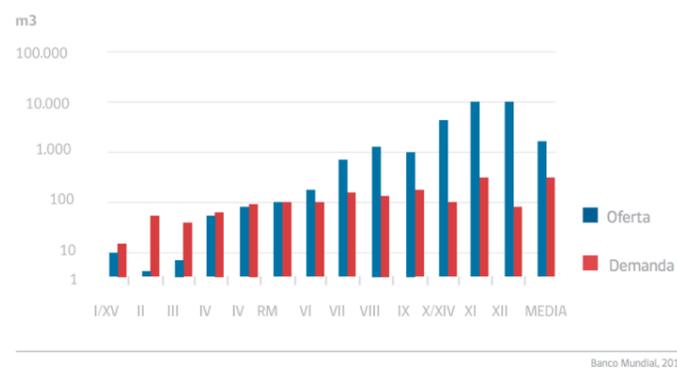


Imagen 10
Gráfico de barras sobre la oferta y demanda según cada región en Chile.

c. Sistema hídrico actual del parque

El actual sistema de abastecimiento hídrico del parque, posee múltiples ingresos. La principal fuente es la del canal San Miguel, agua que viene de la cordillera desde el Río Maipo y el Canal San Carlos. A continuación, el agua pasa por todo el parque a través de una red de canales superficiales (imagen 14), los que finalizan en la laguna principal (Laguna del Tíbet, imagen 15) y la secundaria (Laguna del Cerro Chino), que también son suministradas por agua extraída de la napa freática. Finalmente, se evacuan a través de ductos (imagen 16) por las calles Av. Beaucheff y General Rondizzoni, conectándose con el Zanjón de la Aguada. La segunda fuente de agua en el parque se encuentra en el interior del recinto, un pozo profundo que se encarga de regar las áreas verdes de la Comuna de Santiago y además se destina una cantidad mínima de esta, al riego del parque a través de un camión aljibe. La tercera fuente hídrica, se encarga de regar los recintos cerrados en el parque a través de Aguas Andinas.

Por otro lado, es importante considerar los desechos hídricos que el parque genera, debido al gran potencial de reutilización que estos pueden llegar a tener. Estos desechos son principalmente las aguas negras y grises eliminadas por las infraestructuras y establecimientos que el parque posee, además del agua lluvia y el agua sobrante de las lagunas.

Respecto a la manera de regar el parque, existen tres tipos: riego por aspersión, tendido y goteo. Actualmente el mayor porcentaje es por tendido y por aspersión (imagen 11). El riego por aspersión consiste en una modalidad de riego mediante la cual el agua llega a las zonas a través de una matriz subterránea conectada a las lagunas y un sistema superficial de cañerías de aluminio que hacen posible la llegada del agua, para finalmente, regar al sector deseado, en modo de “lluvia”. Por otro lado, el riego por tendido funciona mediante la inundación del terreno, a través de los canales superficiales que recorren el parque. Además, algunos sectores que no cuentan con ningún tipo de riego o no se

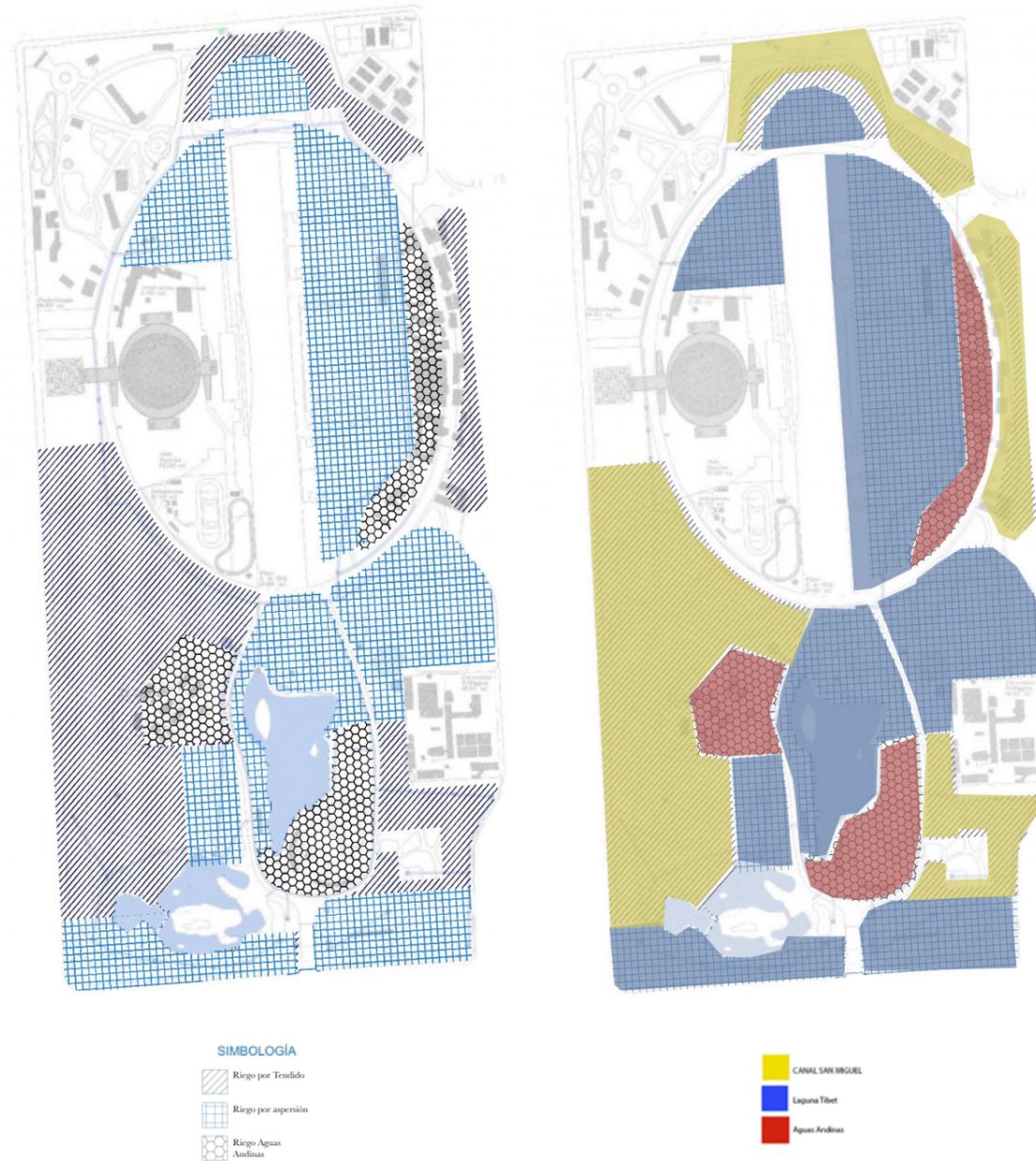


Imagen 11 y 12
Plano Tipos de Riego y Plano Fuentes de agua para riego

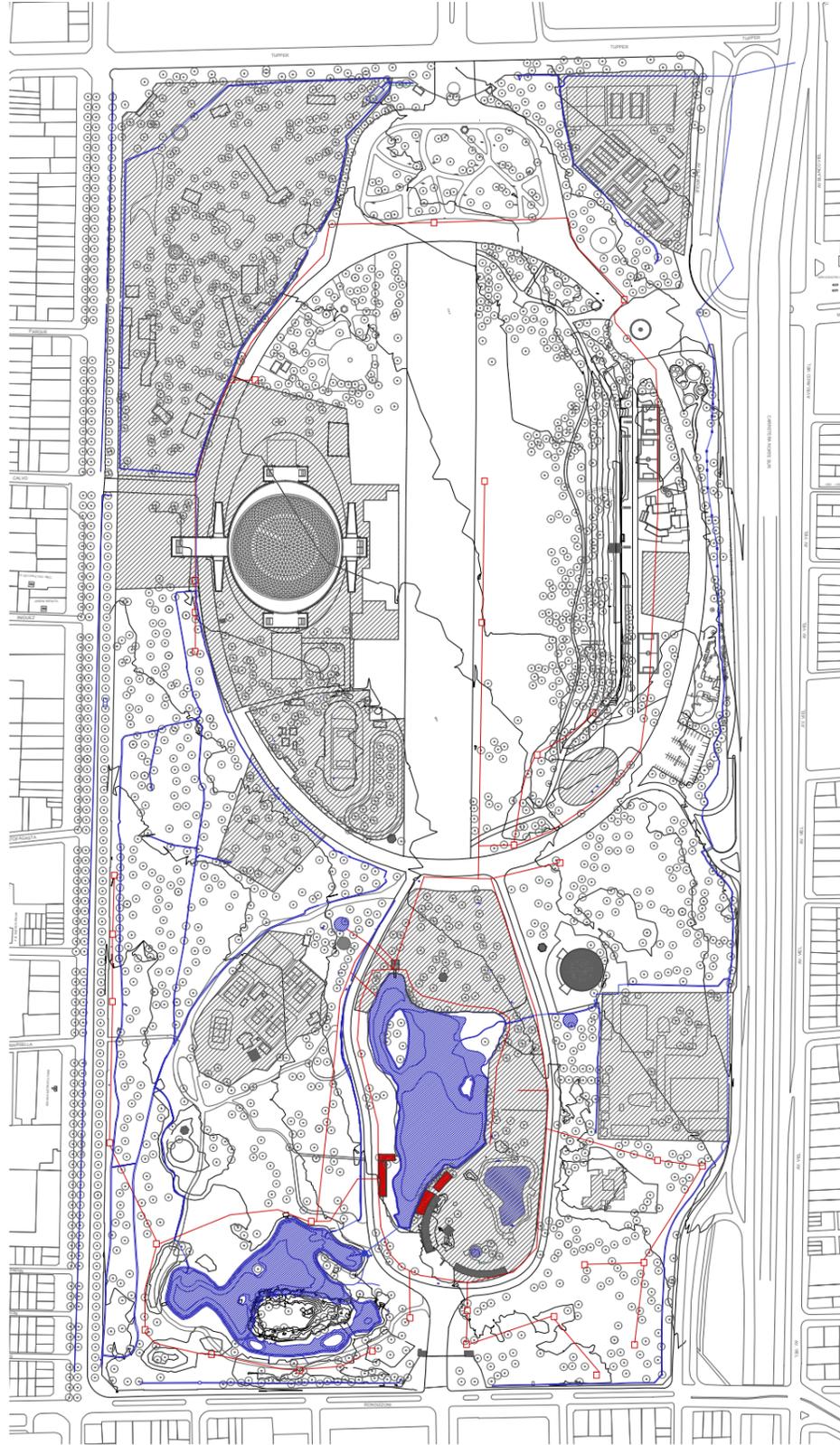


Imagen 13

Plano Situación actual del parque; en azul, canales y cuerpos de agua existentes; en rojo, sistema de riego e infraestructura aledaña a la Laguna del Tibet.



Imagen 14

Canales de distribución existentes



Imagen 15

Laguna del Tibet



Imagen 16

Via de evacuación que conecta con calles Av. Beaucheff y General Rondizzoni

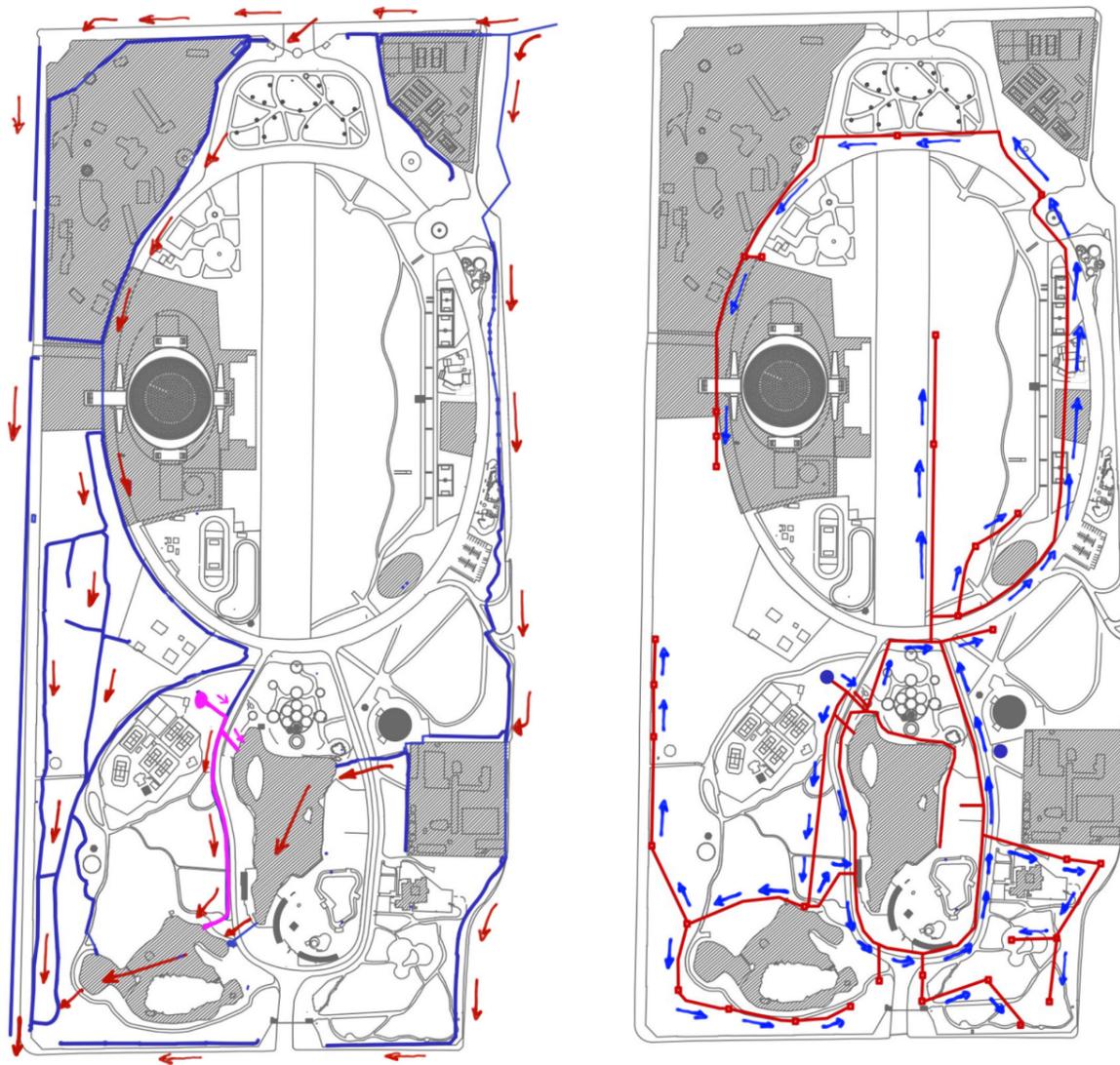


Imagen 17 y 18

Esquemas de sistema de captación y distribución de agua en el Parque O'Higgins

Plano izquierda: en azul: sistema de captación de aguas; en rosado: agua de la napa que alimenta la Laguna del Cerro Chino; flechas en rojo: dirección del flujo de aguas.

Plano derecha: en rojo: sistema de cañerías que distribuyen las aguas; flechas rojas: dirección del flujo de aguas de las mismas.

regaron adecuadamente, son apoyados en su riego por camiones aljibe que extraen agua de la napa freática.

Sin embargo, actualmente se está modificando el riego de tipo tendido por el riego de aspersión, debido a la ineficiencia e importante erosión que provoca este riego en el terreno.

El parque cuenta con un sistema de purificación bastante precaria que comienza con la llegada del agua al parque desviada desde el canal San Miguel. Esta se separa en dos canales superficiales, que recorren los bordes oriente y poniente del parque (imagen 17). Estos canales, contienen decantadores intermitentes, los que tienen la finalidad de retener el sedimento que contiene el agua traída desde la cordillera, sedimento que genera el bloqueo o rebalse de los mismos (imagen 22). Paralelamente y a medida que el agua recorre estos canales, esta es utilizada para el riego por tendido. Ambos canales finalizan en las lagunas de acumulación de agua, uno de ellos en la *laguna del Tibet* y el otro en la *laguna del cerro Chino*. Cada una de estas lagunas posee una bomba de agua, la cual se encarga de generar la presión adecuada para la distribución y riego por aspersión en el parque a través de una matriz subterránea (imagen 18).

d. Preocupaciones y problemáticas

En una de las reuniones con la Municipalidad de Santiago, una de las mayores preocupaciones tanto de las autoridades Municipales como de los mismos trabajadores sobre el funcionamiento del parque, tiene que ver con el actual sistema de captación, distribución y acumulación de agua, debido a la ineficiencia y el alto nivel de mantención que este requiere.

Sumado a esto, un estudio realizado por la Municipalidad de Santiago (ONG Adapt-Chile, 2015) agrega:

“Un elemento determinante en la vulnerabilidad de la comuna de Santiago frente a los efectos del Cambio Climático son los reservorios de agua. En la comuna existen cuatro pozos (uno de estos se ubica en el parque O’Higgins) que abastecen de agua para riego y para la población en caso de emergencias. Pero no existe un catastro actualizado del estado de dichas fuentes, de su vida útil ni del presupuesto hídrico de la comuna. Se sabe que la impermeabilización de los suelos a causa de la urbanización ha impedido la infiltración, lo que a su vez impide que estos cuerpos de agua se nutran del recurso. Además, la tasa de aumento en la capacidad e infraestructura para la provisión de agua no ha crecido en la misma proporción que la expansión urbana. Otra variable que genera gran presión en relación a este recurso en Santiago es que no existen mecanismos que promuevan la eficiencia hídrica en el actuar municipal, de modo que es muy difícil disminuir el consumo de agua en dependencias y servicios municipales. Si bien existen registros del uso de energía eléctrica y agua por parte del municipio, no hay estrategias de eficiencia hídrica, lo cual representa una posibilidad de mejoramiento de la gestión municipal.”

La cita nos pone al tanto de la urgente necesidad de abastecimiento hídrico de la napa freática que abastece la comuna de Santiago para riegos y situaciones de emergencia. Como se explica en el estudio, el problema tiene que ver con la poca permeabilidad de los suelos en esta zona de la ciudad, creando la preocupación en cuanto al abastecimiento actual de la napa. En este contexto, el Parque O’Higgins cumple un rol importante. Este, es una de las pocas zonas con suelo permeable en la comuna (ver imagen 19), dando la posibilidad de ser una fuente potencial de abastecimiento de agua a la comuna y/o a la napa.

Ambas preocupaciones, tanto a nivel del parque como a nivel comunal, ponen en evidencia la urgente necesidad de utilizar eficientemente el recurso hídrico, y al Parque O’Higgins como un actor importante en el caso (imagen 20). Por lo tanto, tratar eficientemente el tema del agua en el parque es atingente,

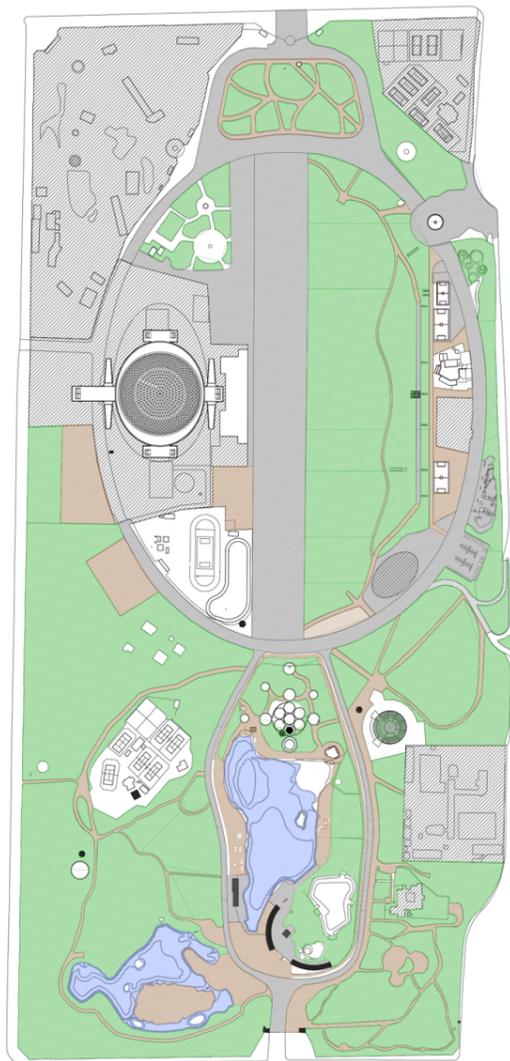


Imagen 19
 Esquemas de tipos de suelo
 En verde: pasto, suelo permeable
 En café: maicillo, suelo semi-permeable
 En gris: pavimento de concreto, suelo no permeable
 Azul: lagunas

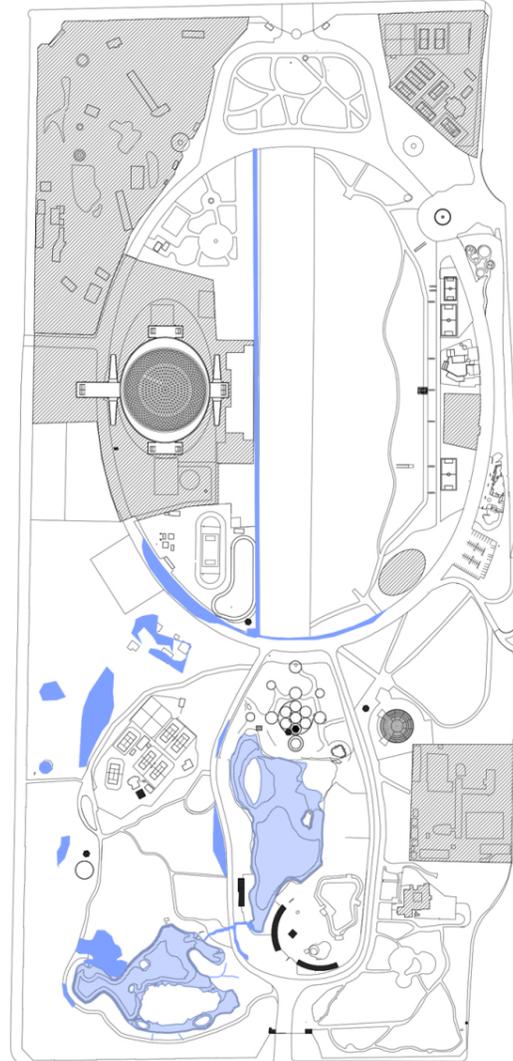


Imagen 20
 Esquemas de zonas de inundación en el parque
 En azul: inundaciones en época de invierno

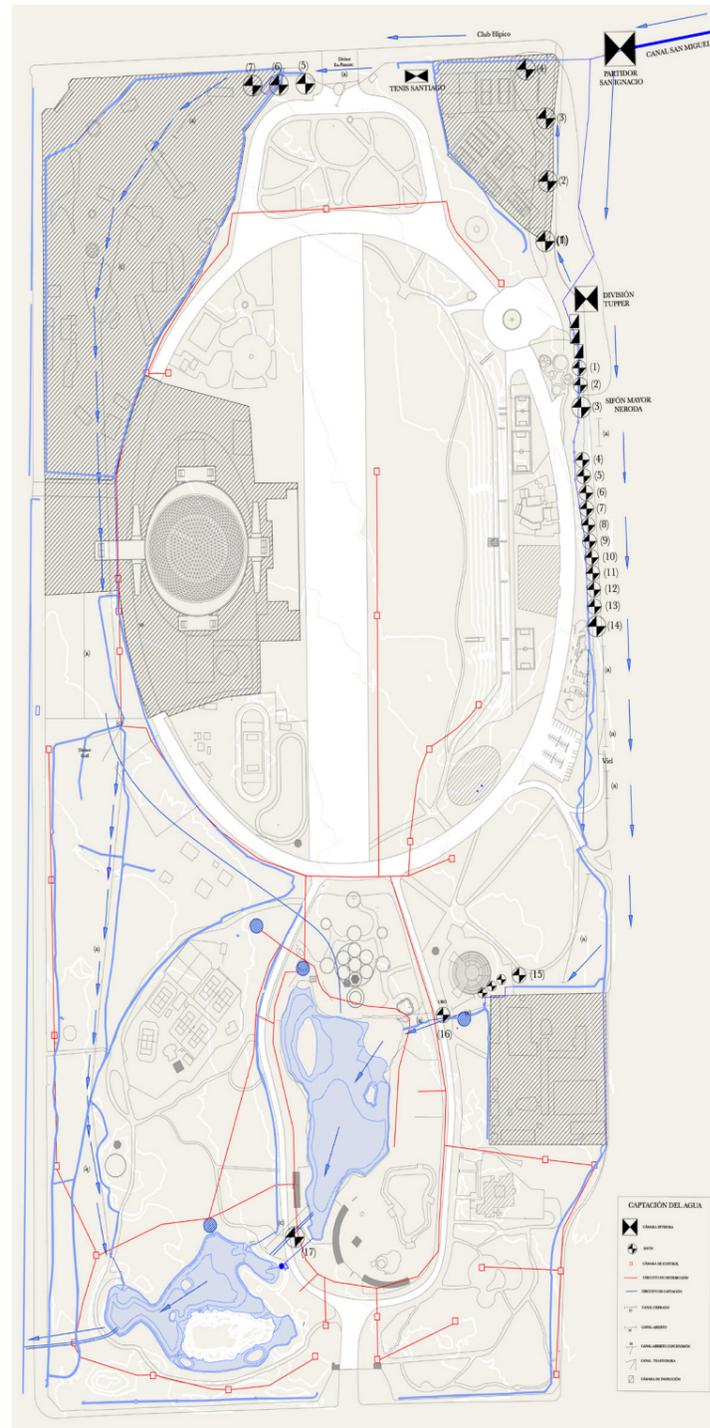


Imagen 21
 Funcionamiento de sistema hídrico del parque: captación, purificación y distribución

sumado a que este recurso es cada vez más escaso y a su vez necesario para todo el ecosistema. Debido a esto, el uso y cuidado que debemos darle debe ser eficiente y tenemos la misión de sensibilizar a la población para poner en valor este recurso, ya que, tal como se contextualizó anteriormente, debido al fenómeno del cambio climático mundial el recurso del agua será cada vez más escaso y su demanda cada vez mayor.

Actualmente, el parque O'Higgins presenta numerosos problemas internos relacionados con el recurso hídrico, ya que el sistema actual de captación, acumulación y distribución de aguas es precario y poco eficiente (imagen 21). Se identifican la ineficiencia del sistema general, la sedimentación y por consiguiente, las inundaciones que afectan al parque. En cuanto a la ineficiencia del sistema, este necesita de constantes mantenimientos, lo que aumenta el costo para el municipio (ver imágenes 22, 23 y 24), además de no entregar los resultados de eficiencia en purificar el agua que este podría tener antes de llegar a almacenarse en las lagunas. Respecto al segundo problema, la gran concentración de sedimento y suciedad que el agua posee, genera que la mantención de las bombas de agua en las lagunas sea recurrente y que el consumo de energía sea mayor. Además al decantar del sedimento en las lagunas, se crea una disminución en la capacidad de almacenamiento y se pierde el gran potencial que estas podrían tener para generar un ciclo de reutilización y uso del agua.

1



Imagen 22
Sedimento acumulado en sifones

2



Imagen 23
Retiro del sedimento acumulado en los canales del parque con retroexcavadora

3



Imagen 24
Desborde de la laguna del Tibet por bloqueo del ducto de evacuación

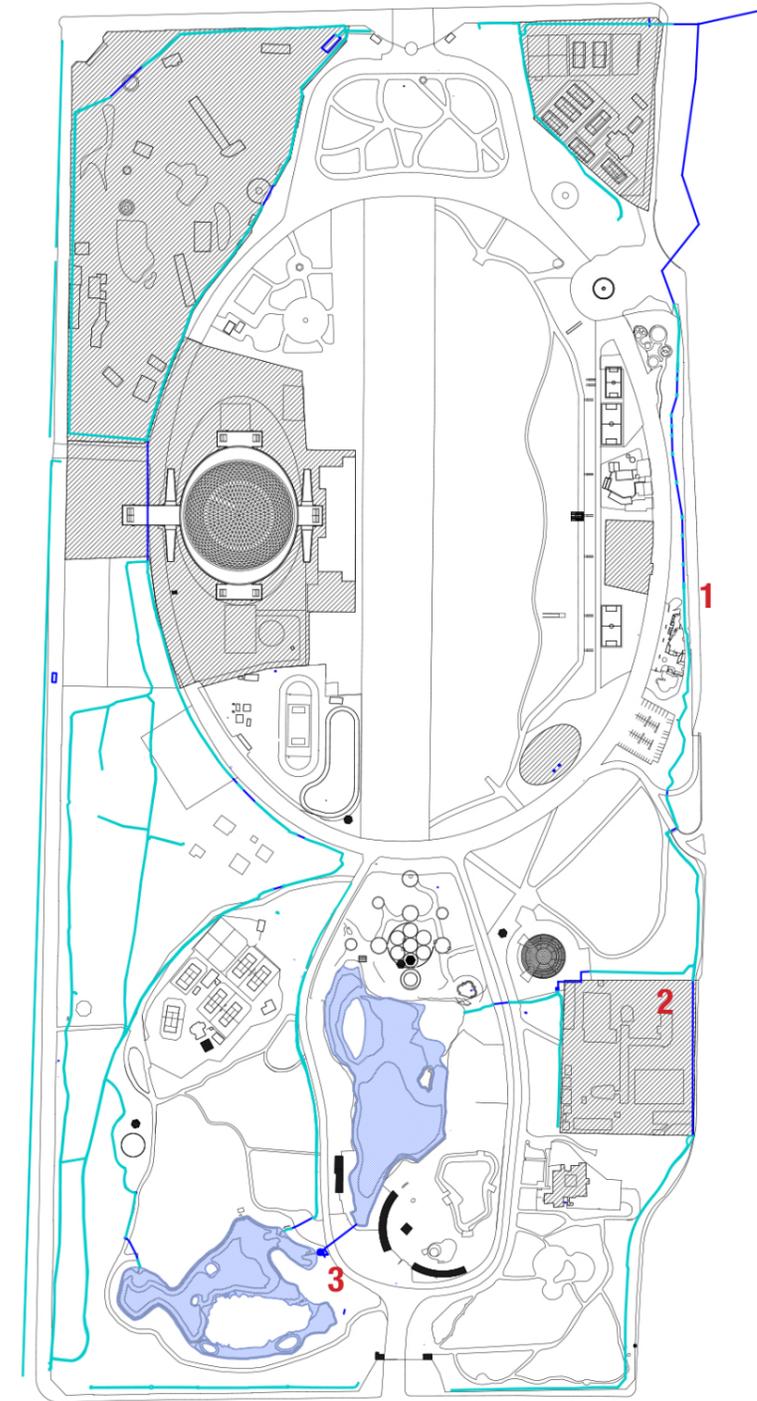


Imagen 25
Problemas y mantenencias hidricas del parque
1. Zona de acumulación de sedimentos
2. Zona retiro de sedimentos acumulados en los canales del parque
3. Desborde de la laguna del Tibet por bloqueo del ducto de evacuación

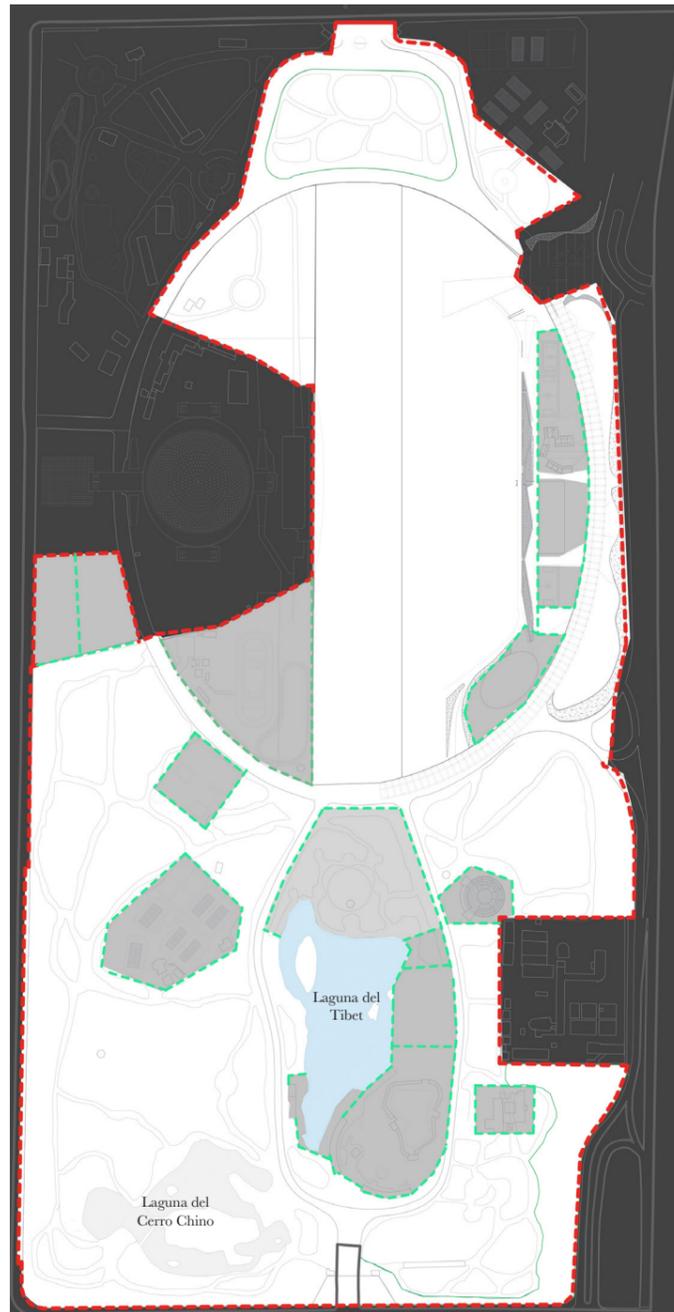


Imagen 26

Zonificación según límites internos del parque

Color negro: recintos municipales o privados independientes al parque

Color gris: recintos municipales o privados cerrados en parque

Color gris claro: recintos municipales cerrados por horarios

Paralelamente, el parque se encuentra subdividido por múltiples programas en su interior, desde canchas de deporte, centro de eventos, lugares de picnic, lagunas, entre otros (ver imagen 26). Sin embargo, debido a que estos fueron construidos en diferentes fechas y sin un plan general común, estos programas no están lo suficientemente organizados en cuanto al uso de espacio y distribución, haciendo que muchos lugares no sean utilizados como podrían serlo. Uno de estos casos, es una de las dos lagunas del parque, llamada laguna del Tibet, la cual, debido a los programas asociados, su distribución y sus cerramientos, hacen que no se utilice con el potencial arquitectónico, programático y educativo, que podría llegar a tener.

2. PREGUNTAS

1. ¿De qué forma se puede exponer, potenciar y relacionar un proceso de purificación hídrica en un espacio público?
2. ¿Cómo captar y acumular y purificar el agua de manera eficiente?
3. ¿Cómo aprovechar un ciclo del agua para cualificar un programa arquitectónico?
4. ¿Cómo los programas existentes en el borde de la laguna y su alrededor actualmente abandonado, pueden potenciarse a través de una reconfiguración y nuevo ciclo del agua?



Imagen 27
Niños jugando en canal del parque



Imagen 28
biodiversidad en la laguna Cerro Chino, tortuga acuatica nadando entre humedales.



Imagen 29
Usos de los bordes de la laguna Cerro Chino

3. HIPÓTESIS

El actual ciclo de agua del Parque O'Higgins presenta graves problemas de pérdidas, inundaciones y casi nulo tratamiento de sus aguas. Una de las dos grandes lagunas del parque - que forma parte de este ciclo - se encuentra aislada y rodeada de barreras físicas que obstaculizan su uso y relación con el parque.

Estos problemas pueden ser abordados desde el estudio de la relación entre el espacio público del parque O'Higgins y un nuevo ciclo para el agua, proporcionando sistemas de almacenamiento, tratamiento, distribución, y purificación, que expuestos físicamente pongan en valor el agua como recurso. A su vez, el nuevo ciclo para el agua tiene el potencial de cualificar los lugares a su alrededor, mejorando los espacios recreativos a partir del aprovechamiento de las cualidades climáticas, atmosféricas y arquitectónicas.

4. OBJETIVOS

a. Objetivos Generales

El primer objetivo de ésta investigación es:

0. Re-configurar el actual sistema hídrico del parque O'Higgins, mediante una adecuada captación, purificación y re-utilización del agua, que haga más eficiente el sistema, para mejorar la calidad del recurso para los distintos usos relacionados con el agua.

a. Objetivos Específicos

Por ésta razón, el segundo objetivo es:

1. Desarrollar el borde e interior de una de las lagunas menos usadas del parque: la laguna del Tíbet, abriéndose hacia el parque y dotando de nuevos espacios que serán parte del ciclo del agua en el lugar.
2. Re-ubicar los programas existentes.
3. Acondicionar los espacios a partir del agua, potenciándolos e incorporándolos en el ciclo de re-utilización de agua.
4. Reactivar este sector abandonado del parque y darle un uso lógico y eficiente al agua que ingresa, siendo esta, consecuencia del nuevo ciclo.
5. Usar el agua no solo para su consumo o uso cotidiano sino también como elemento de interacción atmosférica, recreativa y espacial.

Al mismo tiempo, se conectarán ambas lagunas física y visualmente para así, generar una conexión espacial con la finalidad de entender este sistema como un todo y ponerlo en valor.

5. METODOLOGÍA

Esta investigación se realizará en 3 etapas:

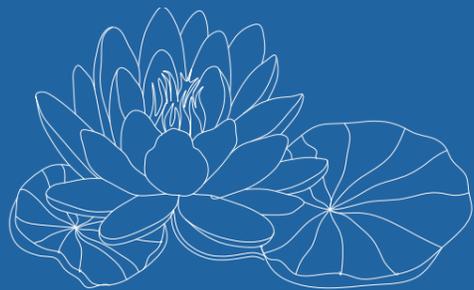
1º: Levantamiento detallado del lugar identificando los problemas hídricos que del parque. Esto con la finalidad de hacer un diagnóstico al parque.

2º: Búsqueda bibliográfica, análisis y cálculos de los requerimientos técnicos de estos problemas. Con la finalidad de cuantificar y identificar las distintas etapas de tratamiento del agua en el parque.

3º: Mediciones de distintas situaciones en donde el agua cumpla una función de acondicionando en los espacios exteriores a partir de juegos o volúmenes de agua. Con el objetivo de saber cuál es la variación de temperatura, que factores afectan y cuál es su rango de influencia térmica según su entorno.

iii.

MARCO TEÓRICO



El espacio público de grandes dimensiones y áreas verdes, es sin duda un elemento esencial dentro de la composición urbana. Desde este punto de vista *“es necesario reconocer la importancia que estas piezas urbanas poseen en el desarrollo de nuestra sociedad. Su presencia naturalmente define el actuar de los individuos dentro de una ciudad, estableciendo relaciones de diverso orden dentro de ella. Por ellos, el valor del espacio público es definitivamente transversal, es a través de estos lugares por donde nos expresamos, nos recreamos o nos desplazamos”* (Vidal, 2011)¹.

La relevancia de estos espacios se hace cada vez mayor en el contexto urbano de la ciudad de Santiago, debido a la acelerada y creciente densificación. Esto ha generado la urgente necesidad de espacios públicos de grandes dimensiones y áreas verdes, lugares de esparcimiento y recreación. Al mismo tiempo, es importante poner en discusión el estado actual de muchos de estos espacios públicos existentes, antes, o por lo menos de forma paralela a la creación de nuevos espacios. Esto, con el fin de hacernos cargo de aquellos lugares que se encuentran en mal estado y tomarlos como oportunidades de proyecto para la regeneración urbana.

El Parque O’Higgins, objeto de estudio de esta investigación, es uno de los mayores parques urbanos de la Región Metropolitana. En cuanto a esto, el año 2017, en la guía llamada “La dimensión humana en el espacio público” realizada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, se definió a los parques urbanos como los grandes condensadores sociales del país, poniendo en relevancia sus múltiples conexiones interiores y diversos usos, de escala y carácter radicalmente distintos. Para ello, el Ministerio propone que el diseño debe ser lo suficientemente flexible para integrar todos estos usos, cuidando proveer zonas densas en follaje, alternadas con explanadas verdes abiertas para el juego e importantes elementos de agua para la recreación (MINVU, 2017)². A pesar de su gran extensión y popularidad, el parque O’Higgins es un parque de carácter Metropolitano que no es aprovechado adecuadamente, presentando una oportunidad

de mejoramiento.

El año 2007, en la guía “Espacios Públicos: Recomendaciones para la Gestión de Proyectos” del Ministerio de Vivienda y Urbanismo se sugirieron una serie de recomendaciones para la gestión de proyectos, específicamente para espacios públicos. Respecto a esto, hace especial énfasis en la racionalización hídrica, mencionando que *“El recurso hídrico es muy escaso en gran parte del territorio nacional y más escaso aún disponer de agua limpia libre de contaminantes. Surge la necesidad de realizar un uso racional del recurso hídrico implementando un conjunto de medidas tendientes al ahorro y buen uso del agua, que pasan por reconocer que las plantas no necesitan agua potable y por la necesidad de implementar sistemas de riego eficientes y oportunos, además de vegetación con bajas necesidades de riego”* (MINVU, 2007).

Tal como se indica en la guía *“La dimensión humana en el espacio público”* del MINVU elaborada en conjunto con Jan Gehl Architects, la necesidad de realizar un uso racional del recurso hídrico toma especial importancia no solo a nivel nacional si no que mundial. La escasez hídrica es uno de los temas más urgentes en el planeta, debido a lo esencial que es para la vida, tanto simbólica como utilitariamente. *“La importancia del agua como fuente y símbolo de la vida es evidente. Atraídos por sus cualidades terapéuticas, lúdicas y de apoyo a la vida, no podemos existir sin eso. Aunque el agua cubre aproximadamente dos tercios de la superficie de la tierra, solo el 3 por ciento de esta cantidad es agua dulce y aproximadamente dos tercios de eso es hielo. Gran parte del resto está bloqueado bajo tierra. Por lo tanto, una mera fracción del 1 por ciento del agua de la tierra sostiene toda la vida en la tierra. Es esta proporción esencial de agua que proporciona sustento a todas las formas de vida y es fundamental para el desarrollo social.”* (Ryan, 2010, p.7).

Por otra parte, el espacio público requiere de grandes cantidades de agua, tanto para regar sus áreas verdes, agua potable para consumo humano, o bien, masas de agua como espacios de contemplación, recreación o acumulación. En este

sentido es importante tratar el recurso de manera racional y eficiente, además de ser lugares oportunos para evidenciar el buen uso del agua en el espacio público, con el fin de ser un ejemplo para los ciudadanos y usuarios.

Sin embargo, la dualidad agua/espacio público, no debe analizarse únicamente desde un punto de racionalidad hídrica, sino también, como una oportunidad de proyectar en arquitectura. Bajo este punto de vista, existen una serie de proyectos de arquitectura que se diseñan a partir de elementos de agua, ya sean mar, ríos, canales, lagos, lagunas u otros.

Las grandes masas de agua urbanas se han convertido en áreas fértiles para la planificación, reurbanización, mejoramiento y reconstrucción de ciudades. *“A lo largo de la historia, los canales, ríos, lagos, mares y océanos que forman un borde o que dividen las metrópolis urbanas han determinado el carácter topográfico de las áreas urbanas. Utilizados para la defensa, el comercio, el transporte, la industria y la recreación, estos cuerpos de agua a menudo proporcionaron una razón para fundar una ciudad en primer lugar y han llegado a definir estas ciudades y jugar un papel importante en sus personajes vivos y únicos.”* (Ryan 2010, p.8).

Zöe Ryan, autora de numerosos libros y publicaciones de arquitectura y diseño, en su libro publicado el año 2010: *“Building with water”*, plantea conceptos relevantes respecto al uso del agua en la arquitectura, tema crítico en el desarrollo de la planificación urbana. En el libro se exploran proyectos que abordan el diseño en base a su ubicación estrechamente ligada a masas de agua de una manera ecológicamente sostenible. *“Dando cada vez más énfasis en los enfoques ambientales para vivir, trabajar y jugar, el agua se ha convertido en el centro de las discusiones sobre la nueva arquitectura y la planificación urbana. Por lo tanto, es un momento particularmente pertinente para debatir la construcción sobre el agua y los numerosos proyectos experimentales y de reflexión que los arquitectos, diseñadores e ingenieros están iniciando con el objetivo de abordar estos temas importantes en un esfuerzo por introducir nuevos modos de pensamiento y prácticas, lo que cambiará*



Imagen 30

YAP: “Después del domo”



Imagen 31

YAP: “El jardín de los caminos que se bifurcan”



Imagen 32

YAP: “Sombras de color”

radicalmente nuestra relación con este recurso natural.” (Ryan, 2010, p.7)

YAP Constructo y el agua

Bajo esta misma línea, el agua como elemento de diseño en arquitectura abre otras puertas que tienen relación con lo que ocurre alrededor del agua y las atmósferas que esta es capaz de otorgar. De esta manera, el agua puede ser un elemento de activación e interacción en los espacios públicos. El YAP Constructo (Young Architects Program) es un programa de arquitectura joven asociado al Museum of Modern Art (MoMA) dirigido en Chile por los arquitectos Marcelo Sarovic y Jeannette Plaut desde el año 2008. Este programa, selecciona arquitectos emergentes que proponen una intervención arquitectónica temporal en el Parque Araucano. El encargo tiene como únicos requisitos además de un presupuesto limitado, el uso del elemento del agua, espacios de sombra y asientos. Estas obras tienen como objetivo explorar nuevas propuestas para el espacio colectivo y la interacción ciudadana, impulsando también el uso inteligente y creativo de los recursos.

Para efectos de esta investigación, el concurso YAP plantea el uso de agua en cualquiera de sus formas que cree un espacio colectivo de interacción ciudadana. Bajo este punto de vista, se han realizado una serie de intervenciones que logran cumplir con este requerimiento de manera innovadora. En esta ocasión se hará alusión a cuatro proyectos (dos de ellos construidos en el Parque Araucano en diferentes momentos, otro en Matucana 100 y uno de ellos no construido) que muestran distintas maneras de trabajar el agua. Los casos a mostrar son: “Después del domo” (2017: Claudio Torres, Clarita Reutter, Emile Straub y Yuji Harada), “El jardín de los caminos que se bifurcan” (2012: Alejandro Beals y Loreto Lyon), “Sombras de color” (2010: Eduardo Castillo) y “El molino y el acueducto” (2017: Tomás Villalón y equipo).

El primer caso, el proyecto llamado “After the dome”



Imagen 33

YAP: “El molino y el acueducto”



Imagen 34

YAP: “El molino y el acueducto”

utiliza el agua en estado pulverizado. Se distribuye, a través de un tubo plástico y un sistema de aspersión que recorre todo el perímetro interior del proyecto. En el proyecto “*El jardín de los caminos que se bifurcan*” el agua es distribuida por cuatro aspersores de riego ubicados en las esquinas del proyecto que se activan de vez en cuando, cambiando las condiciones ambientales además de contar con una poza central que conforma un espacio para reunirse y sentarse. El siguiente caso, el proyecto “*Sombras de color*” diseñado por el arquitecto Eduardo Castillo, poseía un espejo de agua circular en medio de una planta rectangular. Esta estructura de madera llena de agua permitía que los usuarios se sentaran y mojaran sus pies. Finalmente, el proyecto de Tomás Villalón y equipo llamado “*El molino y el acueducto*” pone como elemento central del proyecto el uso del agua. Este último ejemplo ahonda aún más en las cualidades atmosféricas del elemento. El arquitecto comenta la potencialidad que tiene el agua en cuanto a la generación de atmósferas: (respecto al agua) “*El hombre ha usado su ingeniería más primogénita para hacerla propia. Desde unir las palmas de las manos para hacer un bebedero, una vasija para su consumo, hasta un canal para cruzar desde un continente a otro. Pero el agua no es solo eso, es también todo lo que ocurre en torno a ella. Su aroma, su color, su brillo, su textura, y en cómo es capaz con su tinta de imprimir un derrame distinto en los materiales, los suelos y en cómo construir las atmósferas de un lugar.*” (Villalón, 2017). Por otra parte, Villalón comenta sobre la gran importancia de las masas de agua en espacios públicos como la Quinta Normal y el Parque O’Higgins: “*El lugar lo entendemos como una oportunidad para situar el agua como el punto de mayor valor en el programa del conjunto. La Quinta Normal o el Parque O’Higgins, por ejemplo, emplean el agua como un elemento central en la activación y uso de los espacios públicos. Disponer de un cuerpo hídrico vivo en este lugar, detona un alto potencial de uso en los usuarios del parque, evitando la muerte temprana por medio de miles de visitantes que darán vida al nuevo espacio.*” (Villalón, 2017).

Bajo este punto de vista, se vuelve importante poner en valor los sistemas de tratamiento y depuración del agua, además de analizar las estrategias de acondicionamiento térmico-



Imagen 35

“Parc du chemin”

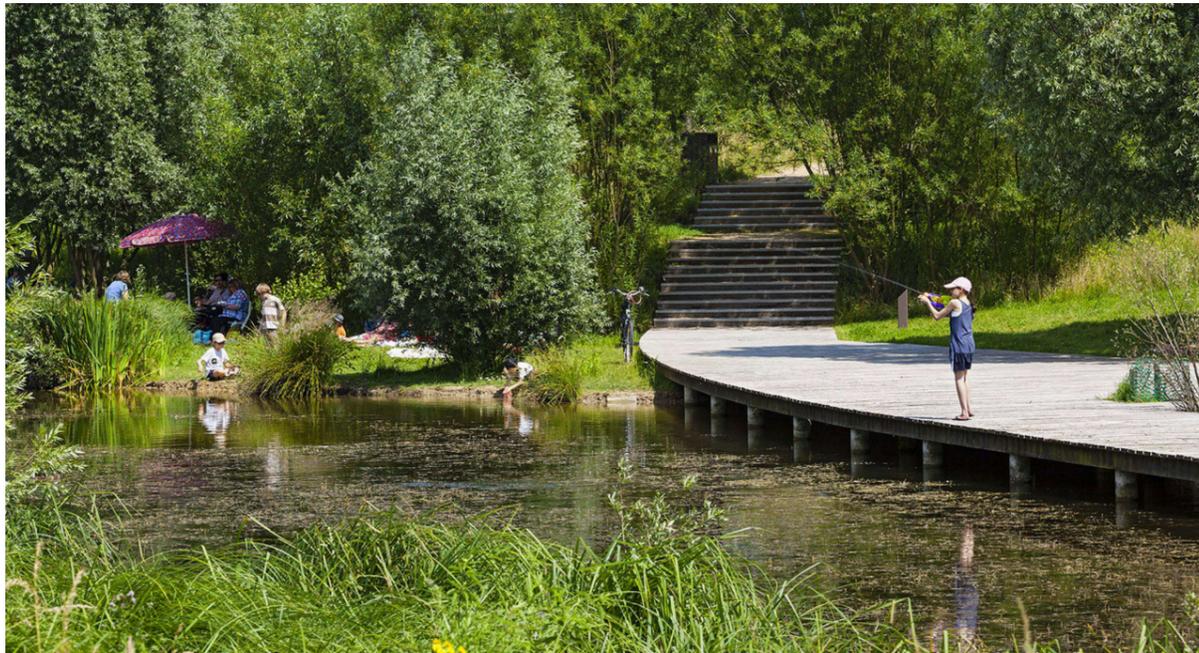


Imagen 36

“Parc du chemin”

ambiental que puede tener el recurso hídrico, para así poner en valor el agua abarcando todas sus aristas y potencialidades.

Parques entorno al agua

Paralelamente, existen una serie de proyectos de arquitectura en parques urbanos que han sido capaces de tomar esta problemática y hacer de ella un elemento central de proyecto. Uno de los casos es el Parc du Chemin en Nanterre, Francia, un parque urbano que toma el agua del río Sena como elemento clave en el diseño para crear un sistema de purificación en base a sistemas de bombeo, estanques y especies de plantas que permite finalmente regar los jardines y huertos, agua que luego vuelve al río Sena purificada y reoxigenada. Este sistema de purificación es finalmente aquel que organiza el proyecto, generando una serie de siete piscinas ajardinadas que guían el recorrido invitando a caminar a lo largo de estas marismas urbanas. El parque se abre hacia el río Sena, intentando también otorgarle a la ciudad un nuevo lugar para la flora y fauna autóctona, además de representar un espacio de recreación y elementos lúdicos educativos respecto al uso del agua.

Otro de los referentes que incorpora el agua como elemento a purificar pero también como elemento de acondicionamiento y recreación es el Parque de Sydney creado por Turf Design Studio & Environmental Partnership. *“El resultado es una serie entrelazada de las infraestructuras de la comunidad y los sistemas de re-utilización del agua, recreación, biodiversidad y hábitat, integrado dentro de la estructura física del parque de Sydney”*. El parque crea un lugar de paisaje acuático revitalizado, intensificando la relación entre la gente y el lugar. Los procesos de captación y limpieza se tornan visibles a través del paisaje, generando nuevos recorridos que cruzan las zonas de humedales, permitiendo a los usuarios del parque explorar y descubrir momentos en el paisaje que pueden ser lúdicos, contemplativos o interactivos, pero siempre conectados a la narrativa del agua en los distintos



Imagen 37

“Parque de Sydney”



Imagen 38

“Parque de Sydney”

procesos de captación, conducción y purificación. Tal como mencionan los autores del proyecto, *“destacar estos procesos fue una parte importante del proyecto, ya que hacen hincapié en la relación intrínseca entre el agua, la gente, la topografía, la flora y la fauna”*.

El agua es el principal argumento y centro de la investigación debido a la gran potencialidad que revela. Finalmente, se propone trabajar en torno a este elemento no solamente para asegurar su buen uso, sino también para activar el espacio público y dotar de una atmósfera única a los espacios de recreación para el Parque O’Higgins.

DESARROLLO

1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PARQUE

- a. Sistema hídrico actual del parque
- b. Laguna del Tíbet y sus potencialidades

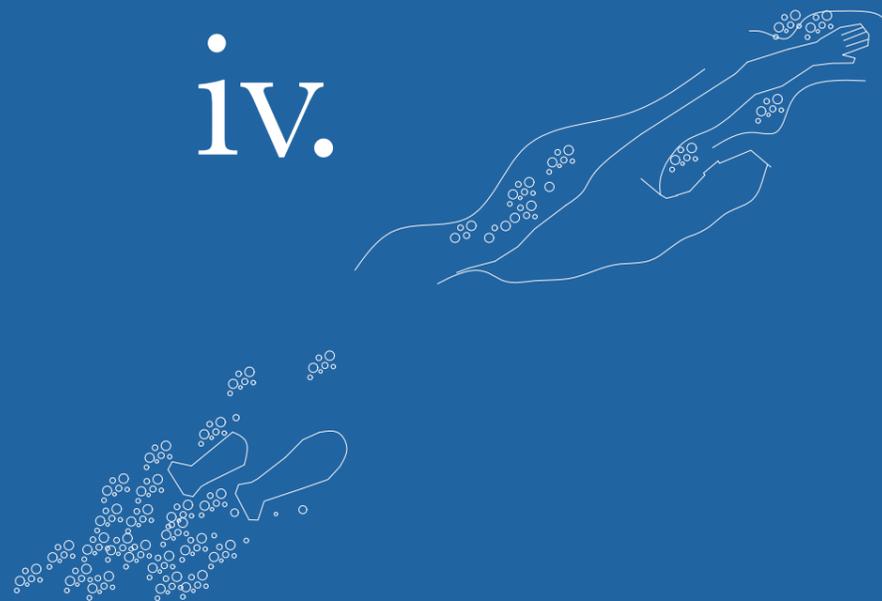
2. INFORMACIÓN SOBRE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA

- a. Ley de recolección, reutilización y disposición de aguas grises
- b. Tratamientos para la purificación del agua
 - i. Tratamiento agua gris
 - Tratamientos no convencionales
 - ii. Tratamiento agua con sedimento
- c. Cálculos para dimensionar las distintas etapas del nuevo ciclo hídrico en el parque según su demanda

3. MEDICIÓN DE ESPACIOS PÚBLICOS CON AGUA EN DISTINTAS CONDICIONES

- a. Campaña de levantamiento
 - i. Instrumento utilizado
 - ii. Fechas de las mediciones
 - iii. Cámara de registro utilizada
 - iv. Metodología de medición
 - v. Aplicación de tabla psicométrica
 - vi. Creación de gráficos
 - vii. Elección de casos de medición
 - Plaza de la Aviación
 - Parque Renato Poblete
 - Laguna del Tíbet Parque O'Higgins
- b. Factores a considerar
 - i. Enfriamiento evaporativo
 - ii. Sensación térmica
- c. Fichas de mediciones
 - i. Plaza de la Aviación
 - ii. Parque Renato Poblete
 - iii. Laguna del Tíbet Parque O'Higgins
- d. Conclusiones de las mediciones

iv.



1. SITUACIÓN ACTUAL DEL PARQUE

a. Sistema hídrico actual

Según un estudio hecho por la municipalidad (Polis 2006), el actual sistema de abastecimiento hídrico del parque, posee múltiples ingresos (imagen 40). La principal fuente es la del canal San Miguel, abasteciendo de 7,5 litros de agua por segundo. Esta viene de la cordillera desde el Río Maipo, que luego se desvía por el Canal San Carlos, recorriendo gran parte de la ciudad hasta llegar al Canal San Miguel, el que desemboca en el Parque O'Higgins y Club Hípico de Santiago (imagen 30). A continuación, el agua pasa por todo el parque a través de una red de canales superficiales, la que finaliza en la laguna principal (laguna del Tíbet) y la secundaria (laguna del cerro Chino), que también son suministradas por agua extraída de la napa freática. Finalmente, cuando la cantidad de agua que llega al parque sobrepasa los límites establecidos, se le limita el paso a través de compuertas metálicas que bloquean la entrada desde el canal San Miguel y se le obliga a evacuar a través de ductos por las calles Av. Beaucheff y General Rondizzoni, conectándose con el Zanjón de la Aguada. La segunda fuente de agua en el parque se encuentra en el interior del recinto, un pozo profundo que entrega 18 litros por segundo a la Comuna de Santiago y una tercera fuente de agua potable a través de Aguas Andinas apoyando con aproximadamente un 15% del riego total (imagen 39).

Respecto a la manera de regar el parque, existen tres tipos: riego por aspersión, tendido y goteo. Actualmente el mayor porcentaje es por tendido y por aspersión, ya que el por goteo es casi nulo y muy puntal. El riego por aspersión consiste en una modalidad de riego mediante la cual el agua llega a las zonas que se requieren regar a modo de "lluvia", mientras que el riego por tendido funciona mediante la inundación del terreno. Sin embargo, actualmente se está modificando el riego de tendido por el riego de aspersión, debido a la ineficiencia y erosión que provoca.

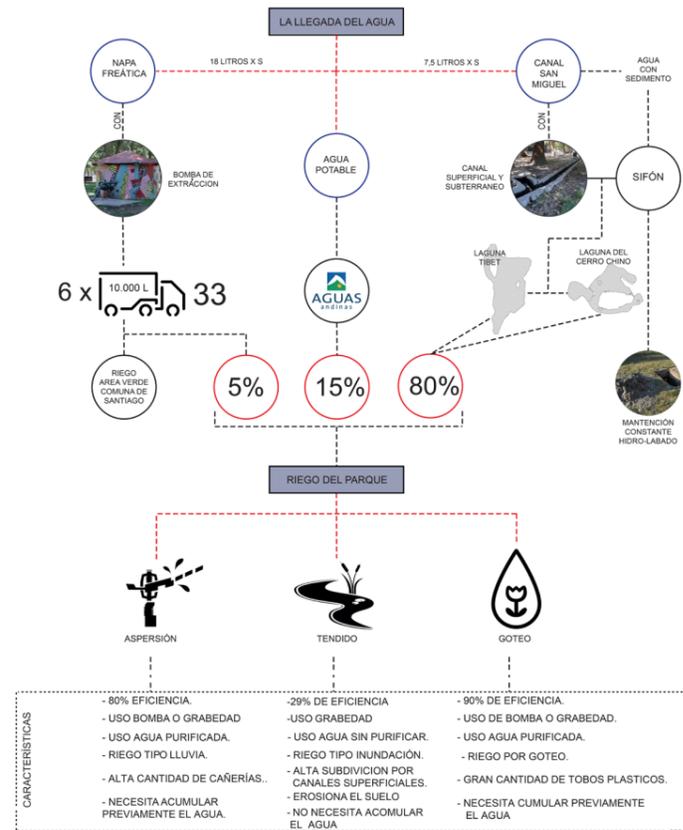


Imagen 39
Fuentes de aguas del parque O'Higgins y usos para riego

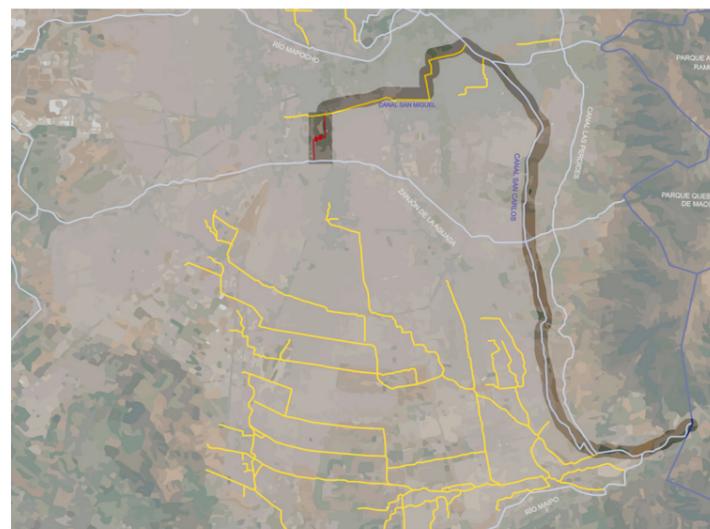


Imagen 40
Procedencia de las aguas del Canal San Miguel

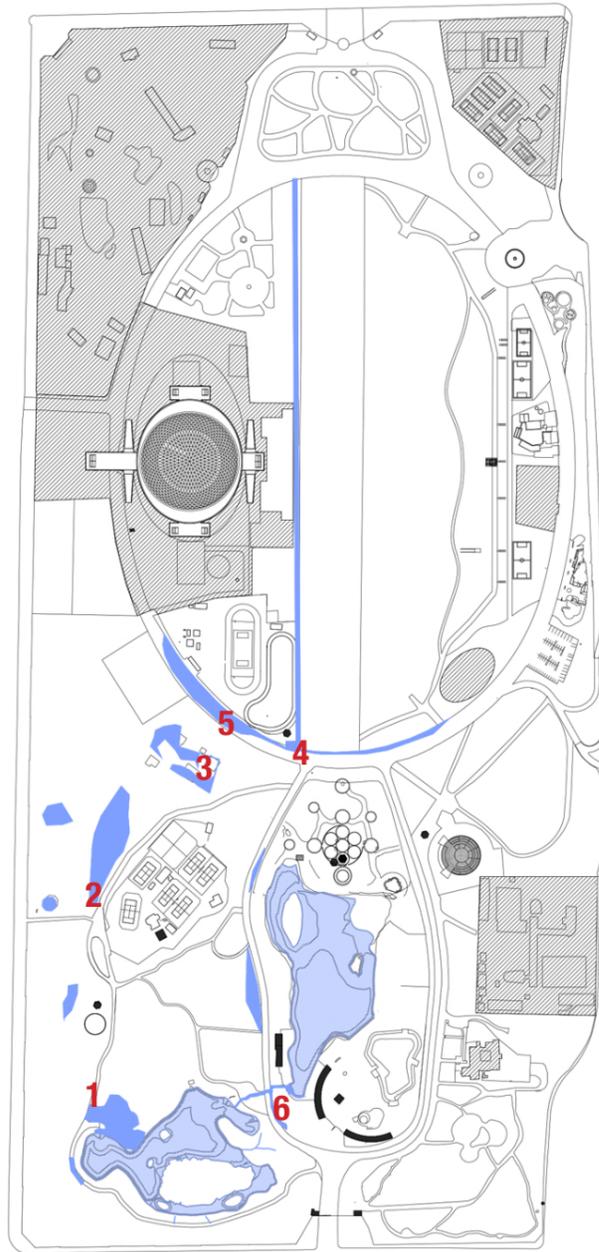


Imagen 41
Esquemas de zonas de inundación en el parque¹

¹ Relacionar los números del plano con las imágenes de la página 54 y 55.

Retomando el problema planteado a grueso modo anteriormente, la principal preocupación tiene que ver con el mal funcionamiento del método de purificación actual. El agua que se utiliza suministrada por el canal San Miguel, no tenía mayores inconvenientes cuando se utilizaba el riego por tendido, ya que al solo desviar el agua de los canales a los sectores de riego, esta era filtrada por la tierra y el sedimento que el agua traía quedaba en la parte superficial, sirviendo como abono. Pero actualmente al cambiar el sistema de riego por aspersión, esta agua contiene altos niveles de sedimentación lo que dificulta el sistema de riego por aspersión debido a la necesidad de que esta no puede tener ningún tipo de sedimento, lo que hace necesario un sistema de purificación y para su posterior distribución.

La acumulación de este sedimento provoca distintos tipos de problemas llegando a generar incluso desbordes y rebalses no deseados de las lagunas, las cuales tienen la función de acumular el agua purificada. Por otra parte, el sedimento genera el bloqueo de los decantadores que ayudan a purificar el agua, exigiendo una constante mantención en los filtros de los motores de riego que se utilizan para la distribución del agua. Además, durante la época de invierno, existen problemas de inundación en uno de los sectores del parque, (el patinodromo) y rebalses en el sector poniente de la “Laguna del Cerro Chino” (Imagen 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47).



Imagen 42
Inundación zona picnic



Imagen 45
Sistema de evacuación de la explanada colapsado



Imagen 43
Formación de lagunas informales



Imagen 46
Agua de la explanada acumulada en la entrada del patinódromo



Imagen 44
Inundaciones zona de juegos infantiles.



Imagen 47
Zona de conexión subterránea de lagunas colapsadas, generando rebalse de la Laguna del Tibet.

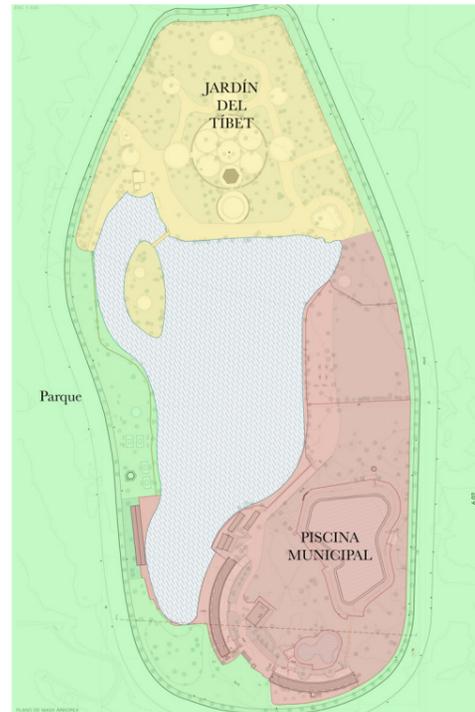


Imagen 48

Plano relación de laguna del Tíbet con el parque



Imagen 49

Plano de laguna del Tíbet y su funcionamiento hídrico y su decantación del sedimento

b. Laguna del Tíbet y sus potencialidades

La laguna del Tíbet, tiene una dimensión de 16.000m² y se ubica en el centro del sector sur del Parque O'Higgins. Hoy en día es un lugar poco aprovechado ya que tiene casi nula relación con el resto del parque. A pesar de su gran tamaño y estratégica ubicación, la laguna se encuentra actualmente con graves falencias en cuanto a la relación con el resto del parque (Imagen 48). En primer lugar, se presenta visualmente aislada a los usuarios del lugar, debido principalmente a los edificios de programas asociados a ella, como lo es la oficina de las bicicletas de agua y lugar de mantenimiento, baños del parque, restaurante, oficinas y el sector de la piscina municipal, los que generan recintos cerrados en todo el borde de la laguna. De esta manera, la laguna más grande del parque queda encajonada y aislada. Esto pone sobre la mesa la posibilidad que entrega en cuanto a sus potencialidades como laguna y espacio clave del parque, y que su replanteamiento respecto a la relación con el contexto sea urgente y necesario.

Por otra parte, originalmente esta laguna tenía la función de recibir las aguas traídas desde el canal San Miguel, sin embargo, el deficiente sistema de purificación del parque ha hecho que el sedimento que traen estas aguas se acumule en la laguna, haciendo que la capacidad de almacenamiento haya disminuido drásticamente con los años. Esto ha repercutido tanto en su profundidad, la que ha variado de 1,75 metros originalmente, a 1-0,5 metros de profundidad en la actualidad, además de disminuir su área (imagen 49). A su vez, esto genera un problema mayor que tiene que ver con la acumulación de sedimentos. Entendiendo que la laguna tiene cada día menor capacidad de almacenaje debido a la acumulación de sedimentos (imagen 50, 51 y 52), pero que la demanda de agua por riego del parque no disminuye, se necesitará permitir el ingreso de agua desde el canal San Miguel un mayor número de veces al año para suplir la demanda de riego, lo que a su vez aumenta la posibilidad de acumular aún más sedimento. Por consiguiente,



Imagen 50
Zona de la laguna del Tibet llena de sedimento



Imagen 51
Agua apozonada, estancada y con basura de la laguna del Tibet



Imagen 52
Imagen que muestra el deterioro de la laguna del Tibet

el problema tenderá a ser cada vez mayor, hasta, eventualmente colapsar la laguna con sedimentos anulando su capacidad de almacenamiento, lo que colapsaría y fracasaría el sistema de agua actual del parque.

Por otra parte, la demanda de agua en época de verano es mayor debido a la sequedad del ambiente y por ende de la vegetación del parque, el cual necesita ser regado con mayor frecuencia. Frente a este problema, la Laguna del Tibet ofrece otra oportunidad de reutilización de agua en torno al sector sur de la laguna, actualmente utilizada por una piscina municipal y sus respectivos camarines. Al ser una piscina al aire libre, es mayormente utilizada en épocas de verano y también así sus camarines, los que podrían llegar a abastecer de grandes volúmenes de agua gris a la laguna, y así, aumentar los ingresos de agua en la época que más se necesita del recurso para el riego del parque.

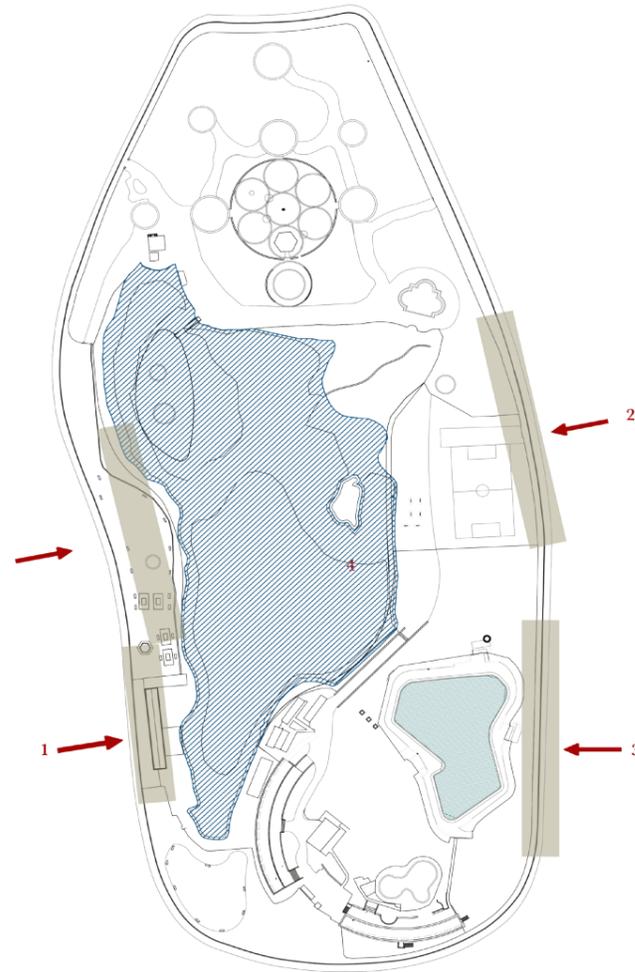


Imagen 53
Imagen que muestra la condición actual de perímetro de la Laguna del Tibet
Color café: zona fotografiada
Flechas rojas: dirección de la toma



1. Vista a Restaurante, casa de botes y baños



2. Vista zona cancha de fútbol



3. Vista a zona de piscina



. Vista borde poniente de la Laguna del Tibet

Imagen 54
Imágenes que muestran la condición actual de perímetro de la Laguna del Tibet

2. INFORMACIÓN SOBRE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA

a. Ley de recolección, re utilización y disposición de aguas grises

(Legislación Chilena, 2018)

Para comenzar con la investigación en cuanto al uso y la reutilización del agua en Chile, es necesario contextualizar y analizar la legislación actual existente en el país que explica y aclara ciertas definiciones, prohibiciones y usos permitidos respecto al tratamiento de aguas.

En Chile, la ley n° 21075 está vigente desde Febrero del 2018, la que establece y regula los sistemas de recolección, reutilización y disposición de las aguas grises, aplicable tanto a zonas rurales como urbanas.

En primer lugar, el Artículo 2 de la ley comienza definiendo ciertos elementos que serán de utilidad para comprender su totalidad:

¿Cuáles son los tipos de aguas residuales?

Existen 3 tipos de aguas residuales:

- 1.- **Aguas grises:** Aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.
- 2.- **Aguas negras:** Aguas residuales que contienen excretas.
- 3.- **Aguas servidas domésticas:** Aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuestas por aguas grises y aguas negras.

Para el caso del Parque O'Higgins, es necesario definir su clasificación dentro de la ley, el cual es catalogado dentro de esta como “*sistemas de interés público*”. Estos son aquellos que satisfacen un interés de esta especie por servir al riego de áreas verdes, parques o centros deportivos públicos, admitidos por el instrumento de planificación territorial aplicable y, en su caso, por el proyecto de urbanización. Asimismo, deben ser de propiedad o administración municipal, del Servicio de Vivienda y Urbanización o de cualquier otro órgano de la Administración del Estado. También tendrán el carácter de *sistemas de interés público* aquellos cuya finalidad sea la recolección, tratamiento y reutilización de aguas grises generadas por establecimientos educacionales públicos o en que las aguas grises tratadas se destinen al riego o a cualquier otro destino autorizado que beneficie a un establecimiento educacional público.

¿Cuál es el destino que se le puede dar a las aguas grises tratadas?

En el Artículo 8 se indican los posibles destinos que se les puede dar a las aguas grises:

- 1.- *Urbanos*: En esta categoría se incluyen el riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios.
- 2.- *Recreativos*. Riego de áreas verdes públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público.
- 3.- *Ornamentales*. Áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público.
- 4.- *Industriales*. En todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos.
- 5.- *Ambientales*. Incluye el riego de especies reforestadas, la mantención de humedales y todo otro uso que contribuya a la conservación y sustentabilidad ambiental.”

¿En qué sectores se pretende incentivar la implementación de estos sistemas de recolección, tratamiento y reutilización de aguas grises?

La ley chilena evidencia el impulso que se le pretende dar a la implementación de los sistemas, en la habilitación de servicios públicos, construcción de establecimientos educacionales, proyectos de conjuntos de viviendas, terminales de buses urbanos, rurales y suburbanos.

¿Existe algún incentivo en educar y concientizar sobre la reutilización de este recurso?

Por parte de las autoridades se pretende elaborar *programas educativos* y de *capacitación* sobre el sistema de reutilización de aguas grises, así como diseñar e implementar *estrategias de comunicación y sensibilización* en la materia debido a la importancia que requiere el tema hoy en día a nivel mundial y nacional.

Pero, ¿existen límites para el uso del agua gris tratada?

El Artículo 9 prohíbe la reutilización de aguas grises tratadas para los siguientes usos:

- *Consumo humano* y servicios de provisión de agua potable
- Procesos productivos de la *industria alimenticia*.
- Uso en *establecimientos de salud* en general.
- *Cultivo acuícola* de moluscos filtradores.
- Uso en *piletas, piscinas y balnearios*.
- Uso en *torres de refrigeración y condensadores evaporativos*.
- Uso en *fuentes o piletas ornamentales* con riesgo de *contacto del agua con las personas*.

Esta investigación expone y se rige bajo la nueva ley chilena de recolección, reutilización y disposición de aguas grises, bajo sus posibilidades y limitaciones.

b. Tratamientos para la purificación del agua

i. Tratamientos para la purificación del agua gris

Luego de entender la situación legal sobre los sistemas de recolección, reutilización y distribución de aguas en Chile, se revisan maneras existentes hoy en día de depurar aguas residuales urbanas (imagen 55). El Manual, (“Manual de depuración de aguas residuales urbanas”) fue publicado por el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) el año 2008 y tiene como objetivo básico “aportar la información necesaria sobre los fundamentos, parámetros de diseño, características constructivas, labores de explotación y mantenimiento y sobre los rendimientos que alcanzan las distintas tecnologías no convencionales existentes, para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas” (CENTA, 2008).

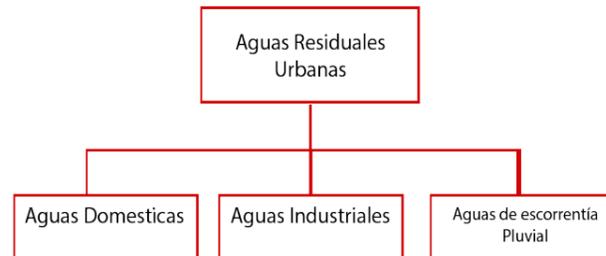


Imagen 55
Clasificación de aguas residuales urbanas

Tal como se muestra en el esquema conceptual de la imagen 56, los fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales urbanas consisten en cuatro etapas: recogida y conducción de las aguas residuales hasta la estación de tratamiento, tratamiento propiamente dicho de las aguas residuales, la acumulación de los efluentes depurados y finalmente, la acumulación y evacuación de los residuos del tratamiento.

Con respecto a la segunda etapa, es decir, el proceso de tratamiento, incluye procesos físicos, químicos y biológicos o la combinación de estos. Esta etapa, a su vez, se subdivide en cuatro etapas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (imagen 56). Paralelamente en este proceso, existen dos líneas de tratamiento: la llamada “línea de agua”, la cual incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales y la “línea de lodos”, donde se tratan la mayor parte de los subproductos o residuos que se originan en la línea de agua.

Es importante aclarar, para efectos de esta investigación, que en la etapa de tratamiento existen dos maneras de alcanzar

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
Objetivo Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas	Objetivo Eliminación de materia sedimentable y flotante	Objetivo Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal	Objetivo Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos
Operaciones básicas - Desbaste - Tamizado - Desarenado - Desengrasado	Operaciones básicas - Decantación primaria - Tratamientos fisico-químicos (coagulación-floculación)	Procesos básicos - Degradación bacteriana - Decantación secundaria	Procesos básicos - Floculación - Filtración - Eliminación de N y P - Desinfección
Procesos físicos	Procesos físicos y químicos	Procesos biológicos	Procesos físicos, químicos y biológicos

Imagen 56
Resumen de las distintas etapas en el tratamiento de aguas residuales urbanas

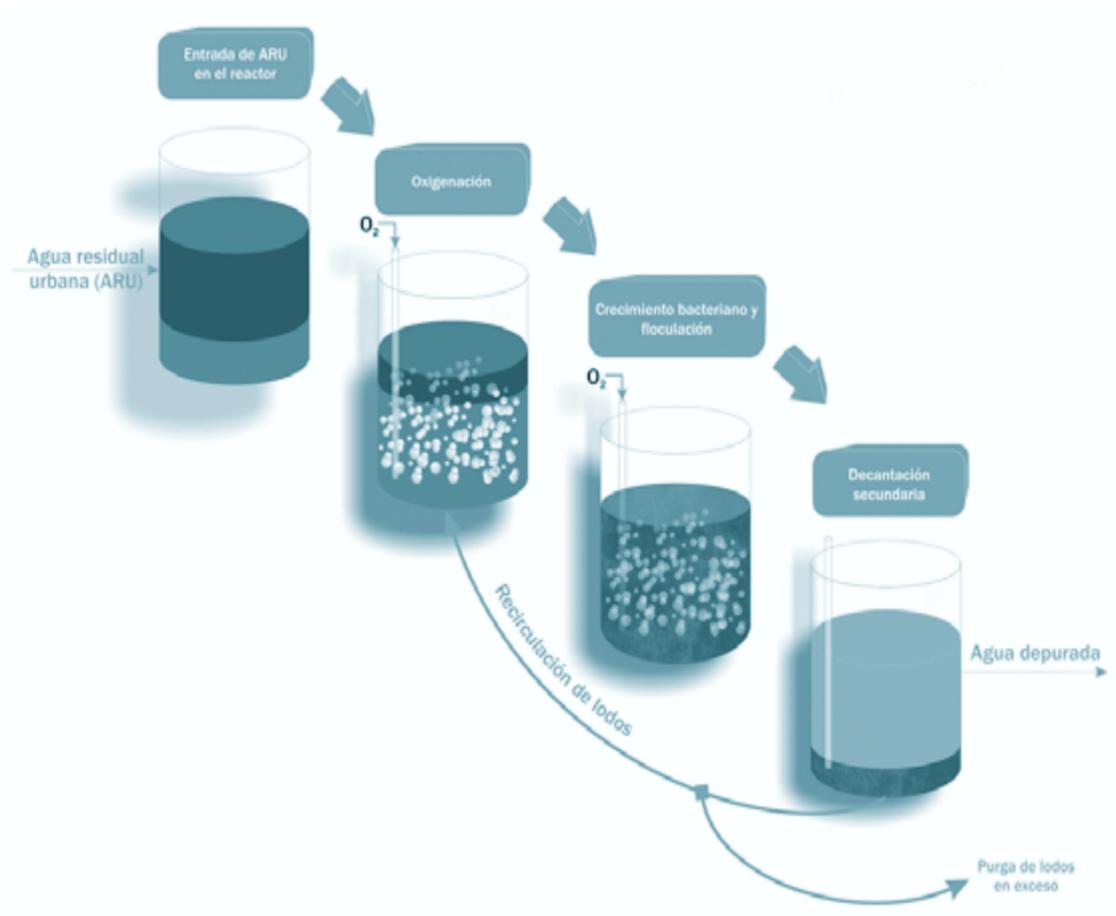


Imagen 57
Esquema básico del tratamiento secundario.

los objetivos de cada etapa: aquella que es conocida como la más convencional, que consiste en plantas mecánicas dotadas de maquinarias especializadas para cada proceso y, por otro lado, los tratamientos alternativos. Estos últimos utilizan las condiciones climáticas, naturales y plantas vegetales para realizar el mismo proceso. Para este caso, se hará especial énfasis y profundidad en las tecnologías no convencionales por razones de contexto, es decir, las tecnologías no convencionales además de ser fácilmente aplicables en un parque, son evidentemente menos invasivas para un programa de parque urbano, es decir, se adecuan al programa de mejor manera que las tecnologías convencionales recién descritas.

Volviendo a las etapas y aplicando tanto para la manera convencional o alternativa, la etapa de pre-tratamiento tiene como objetivo principal la eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas, a través de operaciones físicas y mecánicas.

La etapa siguiente, es decir, la etapa de “tratamiento primario” tiene como objetivo la eliminación de materia sedimentable y flotante, es decir, de sólidos en suspensión. En este se utilizan procesos físicos y químicos. Uno de los procesos es la decantación primaria, que consisten en la eliminación de sólidos sedimentables por la gravedad, y otro consiste en un proceso físico-químico como la coagulación y floculación.

Luego, el “tratamiento secundario” tiene como objetivo principal la eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal, a través de un proceso biológico, como la degradación bacteriana y la decantación secundaria (imagen 57).

Finalmente, el “tratamiento terciario” tiene como objetivo la eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos en el agua, a través de procesos físicos, químicos y biológicos. En relación a la desinfección de los efluentes depurados, se utiliza, además del cloro, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos,

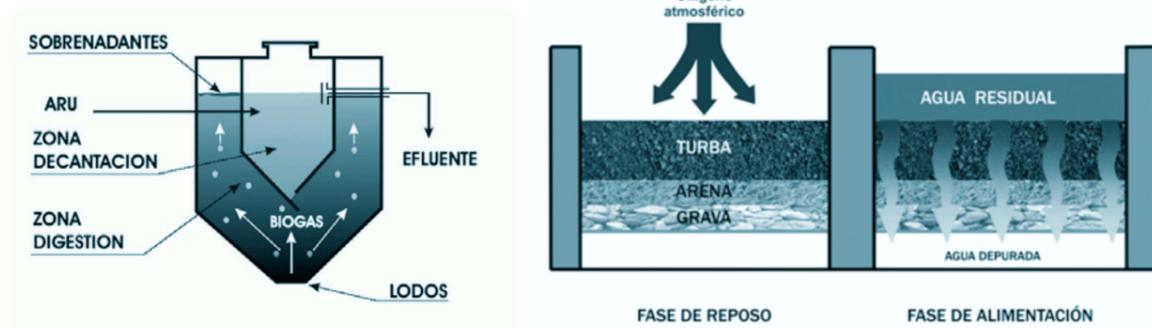


Imagen 58-59
Esquema de funcionamiento de los filtros de turba.



Imagen 60-61-62
lagunas anaerobias (primaria), facultativas (secundario) y laguna de maduración (terciario)

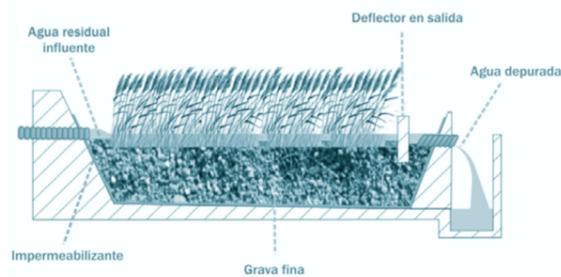


Imagen 63
Corte longitudinal de un humedal artificial de flujo superficial.

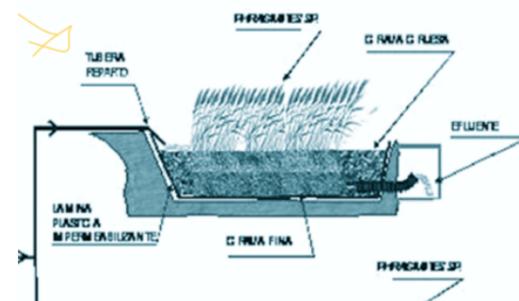


Imagen 64
Esquema funcionamiento de HAFSs horizontal.

tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el empleo de membranas.

Tecnologías no convencionales de tratamiento de aguas residuales urbanas

Este sub-capítulo pretende explicar más detalladamente las tecnologías no-convencionales de depuración de aguas urbanas de interés para este estudio, recientemente descritas en el capítulo anterior de manera general. Bajo la denominación “tecnologías no convencionales” se pueden distinguir tres opciones: los llamados “Filtros de Turba”, “Lagunaje” y los “Humedales Artificiales”.

En primer lugar, la alternativa de “Filtros de turba”, se basan en la filtración de las aguas a tratar a través de un carbón natural y su función es eliminar sólidos en suspensión. En la superficie de los filtros que se dejan en reposo se va formando una costra que se seca rápidamente. Una vez seca esta costra, se procede a su eliminación por rastrillado (imagen 58-59).

En segundo lugar, se encuentra el proceso de “Lagunaje”. Este proceso, tal como indica el nombre, consiste en lagunas que intentan imitar los procesos naturales de depuración que se dan en ríos y lagos. En el lagunaje, el agua residual a tratar (que ha sido sometida previamente a los procesos de pretratamiento) se hace pasar por un conjunto de balsas dispuestas en serie y de profundidad decreciente, en las que se dan, de forma consecutiva, condiciones anaerobias y aerobias (imagen 60-61-62).

Existen distintos tipos de lagunas dispuestas en serie que se conocen como anaerobias, facultativas y de maduración. Se aconseja la puesta en servicio de las estaciones de lagunaje en primavera-verano, dado que las mayores temperaturas acortan los tiempos necesarios de aclimatación de las distintas etapas constitutivas del proceso de depuración.

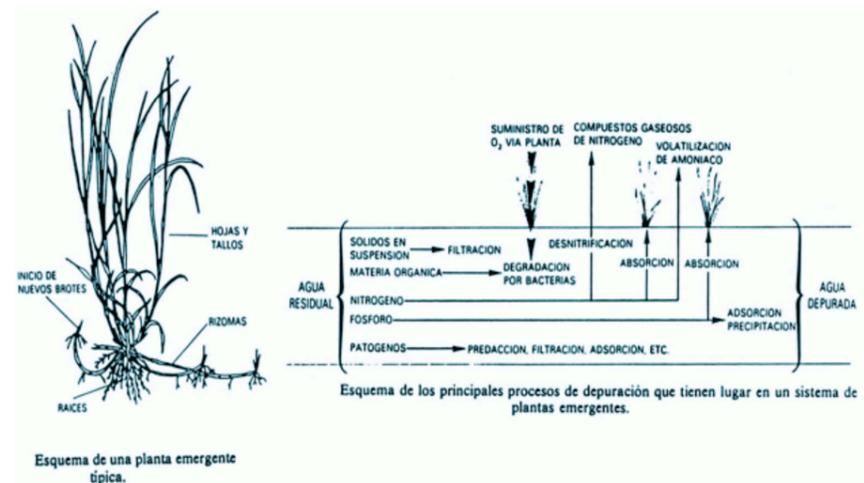


Imagen 65
Principal proceso de depuración que tienen los humedales.



Imagen 66
Detalle raíz planta de humedal (planta de carrizo).



Imagen 67
Detalle Planta de carrizo, característica de los humedales.

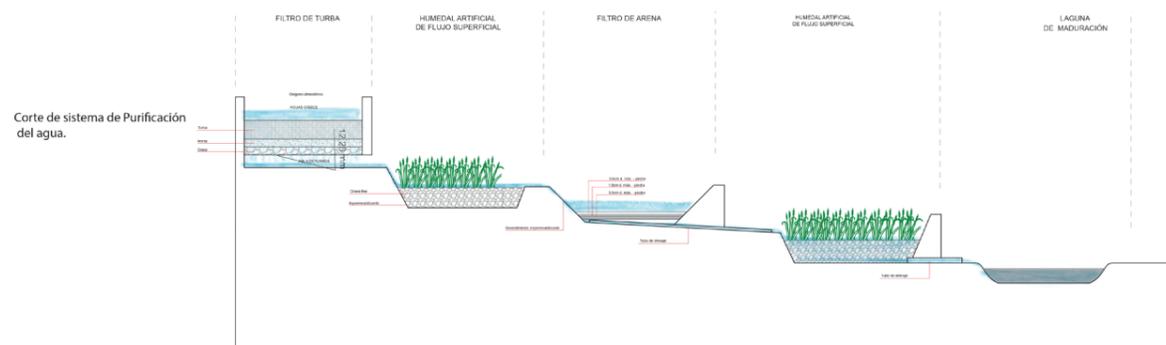


Imagen 68
Esquema conectado de tratamientos no-conventionales.

Finalmente, como último método alternativo para la purificación de aguas residuales urbanas, se encuentran los “humedales artificiales” en sus distintas modalidades: flujo libre o superficial y flujo sub-superficial (vertical y horizontal) (imagen 63-64).

En estos, se debe impermeabilizar su fondo y es importante la posterior elección de las plantas que van a tratar las aguas. Estas plantas, deben tener la cualidad de tratar procesos físicos, biológicos y químicos, que dan lugar a efluentes finales depurados (Imagen 65). La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un ecosistema complejo, en el que los principales actores son: el sustrato y la vegetación.

El sustrato sirve de soporte a la vegetación, y permite la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula) que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.

La vegetación (macrófitas) contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y en la que también tiene lugar el desarrollo de la biopelícula.

El agua a tratar circula a través del sustrato y de la vegetación. Se usan plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), plantas anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo (imagen 66 y 67). Estas plantas presentan una elevada productividad, ya que una hectárea de humedal tiene una productividad equivalente a 50-70 toneladas de materia seca cada año.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, los humedales se clasifican en dos categorías:

1. Humedales artificiales de flujo superficial (HAFs): Forma parte de los tratamientos secundarios de la depuración del agua. En él se retiene los sedimentos a través de los tallos de las plantas

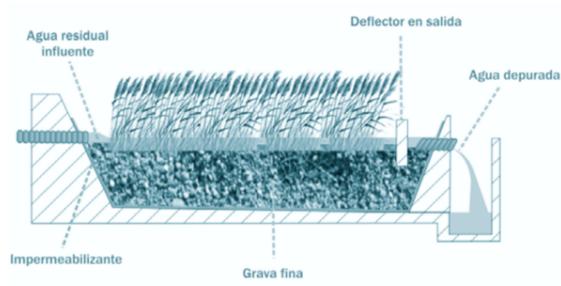


Imagen 69
Corte longitudinal de un humedal artificial de flujo superficial.

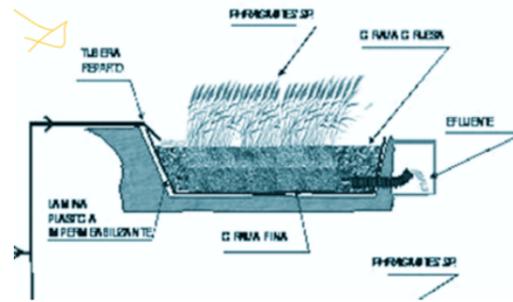


Imagen 70
Esquema funcionamiento de HAFSs horizontal.

(imagen 43).

2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFss): Son instalaciones de menor tamaño que los de flujo superficial y tienen ciertas ventajas con respecto a ellos, ya que necesitan menos superficie de terreno, lo que evita los problemas de aparición de olores y de mosquitos, además de responder de mejor manera ante los descensos de la temperatura ambiente. Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los HAFss se clasifican en verticales y horizontales. (imagen 69).

En los HAFSs horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente sobre un sustrato filtrante de gravillas y grava, de unos 0,6 metros de espesor, en el que se fija la vegetación (imagen 70).

En base al análisis, entendimiento y clasificación de la información técnica otorgada por el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua en cuanto a la depuración de aguas residuales urbanas (imagen 71), se pretende trabajar con el sistema de purificación no convencional a partir de humedales, ya que en primer lugar, se utilizan menos recursos para su implementación, lo cual es atractivo desde el punto de vista económico y más aún al estar tratando con una Municipalidad que tiene recursos limitados y muchas necesidades que cubrir. En segundo lugar, al trabajar con un parque, en este caso con el Parque O'Higgins, existe el espacio adecuado para la instalación de este tipo de procesos, siendo los humedales el proceso no convencional más adecuados para esto, ya que es el que interviene de manera más sutil en el paisaje y ayuda a cuidar y preservar la flora y fauna local, objetivo primordial para la Municipalidad y administración del parque.

TRATAMIENTOS NO CONVENCIONALES DE PURIFICACIÓN DE AGUA

	TIPO	SUPERFICIE	MANTENCIÓN	MANO DE OBRA	TIEMPO	COSTO	INTEGRACIÓN AMBIENTAL
FILTRO DE TURBA	Primario	Baja	Alta	Alta	Horas	Alto	Mala
	Secundario						
LAGUNAJE	Primarias	Alta	Baja	Baja	Días	Bajo	Buena
	Secundarias						
	Terciarias						
HUMEDALES ARTIFICIALES	Primarias	Media	Media	Media	Días	Medio	Buena
	Secundarias						

Imagen 71
Tabla comparativa de los distintos tratamientos no convencionales.

ii. Tratamientos para purificación de agua con sedimento

Manual de diseño de obras Hidráulicas

Para el caso de la purificación del agua con sedimento que traen las aguas del parque O'Higgins, se ha decidido trabajar con las lagunas de decantación. Esto, debido a que, en primer lugar, el agua del parque no contiene bacterias u otros organismos patógenos, por lo que solamente se buscará eliminar el sedimento, a diferencia del sistema de lagunaje recién descrito que además de eliminar el sedimento intenta eliminar agentes patógenos del agua. Por otra parte, este sistema no requiere de grandes mantenencias por lo que el costo para la Municipalidad se reduce. Es por esto que este sub-capítulo profundiza en las lagunas de decantación de agua. A grandes rasgos, los sedimentadores son estanques destinados a remover por gravedad las partículas finas que el flujo de agua transporta en suspensión o como arrastre de fondo, y están formados por una serie de elementos básicos cuya disposición general se ilustra en la imagen (72)

El “Manual de diseño de obras Hidráulicas” , realizado por el ingeniero hidráulico Bonifacio Fernández y equipo, profundiza en los tratamientos de purificación de agua. Para efectos de esta investigación, el capítulo 6.4.3: “Estanques de retención superficiales” resulta de especial interés y utilidad ya que señala cómo debe ser el diseño de los sedimentadores a partir del material a sedimentar y también a los requerimientos básicos de diseño de estos elementos. (imagen 73, 74)

Según el manual, las mantenencias periódicas son operaciones claves para que los estanques de sedimentación operen adecuadamente. Estas consisten en retirar los sedimentos atrapados para restituir el volumen útil del sedimentador. Parte de los requisitos para la mantención es la existencia de “*accesos para vehículos que permitan llegar al fondo de la zona del desarenador y al elemento de descarga. Las pendientes máximas de estos accesos no deben ser superiores al 8%. Cuando sea posible, se puede proveer de acceso pavimentados, o*

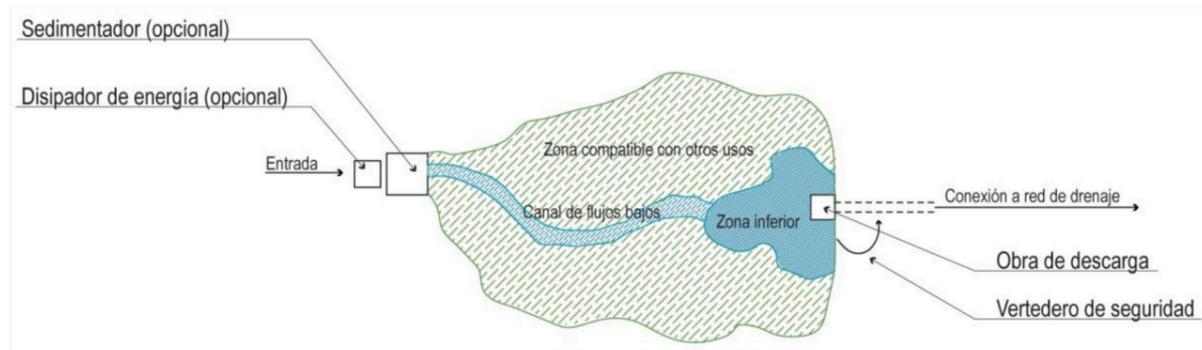


Imagen 72
Esquema de los elementos principales de un estanque de retención

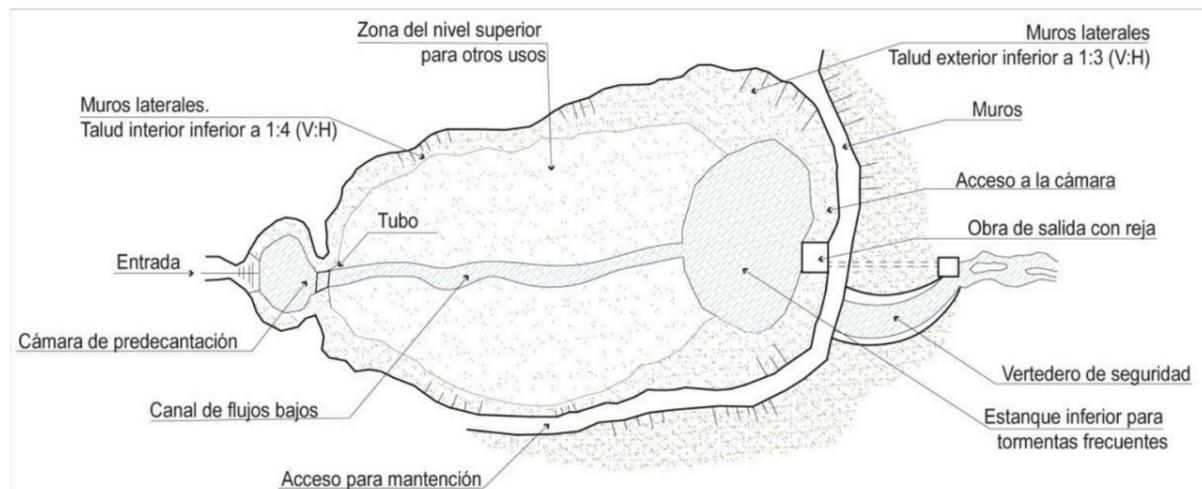


imagen 73
Disposición en planta de los elementos típicos de un estanque de retención.

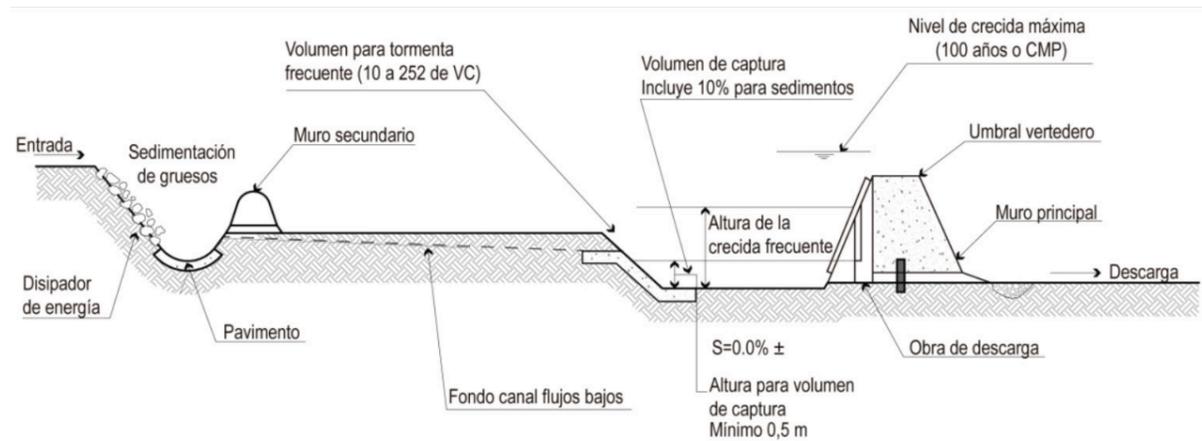


imagen 74
Elementos en el perfil longitudinal del estanque.



imagen 75
Esquema de los elementos de un sedimentador convencional.

Díámetro (mm)	Velocidad de Sedimentación (cm/s)	Velocidad de Arrastre (cm/s)
1,0	15,0	60
0,5	7,2	42
0,3	4,0	32
0,1	0,7	20
0,05	0,15	10
0,01	0,01	5
0,005	0,0015	1

imagen 76
Velocidad de sedimentación y de arrastre de partículas de arena. Fuente: MINVU (1996).

asfaltados y si no al menos estabilizados con grava o maicillo” (Fernández, 2013).

Por otra parte, la Norma Chilena Nch 1367 sobre “Desarenadores y Sedimentadores Simples para Plantas de Tratamiento de Agua Potable”, califica estos aparatos según el diámetro de las partículas que logra remover. Son llamados “desarenadores si están destinados a remover el 75% de las partículas de diámetro igual o mayor que 0,2 mm, y como sedimentadores los destinados a remover del 60% al 80% de los sólidos en suspensión” (Fernández, 2013).

Además, la velocidad de sedimentación de las partículas puede determinarse en laboratorio en base a una muestra del material en suspensión. Para el caso de partículas de arena existen mediciones y ecuaciones que explican la velocidad de sedimentación en función de las propiedades de las partículas. Como referencia pueden considerarse los valores de la tabla (imagen 76).

Para ello se define el tiempo de retención del sedimentador como la razón entre el volumen y el caudal que recibe. El volumen se estima como el área en planta, A en m², por la altura media, H en metros, de manera que el tiempo de retención está dado por:

$$t_R = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}} = \frac{A \cdot H}{Q}$$

Donde Q es el caudal de diseño en m³/s.

Finalmente, esta ecuación permite diseñar el estanque de sedimentación según el caudal del canal y el tamaño de las partículas a decantar.

Por otro lado, la imagen 75 muestra un esquema en planta de los elementos que deben considerarse en el diseño de un estanque de retención y la relación que cumplen entre ellos, y en la imagen 77 se muestra un perfil que permite apreciar los niveles

de cada elemento en relación a las principales dimensiones del estanque.

Además los esquemas en corte muestran las distintas relaciones que (imagen77 y 78), tanto la laguna como el estanque de sedimentación pueden tener, dependiendo del nivel de o contacto que se quiere tener entre el volumen de agua y el usuario. Por otro lado, los esquemas de corte muestran que a la hora de diseñar es importante considerar una cierta variación de los niveles según las posibles crecidas del agua, además de considerar un volumen de agua permanente. Es por esto que los primeros 50 centímetros de variación de la laguna, pertenecen a las aguas que se consideran aptas para los distintos usos que se le puede dar en el parque, debido a que estas son las que tienen un mayor grado de pureza.

Toda esta información y parámetros de diseño nutren la investigación para el mejor entendimiento del funcionamiento de los estanques de depuración para un posterior diseño aplicado al caso de estudio.

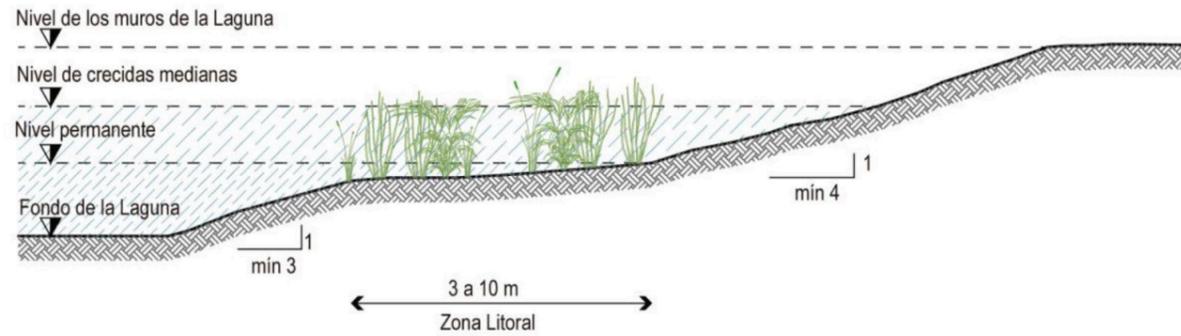


imagen 77
Diseño de un borde natural en sedimentador.

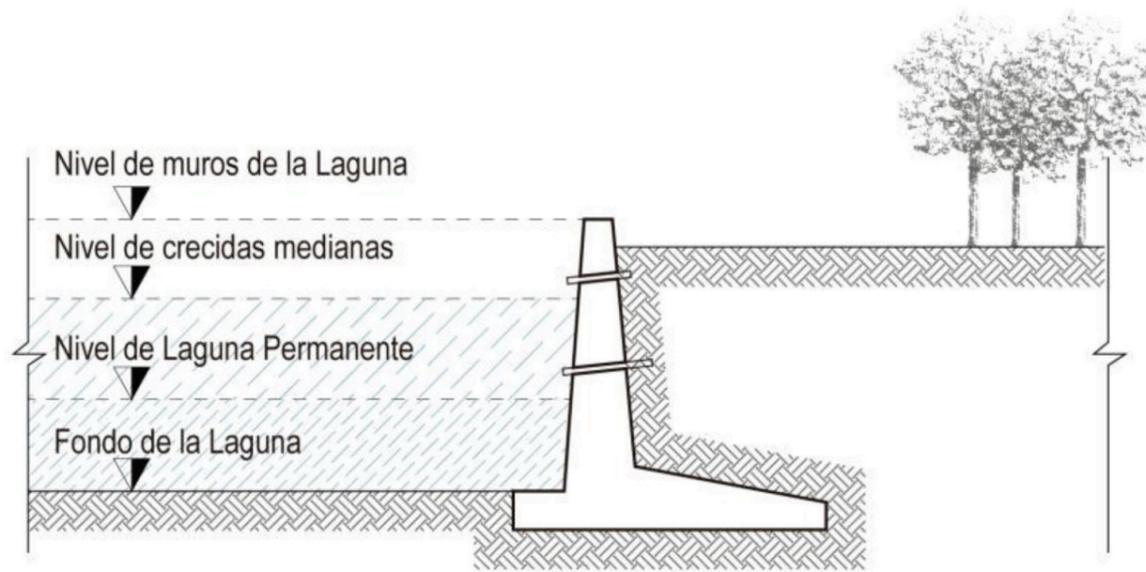
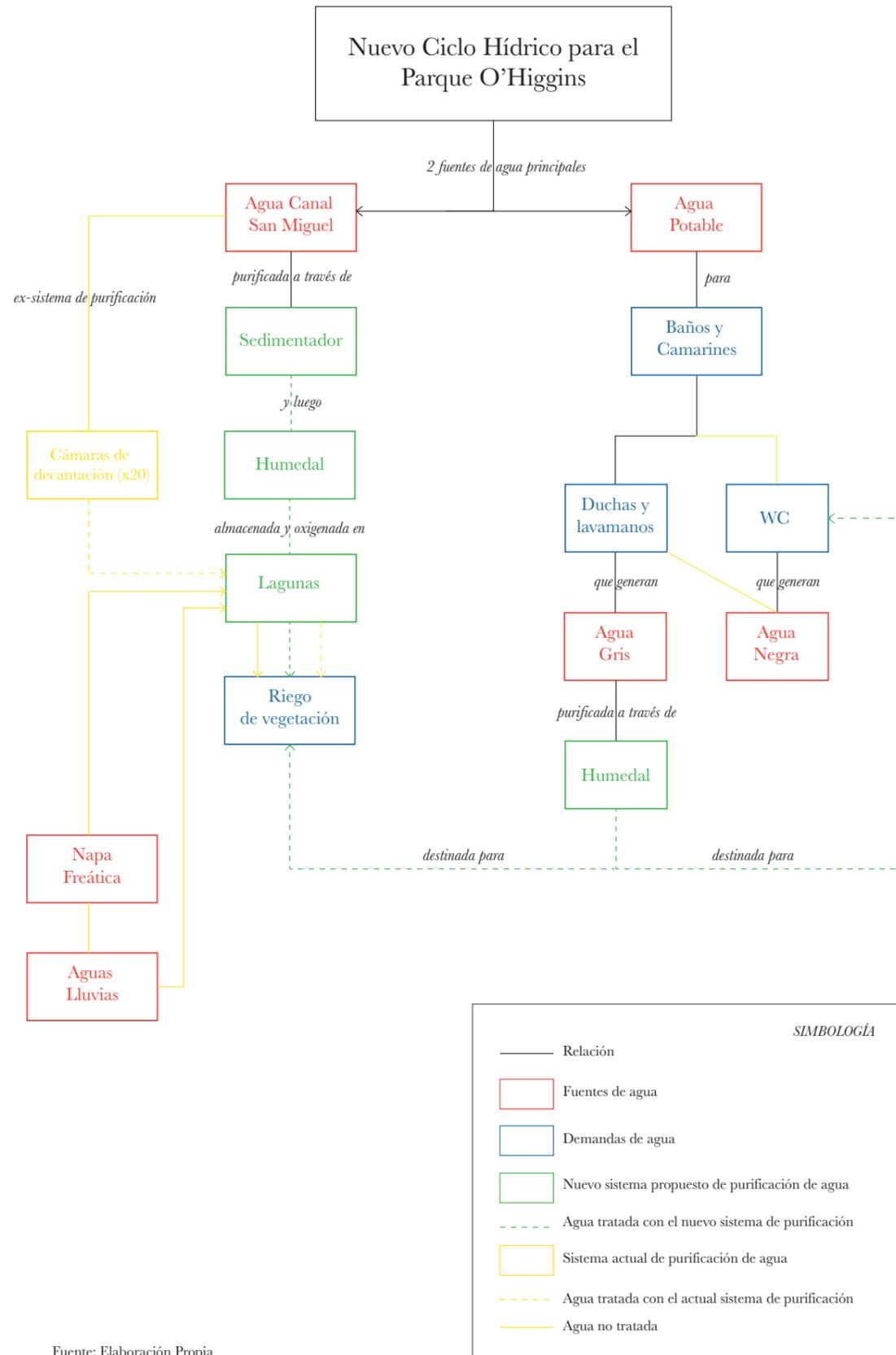


imagen 78
Diseño de un borde duro en un sedimentador.



Fuente: Elaboración Propia

c. Cálculo para dimensionar las distintas etapas del nuevo ciclo hídrico en el parque según su demanda

Este capítulo pretende comprender, a través de cálculos específicos, la cantidad de agua que demanda la vegetación del parque para su riego (en el esquema: el número 1). Al mismo tiempo, entender que las aguas que actualmente se utilizan para riego necesitan ser purificadas y además, identificar las aguas que el mismo sistema desecha (en el esquema: el número 2 y 3), para tratarlas y luego integrarlas al nuevo ciclo de agua. Con estos datos, se determinarán los tamaños tanto del sedimentador (en el esquema: el número 4) como de los humedales (en el esquema: el número 5), procesos encargados de purificar las aguas.

En primer lugar, se llevará a cabo el cálculo de la demanda hídrica de la vegetación de todo el parque, con la finalidad de cuantificar el volumen de agua que se utilizará para riego. A partir de esto, se calculará el volumen de agua a purificar de parte del nuevo sedimentador. Luego, con estos datos, se determinará el tamaño estimado del sedimentador según la demanda de agua a purificar y también según el tamaño de los sedimentos a decantar.

Por otro lado, se calculará el volumen de agua gris generada por los camarines de la piscina municipal. El cálculo se hará según la cantidad de usuarios que visitan este lugar multiplicado por la cantidad promedio de litros usados por persona en la ducha y en el uso de lavamanos (en el esquema: el número 6). Es así como se obtendrá el volumen de agua gris a purificar por el humedal. De esta forma se hará el cálculo del dimensionamiento del humedal y el tiempo de retención para limpiar y finalmente reutilizar esta agua con fines de riego.

Demanda hídrica del Parque O'Higgins

Para el cálculo de la demanda hídrica del Parque, se obtuvo el número de árboles, arbustos y pasto existente (Tabla 3), además de la demanda promedio de cada uno de ellos (Tabla 2). Luego con la demanda hídrica según tipo de vegetación, multiplicada por el número de vegetación, se obtiene la demanda hídrica diaria: **1.285.216 litros** (Tabla 4).

Posteriormente, para saber el volumen de agua que se tiene que extraer del canal San Miguel para abastecer la vegetación del parque, se calcula la demanda hídrica de litros por segundo (Tabla 5), **que es de 14,8 litros por segundo (l/s)** y supera la capacidad actual del canal existente, de una capacidad de **7,5 l/s**.

Después, considerando que la demanda hídrica del parque varía según época del año y sabiendo que el pasto es la vegetación que mas demanda genera, se calcula la demanda de este en el transcurso del año (Tabla 1). De esto se obtuvo la demanda de pasto del parque según cada mes, donde se puede observar que la demanda en la época de enero es aproximadamente siete veces mayor que en la época de julio.

Uso de agua gris

La época de verano es aquella de mayor demanda hídrica del parque, sin embargo es también la época en donde el uso de los baños y camarines es más alto. Es por esto que la reutilización del agua gris generada por esta infraestructura es sumamente útil para abastecer la demanda de riego del parque.

Por ende, para saber cual es el volumen de agua gris que los camarines y baños pueden generar, se calcula el número de visitantes que estas infraestructuras tienen (Tabla 7) (que es de **514 usuarios**) y esto es luego multiplicado por el volumen de agua promedio usado en una ducha y en lavarse las manos (Tabla 8). Esto, multiplicado por los meses de temporada de verano, puede estimar el volumen total de agua gris

1. Litros de agua diario por metro cuadrado de pasto en la zona central de Chile											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7.1	5.8	4.3	2.8	1.2	1.1	0.8	0.9	1.2	2.3	4.4	6.7

Tabla 1

2. Requerimiento Hídrico en el AMS	
Pasto	3.21 litros/m ²
Árboles y Arbustos	1.02 litros/m ²

Tabla 2

3. Cantidad de Área Verde Parque O'Higgins	
Césped	305.044 m ²
Árboles	19.715
Arbustos	88.340

Tabla 3

4. Cálculo Demanda Hídrica diaria en el Parque O'Higgins		
Tipo	Cálculo	Volumen de Agua
Césped	305.044 m ² x 3,21	979.191 litros
Árbol	19.715 x 1,02	20.109 litros
Arbustos	88.340 x 1,02	90.106 litros
	Total	1.285.216 litros

Tabla 4

5. Capacidad necesaria del canal según demanda hídrica	
diaria	1.285.216 m ³
Por hora	53.550 l/h
Por minuto	892 l/m
Por segundo	14,8 l/s

Tabla 5

6. Litros de agua diario por área de césped según mes en el Parque O'Higgins												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
m ² general	7.1	5.8	4.3	2.8	1.2	1.1	0.8	0.9	1.2	2.3	4.4	6.7
Según área P.O'Higgins	2168624	1771552	1313392	855232	366528	335984	244352	274896	366528	702512	1343936	2046448

Tabla 6

Cálculo demanda hídrica Parque O'Higgins

Calculo volumen de agua gris obtenida en camarines según temporada				
	diario	semanal	mensual	temporada
visitantes	514	3.596	14.386	43.158
litros segun cantidad	51.400 ltrs	359.600 ltrs	1.438.600 ltrs	4.315.800 lts.

Tabla 7

Cálculo volumen agua gris en verano

Fuente Tabla 1: Silva Vargas, R. (2003). "El jardín en Chile". El Mercurio Aguilar, Noviembre 2018.

Fuente Tabla 2: Observatorio de Ciudades UC. (Junio 2009). "Proyecciones de Consumo Hídrico en el Jardín Área Metropolitana de Santiago". En Formulación Sello de Eficiencia Hídrica del Paisaje (17p.). El Comendador 1966, Providencia, Santiago.

Fuente Tabla 3: Municipalidad de Santiago. (2016 - 2019). Excel: "Inventario Gral. Parque Higgins y A.A.". Junio 2018.

Fuente Tabla 4: Elaboración propia en base a Silva Vargas, R. (2003). "El jardín en Chile". El Mercurio Aguilar, Noviembre 2018.

Fuente Tabla 5: Elaboración propia

Fuente Tabla 6: Elaboración propia

Fuente Tabla 7: Fuentes: Superintendencia de Servicios Sanitarios / Estudio POLIS para municipalidad de Santiago para el Parque O'Higgins

que es de utilidad para el parque (Tabla 10), que resulta en un volumen de 342.324 litros generados semanalmente.

Dimensionamiento de humedal para sistema de purificación de agua gris

Para el dimensionamiento del humedal, es primero necesario determinar y calcular el agua gris generada por los baños y camarines. En base a la cantidad de usuarios que estimativamente visitan las instalaciones de baños y camarines asociados a la piscina municipal, se calcula la cantidad de litros de agua gris diaria entregada por esta infraestructura (51.400 litros), multiplicando el numero de visitantes diarios por el volumen de agua que se utiliza en duchas y lavamanos convencionales (Tabla 8).

También se calcula la demanda de agua negra generada por los urinarios y WC en las infraestructuras de la piscina (Tabla 9) con un volumen de agua de 11.279 litros. Sin embargo, es sumamente ilógico utilizar agua potable para este tipo de servicios, por lo que se estima conveniente reutilizar parte del agua gris generada por los lavamanos y duchas del mismo sector para WC y urinarios.

Como es posible observar en la Tabla 10, la cantidad de agua gris generada por las duchas y lavamanos es 342.324 litros por semana, que es mayor a la demandada por los WC y urinarios. Es por esto que se destina una parte de esta al servicio de baños y el resto del agua para el riego. Sin embargo, es necesario purificar estas aguas, a través de un sistema de tratamiento con humedales, con el fin de filtrar elementos que puedan obstruir los sistemas de riego o la infraestructura sanitaria.

Para determinar las dimensiones del humedal purificador de aguas grises generadas por duchas y lavamanos, se deciden utilizar dos fuentes distintas para luego compararlas y corroborar los resultados. En primer lugar, se utiliza un estudio realizado por la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), en México en relación al dimensionamiento de humedales de purificación de agua. Por otra parte, se utiliza un documento de Excel (“Agua_Consumo_Captación_Reciclaje”)

Consumo de agua en camarines sector piscina Municipal								
Item	Tipo	Caudal		Tiempo por uso (seg/cargas)	Veces de uso diarias	Días uso por semana	Consumo semanal (L)	
Grifería	Lavamanos	Convencional	0.2	L/seg	30	514	6	18504
	Ducha	Convencional	0.25	L/seg	420	514	6	323820

Tabla 8

Consumo de agua en baños sector piscina Municipal								
Item	Tipo	Caudal		Tiempo por uso (seg/cargas)	Veces de uso diarias	Días uso por semana	Consumo semanal (L)	
Artefactos	WC	Convencional	10	L/descarga	1	1028	6	61680
	Urinario	Convencional	5.6	L/descarga	1	514	6	17270

Tabla 9

Reutilización de agua gris en baños sector Piscina Municipal	
Agua Gris	Consumo semanal (L)
Total generada	342324
Reutilizada en WC	78950
Reutilizada para riego	263374

Tabla 10

Dimensionamiento de Humedal para purificación de agua gris				
Agua	Item	Tipo	Dato	Unidad
	Agua	Agua ingreso	Residencial_Agua gris	170
Consumo agua diario			51400	L
Agua Salida		WC	6	BOD6
		Factor seguridad	1,2	Factor

Sistema	Item	Tipo	Dato	Unidad
	Tratamiento primario	Filtro multicapa	0,51	%Remoción de BOD5
	Tratamiento secundario	Humedal Vertical	0,2	Kr
	Grava utilizada	Arena media	0,3	η (Porosidad efectiva)
	Relación largo/ancho	10:1	10	Factor

Tabla 11

Tamaño de Humedal		
Profundidad sistema	0,7	m
Tiempo de retención	13,2	días
Área Humedal	811,30	m ²
Largo	9,01	m
Ancho	90,07	m

Tabla 12

Dimensionamiento Humedal

Fuente Tabla 8 a 12: elaboración propia a partir de: Vasquez, L. (2018) “Planilla Excel: Agua_consumo_captación_reciclaje”

elaborado por académico de la Pontificia Universidad Católica de Chile, Lucas Vasquez Gimeno, para el posterior ingreso de datos solicitados por el programa. Ambos resultados son luego comparados para ver su veracidad.

En el capítulo 4 del manual anteriormente mencionado para el diseño de humedales, se trabaja con dos fórmulas para determinar dos incógnitas de diseño: la superficie en m² de humedal y el tiempo de retención del agua gris. Por otro lado, ambas fórmulas requieren de datos numéricos tales como el gasto de agua gris a purificar, la profundidad del humedal, la concentración de DBO₅¹ que ingresa y que se espera que salga del humedal. El DBO (demanda biológica de oxígeno), o BDO en inglés (biochemical oxygen demand) es un parámetro que se utiliza para medir los contaminantes básicos y materia orgánica presente en el agua a purificar. Es por esto que se consideran los parámetros de DBO de entrada y salida del humedal. Para el DBO de entrada (C_o) se determina la concentración de DBO presente en el agua gris residencial que equivale a 170 DBO₅, mientras que para la de salida (C_e), se utilizó el parámetro requerido para el agua a utilizar en los WC, debido a que es el caso más desfavorable, que equivale a 6 DBO₅. Por otro lado, el volumen de agua gris a purificar (q) ya fue determinado anteriormente, por lo que es un dato conocido: 51,4 litros diarios. La profundidad del medio (d), es decir, la profundidad del humedal es también un dato conocido: típicamente varían entre 0,5 y 0,75 metros, y para este caso, se determina una profundidad de 0,7m. Por último, para la relación de los vacíos (V) y el coeficiente de tasa de primer orden (k_t), también se utilizan datos conocidos, en este caso se utiliza el valor de 0,32 (V) y 0,8 (k₂₀), en base a una cama de arena ordinaria.

Con estos datos, ya es posible determinar el A_{sf} o la superficie en hectáreas del humedal del proyecto:

$$A_{sf} = \frac{q(\ln C_o - \ln C_e)}{k_t dV(10000)}$$

¹ Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación; normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/l).

Donde:

Asf = Superficie de un SFS, ha;

q = Gasto del agua residual, m³/d;

C0 = Concentración de DBO5 a la ENTRADA, mg/L;

Ce = Concentración de DBO5 a la SALIDA, mg/L;

kt = Coeficiente de tasa de primer orden, días-1;

d = Profundidad del medio, m;

V = Relación de vacíos, fracción;

10000 = Conversión de metros cuadrados (m²) a hectáreas (ha).

$$Asf = \frac{51,4(In170 - In6)}{(0,8)(0,7)(0,32)(10000)}$$

$$Asf = \frac{51,4(3,344)}{1792}$$

$$Asf = \frac{171,88}{1792}$$

$$Asf = 0,09591 \text{ ha}$$

$$Asf = 959 \text{ m}^2$$

Teniendo el área del humedal, podemos luego determinar el tiempo de retención con la siguiente fórmula, y ahora la incógnita es el tiempo (t).

$$A_{fw} = \frac{qt}{10000d}$$

Donde:

Afw = superficie de un FWS, ha;

q= Gasto del agua residual, m³/d;

t= tiempo de retención, días;

d= profundidad, m.

$$0,09591 = (51,4 (t))/(10000 (0,7))$$

$$0,09591 = (51,4 (t))/7000$$

$$(0,09591)(7000) = 51,4(t)$$

$$671,37 = 51,4(t)$$

$$t = 671,37/51,4$$

$$t = 13,06 \text{ días}$$

De esta manera, se determinó el área del humedal y el tiempo de retención necesario.

Estos datos fueron luego comparados con los entregados por el documento excel “Agua_Consumo_Captación_Reciclaje” del profesor Lucas Vásquez Gimeno, lo que entregó datos (Tablas 11 y 12) si bien no exactamente iguales en algunos casos, muy similares, con diferencias despreciables para la etapa de proyecto de Arquitectura. En el caso del excel, se utilizan parámetros similares a los utilizados en las fórmulas del manual anterior para lograr una comparación real de ambos resultados. Estos son basados en información específica tal como cantidad de agua de ingreso, tipo de tratamientos a utilizar, filtro en base a grava y relación largo ancho del humedal. Todos estos parámetros finalmente entregan la información necesaria para dimensionar el humedal tal como la profundidad del sistema, el tiempo de retención, el área total del humedal, largo y ancho.

La comparación de los datos muestra pequeñas diferencias, sin embargo, tal como se dijo anteriormente no resultan determinantes para el proyecto de arquitectura, por lo que se decide utilizar los resultados de mayor valor. Resumiendo:

Área de humedal: **959 m²**

Tiempo de retención: **13,2 días**

Profundidad del humedal: **0,7 metros**

Diseño volumen del Sedimentador

A) Datos:

Caudal Q	0.01m ³ /s
Peso específico (ps)	2.4 g/cm ³
Espejo agua canal (T1)	0.40 m

B) Consideraciones para el diseño Hidráulico:

1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar :

Para sistemas de riego: d= **0.01mm**

2. Cálculo de las dimensiones del tanque:

2.1 Aplicando la teoría de simple sedimentación:

Asumiendo h= **0.6 m**

Cálculo de la longitud del tanque:
 $L = hv/w$ **1.62 m**

Cálculo del ancho del tanque:
 $b = Q/(hv)$ **0.53 m**
Propuesto **2.00 m**

Cálculo del tiempo de sedimentación:
 $t = h/w$ **36.84 seg**

Cálculo del volumen de agua conducido en el tiempo calculado:
 $V = Q \cdot t$ **0.52 m**

3. Cálculo de longitud total del tanque:
 $L_t = L_t + L$ **7.50 m**

Tabla 13

Diseño volumen del Sedimentador

A) Datos:

Caudal Q	0.01m ³ /s
Peso específico (ps)	2.4 g/cm ³
Espejo agua canal (T1)	0.40 m

B) Consideraciones para el diseño Hidráulico:

1. Cálculo del diámetro de las partículas a sedimentar :

Para sistemas de riego: d= **0.005mm**

2. Cálculo de las dimensiones del tanque:

2.1 Aplicando la teoría de simple sedimentación:

Asumiendo h= **0.6 m**

Cálculo de la longitud del tanque:
 $L = hv/w$ **1.60 m**

Cálculo del ancho del tanque:
 $b = Q/(hv)$ **0.75 m**
Propuesto **2.00 m**

Cálculo del tiempo de sedimentación:
 $t = h/w$ **51.35seg**

Cálculo del volumen de agua conducido en el tiempo calculado:
 $V = Q \cdot t$ **0.72 m**

3. Cálculo de longitud total del tanque:
 $L_t = L_t + L$ **7.50 m**

Tabla 14

Dimensionamiento de estanque decantador para sistema de purificación de agua sedimentada

Para el tratamiento de las aguas de las lagunas del parque destinadas para riego, es necesario un estanque decantador, debido a los altos niveles de sedimento que el agua trae consigo.

El dimensionamiento del sedimentador depende de dos factores principales: el caudal de agua y el diámetro de las partículas a decantar (limo, cal y/o estuco). Es por esto que la tabla 13 y 14, muestran los resultados de dimensionamiento del estanque según dos tipos posibles de partículas, lo cual define el tiempo de retención y sus características geométricas mínimas.

El tiempo de retención, como se dijo anteriormente es otro de los factores a considerar. La tabla 15 resume la velocidad de sedimentación y arrastre según el diámetro de la partícula. Para este caso, se tomaron los 2 diámetros más pequeños que representan los casos que requieren un mayor tiempo de decantación, por ende, los más complejos o desfavorables. Finalmente, la tabla 16 resume las tablas anteriores diferenciando el dimensionamiento y el tiempo de retención necesario para decantar.

Finalmente, es importante entender que el agua tratada en el estanque sedimentador necesita ser complementada con el sistema de humedales en la laguna, para su filtración final y así llegar a su estado más puro del sistema y luego ser oxigenada y almacenada en las lagunas.

Velocidad de sedimentación según diámetro del mismo

Diámetro (mm)	Velocidad de Sedimentación (cm/s)	Velocidad de Arrastre (cm/s)
1.0	15,0	60
0.5	7,2	42
0.3	4,0	32
0.1	0,7	20
0.05	0,15	10
0.01	0,01	5
0.005	0,05	1

Tabla 15

Para casos con 0,05mm

	0.05 mm	0.01	0.001
Longitud estanque	7.50 m	7.50 m	7.50 m
Ancho estanque	0.47 m	1.06 m	1.50 m
Profundidad estanque	0.30 m	0.30 m	0.30 m
Tiempo de retención	8.39 seg	18.42 seg	25.67 seg

Tabla 16

Fuente Tabla 13: Fredyao,V. (2013) "diseño desarenador", es.scribd.com.

Fuente Tabla 14: Fredyao,V. (2013) "diseño desarenador", es.scribd.com.

Fuente Tabla 15: MOP(2013). *Capítulo6: "diseño de obras hidráulicas"*, Santiago, Direccion de Obras Hidráulicas

Fuente Tabla 16: Elaboración Propia

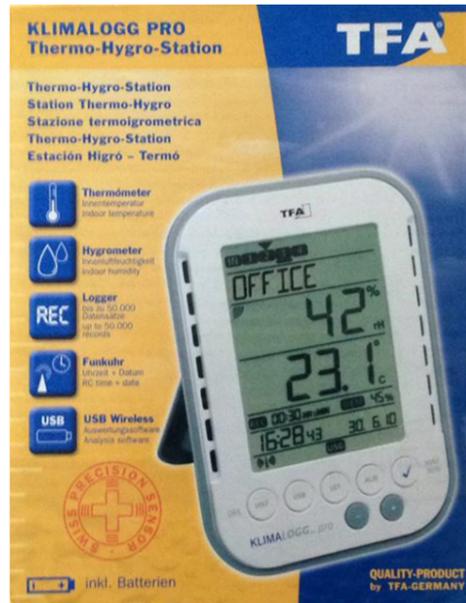


Imagen 79
Caja del Instrumento de medición

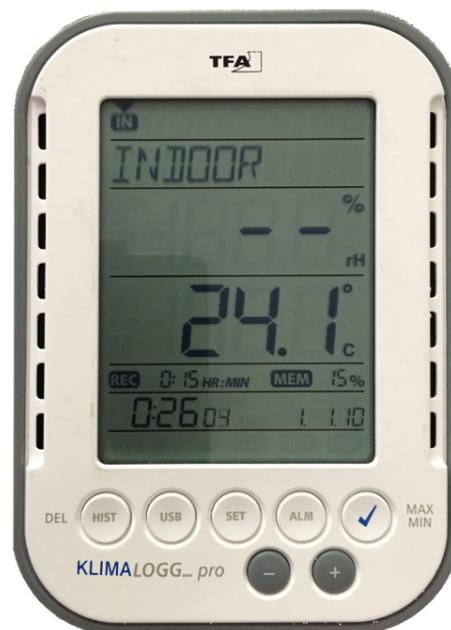


Imagen 80
Instrumento de medición

3. ESTUDIO DE ACONDICIONAMIENTO DE EXTERIORES POR MEDIO DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Estudio y medición llevado a cabo en conjunto con el alumno

Mauricio Alliende Cobarrubias

1. Campaña de levantamiento de registro de datos

i. Instrumento utilizado

El instrumento utilizado corresponde a un termohigrómetro profesional con función de registrador de datos “KLIMALOGG PRO” (imagen xx).

Sus características principales son:

- Monitoreo de temperatura (precisión $\pm 1^\circ \text{C}$)
- Monitoreo de humedad (precisión $\pm 3\%$)
- Indicación del punto de rocío
- Función máxima-mínima
- Hora y fecha de grabación
- Conexión USB
- Baterías 3xAA
- Reloj radiocontrolado con segundos
- Huso horario ± 12 hrs
- Diseño registrado de TFA.

ii. Fechas de las mediciones

Las mediciones se realizaron los días:

- 21 de noviembre 2018: Plaza de la aviación sin agua
- 25 de noviembre 2018: Plaza de la aviación con agua y juegos de agua Parque Renato Poblete
- 28 de noviembre 2018: Parque O'Higgins

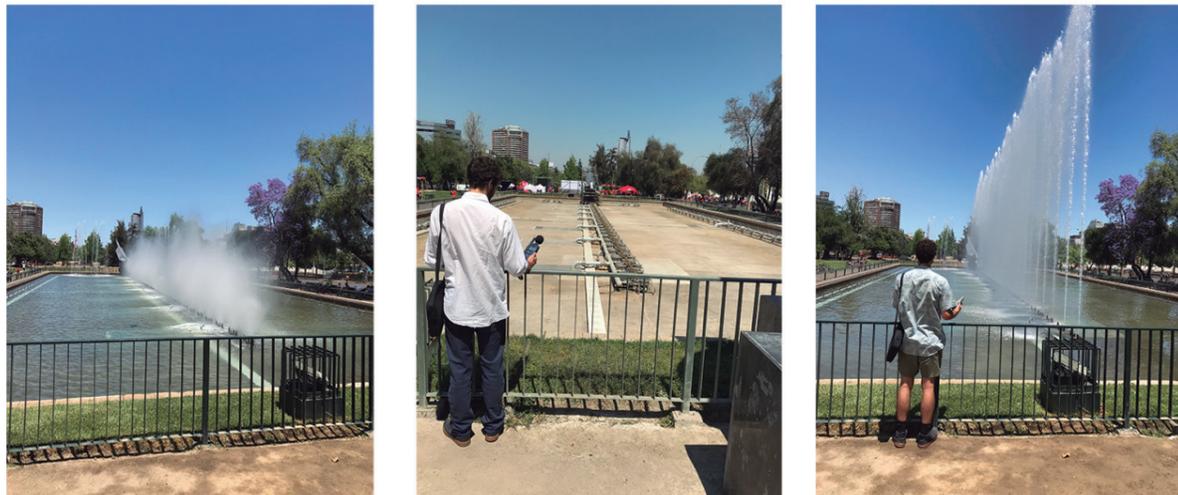


Imagen 81

Casos de estudio, Plaza de la aviación.

Sector izquierdo: Tipo de estado del agua: pulverizado.

Sector central: Tipo de estado del agua: seco.

Sector derecho: Tipo de estado del agua: Chorros de agua.

iii. Cámara de registro utilizada

La cámara utilizada fue de un iPad pro 10.5 pulgadas con una cámara de 12m/px. El registro de fotografía se realizó durante el transcurso de las mediciones de cada día.

Las imágenes registradas de cada medición son:

Medición plaza de la aviación sin agua: imágenes “sector centro imagen 80”

Medición plaza de la aviación con chorros de agua: imágenes “costado derecho imagen 81”

Medición plaza de la aviación con agua pulverizada: imágenes “costado izquierdo imagen 81”

Juegos de agua Parque Renato Poblete: imágenes 82 y 83.

iv. Metodología de medición

La medición fue realizada cada aproximadamente 2-3 minutos por cada punto de medición. Para fijar un sistema similar de medición según distancias y ubicación en cada caso, se decidió ubicar los 4 puntos de medición conforme a los 2 ejes principales de cada referente, además de fijar una distancia inicial de 1 metro de la fuente de agua. Después se llevó a cabo la misma operación, pero a una distancia de 5 metros, seguida por una de 10 metros y finalmente una distancia de 20 metros. Pero en las mediciones que se realizaron en el Parque Renato Poblete, se decidió acortar la distancia de medición en 8 metros en vez de 10 metros, siendo esta la distancia máxima en este caso. Esto con la finalidad de lograr una mayor precisión, debido a que el rango de influencia de los juegos de agua no lograba llegar a los 20 metros de distancia.

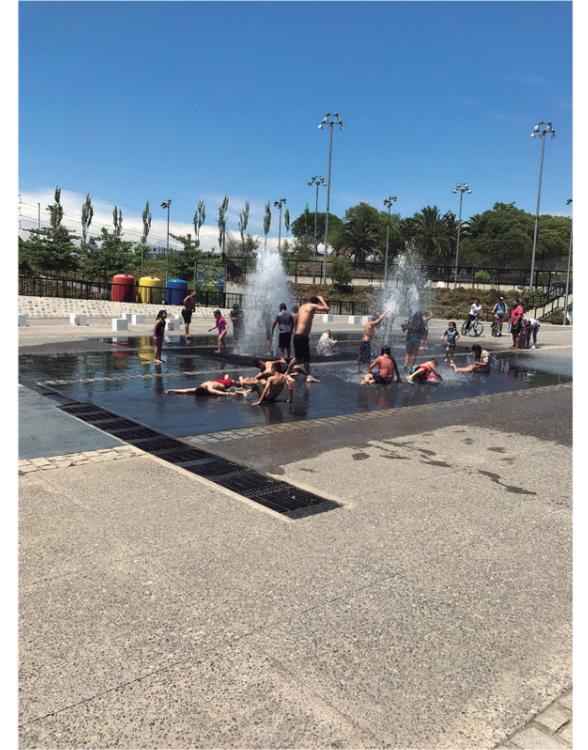


Imagen 82
Juegos de agua Parque Renato Poblete.

Imagen 83
Juegos de agua Parque Renato Poblete.

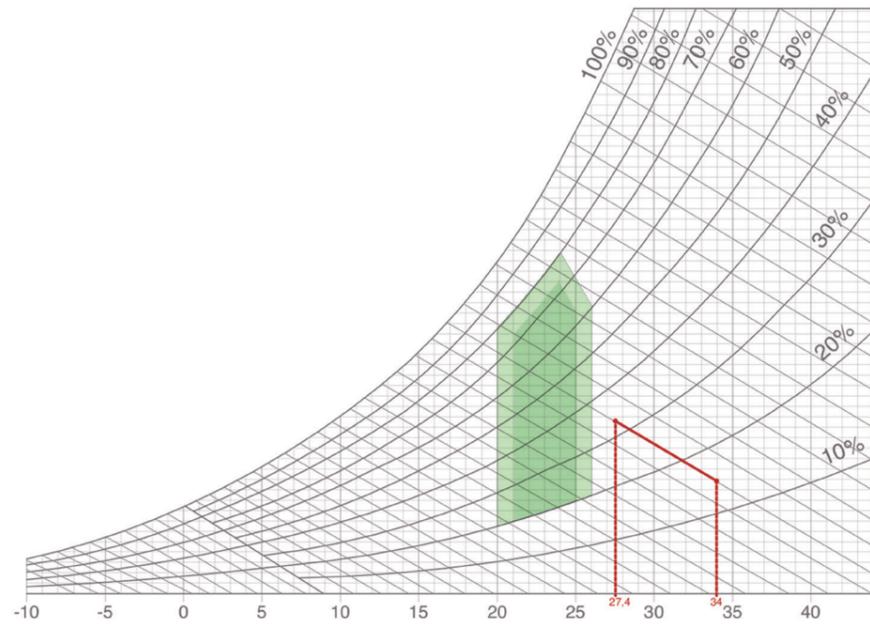


Imagen 84
Tabla psicrometrica.

v. Aplicación de tabla psicrométrica

La tabla psicrométrica, es un gráfico que muestra las propiedades del aire, tales como temperatura, humedad relativa, volumen, presión, etc. Esta se utiliza para determinar cómo afectan y varían estas propiedades al cambiar alguno de estos factores en el aire. Dada la combinación de estos datos se puede saber a qué condiciones de temperatura y humedad se encontrarían ciertas situaciones, tal como confort térmico o disconfort, además de permitir anticipar resultados si se cambia alguno de estos factores. (fuente: Muñoz, Freddy. (03/07/2006). “Uso de tabla psicrométrica en la industria de la madera”, Kurú: Revista Forestal, 3, página 4)

Esta tabla se utilizará para analizar los resultados que obtuvieron una mayor variación según cada situación, con la finalidad de adquirir información sobre su mejoramiento térmico y poder graficar el progreso térmico alcanzado.

vi. Creación de gráficos

Con la finalidad de analizar los resultados obtenidos de cada caso, se realizó un promedio de cada medición según la distancia que este tenía de la fuente de agua. De este promedio, se creó el grafico que indica la humedad y temperatura obtenida según la distancia que se tenía del punto central. Así se logra tener una visión general de rendimiento y poder sacar distintas conclusiones, tal como rango y magnitud de influencia, etc.

vii. Elección de los casos de medición

Para la elección de los distintos casos se eligieron situaciones en donde se podían analizar la magnitud e influencia que el agua podía tener, en los distintos tipos de movimiento, en un espacio exterior. Partiendo con una base de medición de ese lugar sin agua, después como chorro de agua o también como agua pulverizada. Esto con la finalidad de

observar cual es el rango de influencia que esta tiene en la temperatura y humedad de su entorno.

- Plaza de la aviación: Este referente es una plaza ubicada en la comuna de Providencia, en la ciudad de Santiago de Chile. Fue creada alrededor de 1929 por el paisajista austriaco Óscar Prager y posee una capacidad de 550 m³ y 240 chorros de agua (112 pulverizadores, 128 chorros de agua). Esta se midió en distintas ocasiones; primero totalmente seca, es decir sin agua ya que esta se encontraba en mantención. Después se midió con agua, pero esta se encontraba como espejo de agua, es decir, sin movimiento. Después se midió cuando los chorros de agua (de 8 metros de altura) se encontraban en funcionamiento y finalmente se analizó la situación en donde los chorros pulverizados estaban en funcionamiento. Es por esto que este caso nos permite analizar con mayor contraste cómo el agua en distintos estados puede afectar de diferentes maneras en la temperatura y humedad del ambiente.

- Juegos de agua Parque Renato Poblete: Este parque está ubicado en la comuna de Quinta Normal en Santiago de Chile. Fue creado el año 2015 por la oficina de arquitectura “Boza Arquitectos”. En este caso se estudiaron los juegos de agua que se ubican en la entrada principal del parque (estos consideran 4 chorros de agua de aproximadamente 2 metros de altura). Estos juegos presentan una situación distinta a el caso presentado anteriormente, ya que permiten una directa interacción entre el agua y los usuarios del parque.

- Laguna del Tíbet del Parque O'Higgins: Este parque está ubicado en la comuna de Santiago, de la ciudad de Santiago de Chile, y posee una laguna de aproximadamente 16.000 m³ de capacidad (mismo caso de estudio de esta tesis) en donde se implementará el proyecto de arquitectura. Se pretende medir la temperatura y humedad, para así saber cuánto puede afectar el agua en estos espacios y si la proyección de nuevos juegos de agua puede aportar térmicamente en el confort en este sector del parque. De esta manera, se plantea un análisis de distintas situaciones dentro de este levantamiento, en donde se usará la tabla psicrométrica para analizar cuál tiene que ser el incremento de la humedad para poder disminuir la temperatura del sector y así deter-

minar si es necesaria la implementación de estos juegos de agua y cuál sería la estrategia más adecuada.

2. Factores a considerar

i. Enfriamiento evaporativo

“(...) el cambio de fase o de estado físico de una sustancia involucra un intercambio de energía entre dicha sustancia y su entorno. De esta forma el proceso de evaporación del agua demanda energía del aire circundante, lo que se traducirá en un enfriamiento del aire y disminución de la temperatura en el ambiente.” (Fuentes, 2009)

El enfriamiento evaporativo corresponde a una baja de temperatura que es posible registrar en un ambiente debido a un proceso físico de evaporación, en donde a mayor superficie de contacto del agua con el ambiente se genera una disminución de temperatura en este. Si bien este proceso se da de forma natural, también puede ser utilizado como una estrategia intencionada para el acondicionamiento de espacios exteriores e interiores. Estrategias como pulverizar el agua o ponerla en movimiento son algunas de las formas para lograr este efecto en el ambiente. Otros factores que influyen en el enfriamiento evaporativo es la humedad existente en el lugar a intervenir, debido que a menor humedad ambiente hay un mayor potencial de enfriamiento. Al igual que a mayor temperatura, mayor potencial de enfriamiento. Por lo tanto, el clima óptimo para que el enfriamiento evaporativo sea efectivo, son los climas secos y cálidos.

Por esta razón, Santiago se presenta como un escenario óptimo para poner a prueba esta estrategia de climatización, al ser una ciudad que presenta altas temperaturas con una baja humedad relativa en la temporada de verano y medias estaciones.

Sin embargo, existen otros factores que afectan en la percepción térmica de la persona, que no necesariamente son medibles. Es aquí donde entra en juego la sensación térmica.

ii. Sensación térmica

“La sensación térmica es la percepción de mayor calor o frío que siente una persona en su piel cuando se expone a un ambiente con ciertas condiciones especiales de viento o humedad asociadas a la actual temperatura del aire.” (Meteovelez, 2018)

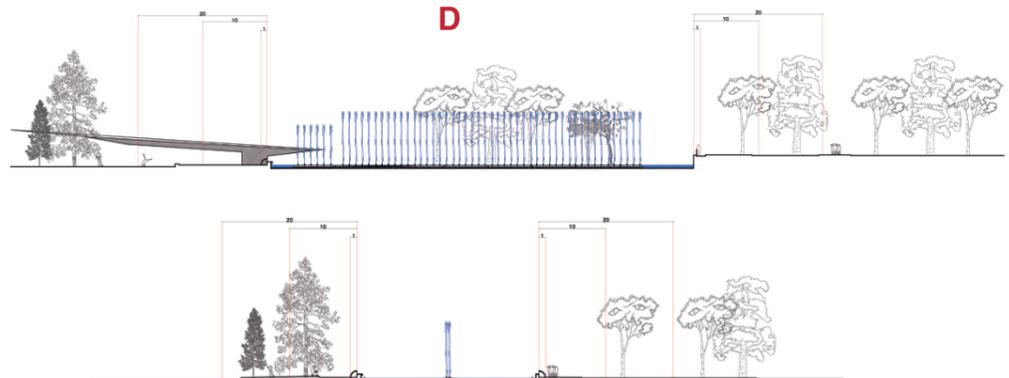
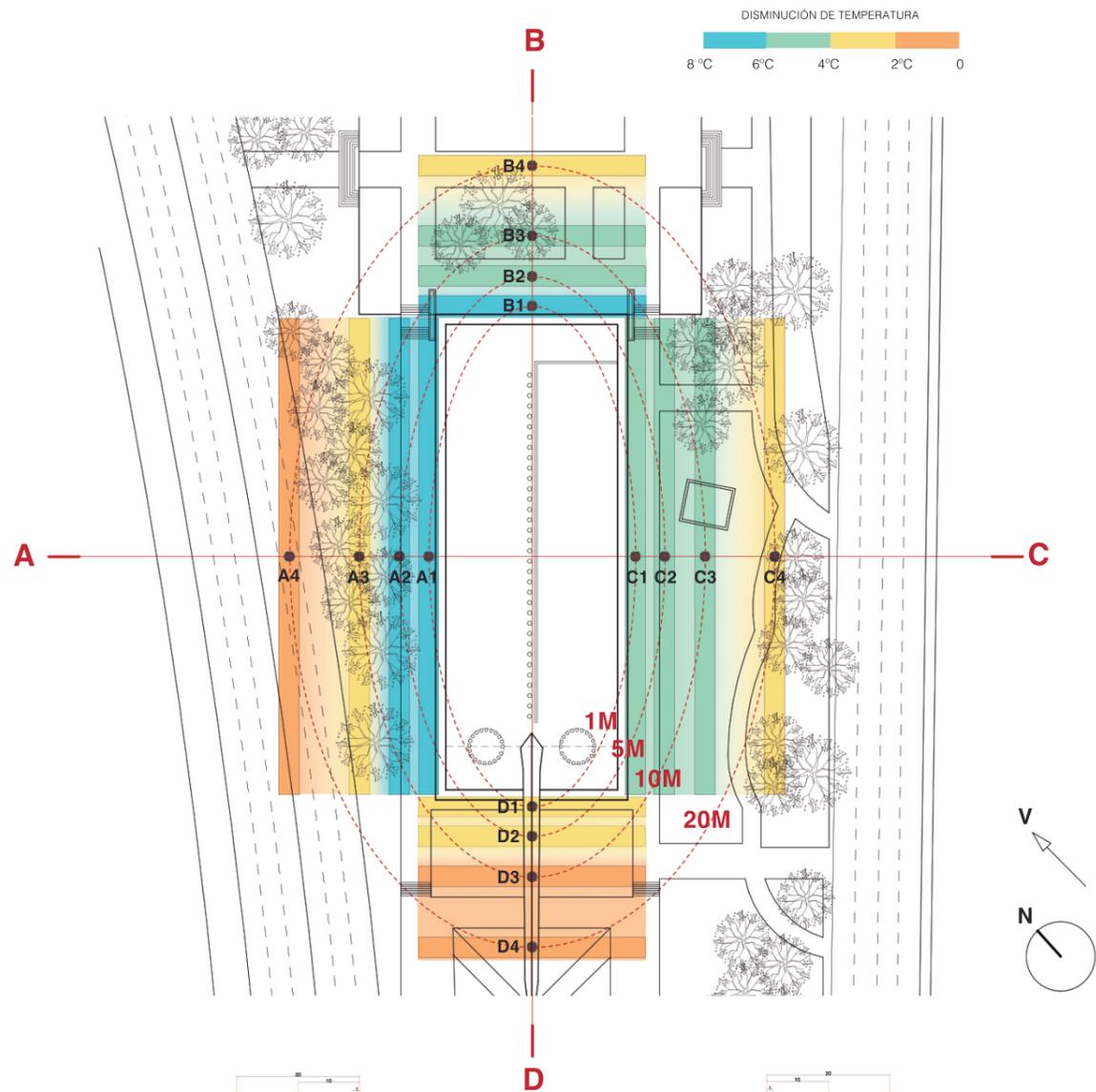
Factores como al agua, viento e irradiación, son factores que afectan directamente sobre la percepción de confort de las personas. En el caso del enfriamiento evaporativo no hay una relación directa entre la temperatura existente y la temperatura percibida, debido a que, al estar el agua en contacto con la piel existe un intercambio térmico que genera una baja de la temperatura percibida, que sumado al viento puede generar una baja aún mayor de la sensación térmica en la persona.

3. Fichas de mediciones

El formato de las fichas coincide en todos casos, es decir, se trabajó con una plantilla base que luego se rellenó con los datos obtenidos. De esta manera, las fichas son comparables de manera rápida y fácil.

Se organizan de la siguiente manera:

- *Sector izquierdo superior*: Planta del caso con simbología de variación de temperatura
- *Sector izquierdo inferior*: Cortes longitudinal y transversal representativos del caso y tabla de mediciones realizadas
- *Sector derecho superior*: Nombre y 3 imágenes del caso, además de 2 gráficos del promedio de la variación de temperatura
- *Sector derecho inferior*: Tabla psicrométrica que muestra el nivel de confort obtenido en el mejor caso medido y un resumen general de las mediciones.



PLAZA DE LA AVIACIÓN													
DISTANCIA	PUNTO DE MEDICIÓN	SIN AGUA 21 de octubre			ESPEJO DE AGUA 25 de Noviembre			CHORROS DE AGUA 25 de Noviembre			ASPERISORES 25 de noviembre		
		Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %
1 METRO	A1	12:26 pm	24,7 °C	14,4 %	13:33 pm	32,3 °C	19%	15:05 pm	25 °C	33%	16:12 pm	28 °C	30%
	B1	12:36 pm	33 °C	11,4 %	13:28 pm	29 °C	19%	14:47 pm	27 °C	35%	15:52 pm	27 °C	40%
	C1	12:45 pm	26,4 °C	12,2 %	13:10 pm	32,8 °C	13%	14:24 pm	28 °C	30%	15:29 pm	27 °C	30%
	D1	12:53 pm	30,2 °C	11,7 %	12:55 pm	31,8 °C	19%	14:08 pm	28,4 °C	21%	15:08 pm	28,4 °C	21%
	A2	12:31 pm	27,8 °C	17 %	13:50 pm	32,3 °C	19%	14:58 pm	29 °C	30%	16:05 pm	27 °C	30%
5 METROS	B2	12:40 pm	29 °C	14 %	13:25 pm	29,4 °C	17%	14:41 pm	28 °C	29%	15:47 pm	27,9 °C	33%
	C2	12:49 pm	30,8 °C	11 %	13:05 pm	33,1 °C	14%	14:18 pm	28 °C	30%	15:24 pm	27,2 °C	32%
	D2	12:54 pm	30,5 °C	15 %	12:52 pm	33,3 °C	14%	14:04 pm	30 °C	18 %	15:04 pm	31 °C	18 %
	A3	13:03 pm	30,7 °C	11,2 %	13:42 pm	33,2 °C	11%	14:58 pm	30 °C	25 %	15:59 pm	30 °C	18 %
	B3	13:10 pm	29,5 °C	10,3 %	13:21 pm	30 °C	15%	14:35 pm	28 °C	20%	15:41 pm	28 °C	20%
10 METROS	C3	13:17 pm	32 °C	18,6 %	13:00 pm	33,3 °C	15%	14:15 pm	29 °C	28%	15:21 pm	28,1 °C	30%
	D3	13:25 pm	31 °C	14,4 %	12:49 pm	32,8 °C	14%	14:01 pm	31,2 °C	11%	15:15 pm	32,6 °C	11%
	A4	13:31 pm	28,7 °C	15,3 %	13:37 pm	33 °C	15%	14:52 pm	33 °C	15 %	15:56 pm	32 °C	15 %
	B4	13:39 pm	31,7 °C	14 %	13:15 pm	33,5 °C	13%	14:29 pm	33 °C	20%	15:35 pm	29,2 °C	28%
	C4	13:55 pm	32,9 °C	13,4 %	12:58 pm	33,5 °C	11%	14:12 pm	30 °C	25%	15:18 pm	30 °C	21%
20 METROS	D4	14:02 pm	24,7 °C	14,9 %	12:35 pm	32,4 °C	15%	13:55 pm	32 °C	11%	15:11 pm	33 °C	11%

PLAZA DE LA AVIACIÓN

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO A TRAVÉS DE CHORROS DE AGUA
ACONDICIONAMIENTO DE ESPACIOS EXTERIORES



DETALLE JUEGOS DE AGUA



CHORROS DE AGUA EN FUNCIONANDO



CONTEXTO DE LOS JUEGOS DE AGUA

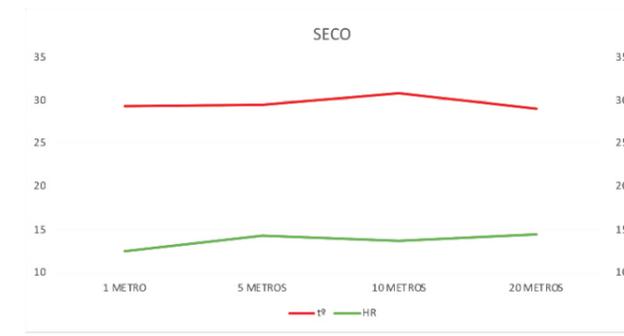


GRAFICO PROMEDIO MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD JUEGOS SECOS



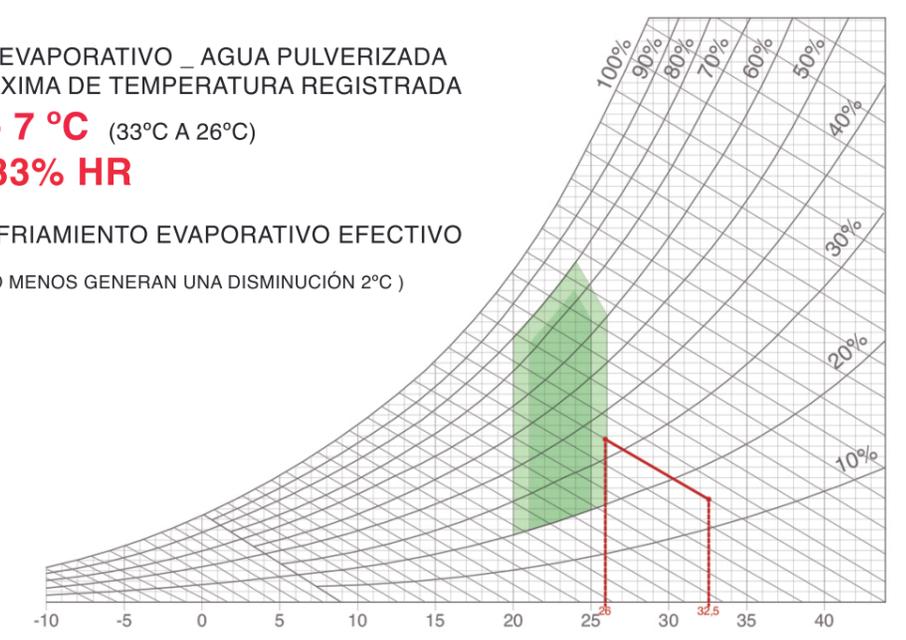
GRAFICO PROMEDIO MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD JUEGOS EN FUNCIONAMIENTO

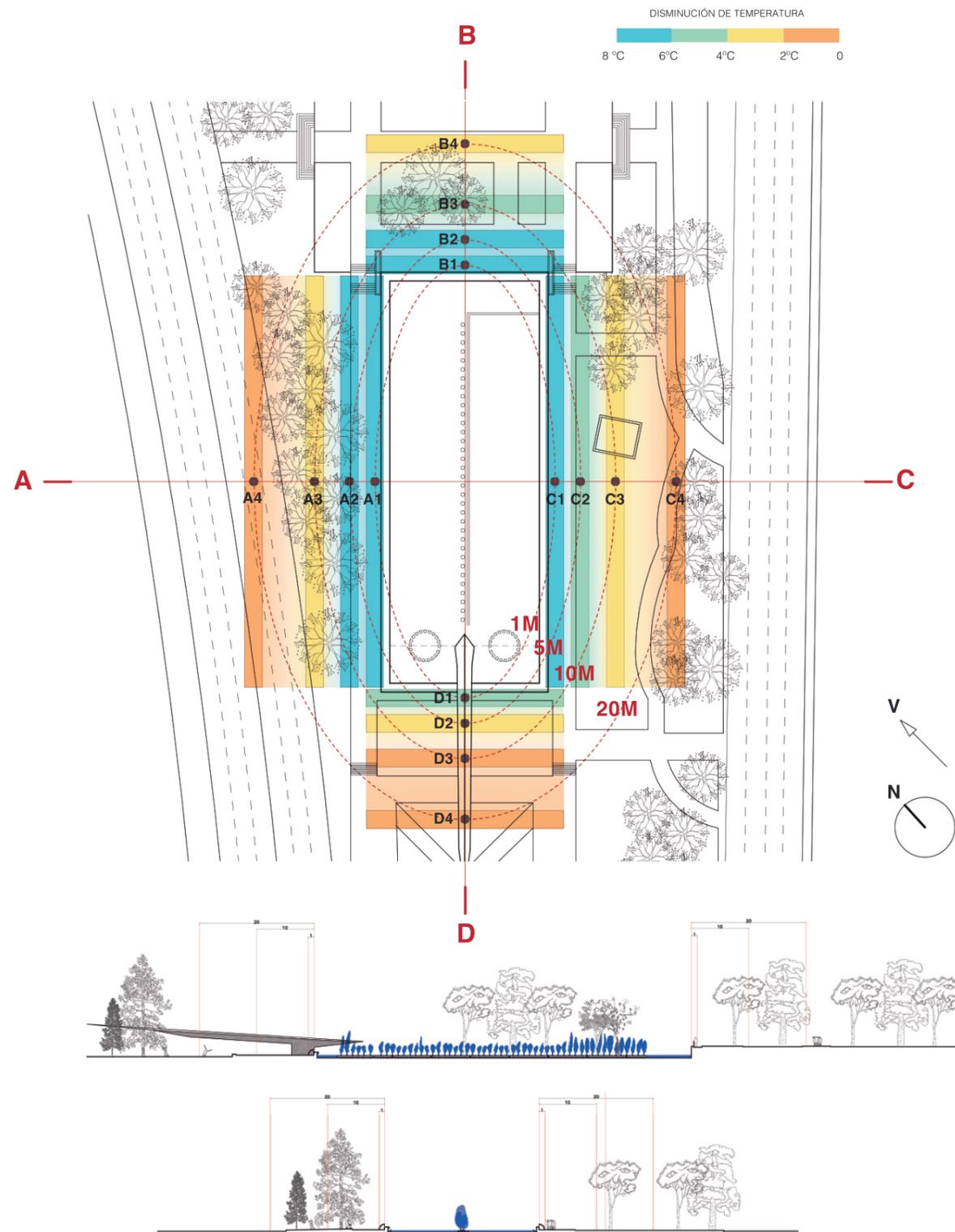
ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO _ AGUA PULVERIZADA
DISMINUCIÓN MÁXIMA DE TEMPERATURA REGISTRADA

- 7 °C (33°C A 26°C)
33% HR

ALCANCE DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO EFECTIVO

10 M (A LO MENOS GENERAN UNA DISMINUCIÓN 2°C)





PLAZA DE LA AVIACIÓN

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO A TRAVÉS DE AGUA PULVERIZADA
ACONDICIONAMIENTO DE ESPACIOS EXTERIORES



DETALLE ESPESOR DE AGUA



ASPERSORES DE AGUA EN FUNCIONAMIENTO



CONTEXTO DE LOS JUEGOS DE AGUA



GRAFICO PROMEDIO MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD JUEGOS SECOS



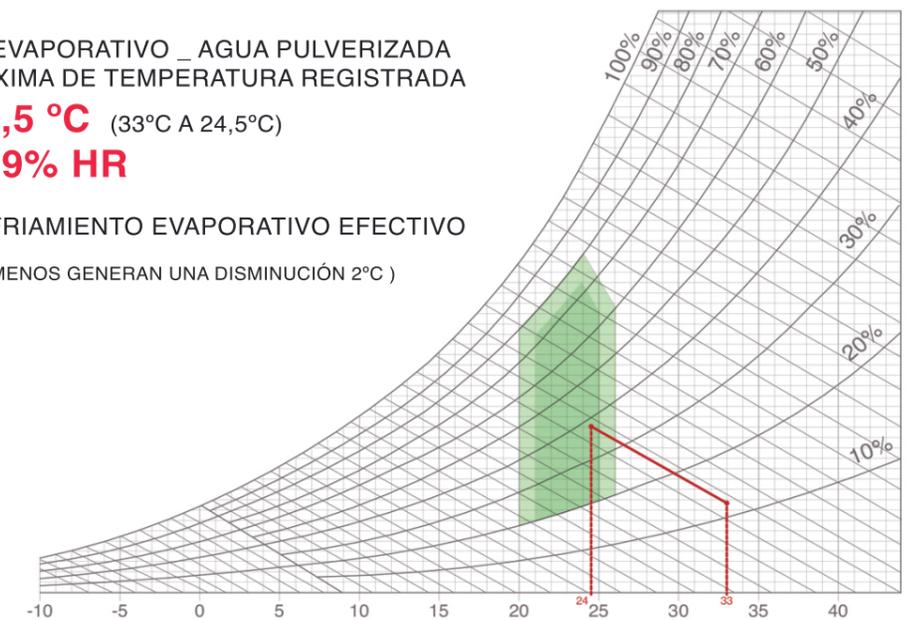
GRAFICO PROMEDIO MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD JUEGOS EN FUNCIONAMIENTO

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO _ AGUA PULVERIZADA
DISMINUCIÓN MÁXIMA DE TEMPERATURA REGISTRADA

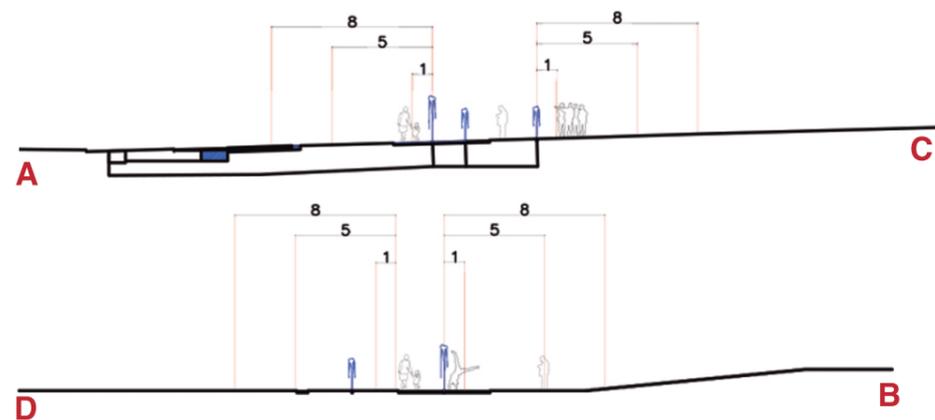
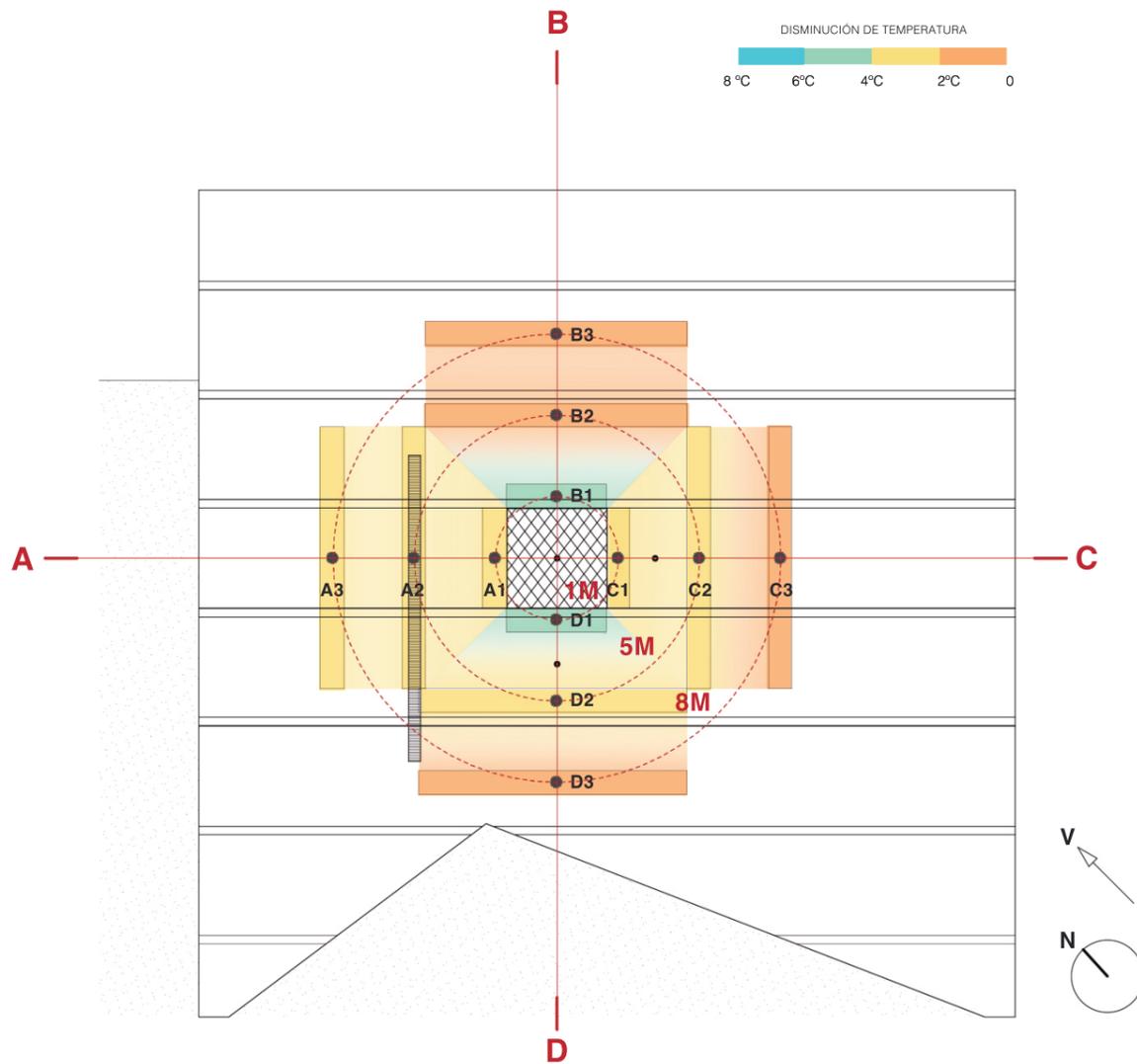
- 8,5 °C (33°C A 24,5°C)
39% HR

ALCANSE DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO EFECTIVO

5 M (A LO MENOS GENERAN UNA DISMINUCIÓN 2°C)



PLAZA DE LA AVIACIÓN													
DISTANCIA	PUNTO DE MEDICIÓN	SIN AGUA 21 de octubre			ESPEJO DE AGUA 25 de Noviembre			CHORROS DE AGUA 25 de Noviembre			ASPERSORES 25 de noviembre		
		Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Hora	Temperatura °C	Humedad Relativa %
1 METRO	A1	12:26 pm	24,7 °C	14,4 %	13:33 pm	32,3 °C	10%	15:05 pm	29 °C	33%	16:12 pm	25 °C	39%
	B1	12:36 pm	33 °C	11,4 %	13:28 pm	29 °C	10%	14:47 pm	27 °C	30%	15:52 pm	27 °C	40%
	C1	12:45 pm	28,4 °C	12,2 %	13:10 pm	32,6 °C	13%	14:24 pm	28 °C	30%	15:20 pm	27 °C	30%
	D1	12:55 pm	30,2 °C	11,7 %	12:55 pm	31,6 °C	10%	14:08 pm	28,4 °C	21%	15:36 pm	26,4 °C	21%
5 METROS	A2	12:31 pm	27,8 °C	17 %	13:50 pm	32,9 °C	10%	14:59 pm	26 °C	30%	16:05 pm	27 °C	30%
	B2	12:40 pm	29 °C	14 %	13:25 pm	29,4 °C	17%	14:41 pm	29 °C	29%	15:47 pm	27,9 °C	33%
	C2	12:49 pm	30,6 °C	11 %	13:55 pm	33,1 °C	14%	14:18 pm	28 °C	30%	15:24 pm	27,2 °C	32%
	D2	12:54 pm	30,6 °C	15 %	12:52 pm	33,3 °C	14%	14:04 pm	30 °C	18 %	15:04 pm	31 °C	18 %
10 METROS	A3	13:03 pm	30,7 °C	11,2 %	13:42 pm	32,2 °C	11%	14:58 pm	30 °C	28 %	15:59 pm	30 °C	18 %
	B3	13:10 pm	29,8 °C	10,3 %	13:21 pm	30 °C	15%	14:35 pm	29 °C	29%	15:41 pm	28 °C	29%
	C3	13:17 pm	32 °C	18,8 %	13:00 pm	33,3 °C	15%	14:15 pm	29 °C	28%	15:21 pm	28,1 °C	30%
	D3	13:25 pm	31 °C	14,4 %	12:49 pm	32,6 °C	14%	14:01 pm	31,2 °C	11%	15:15 pm	32,6 °C	11%
20 METROS	A4	13:31 pm	28,7 °C	15,3 %	13:37 pm	33 °C	15%	14:52 pm	33 °C	15 %	15:56 pm	32 °C	15 %
	B4	13:39 pm	31,7 °C	14 %	13:15 pm	32,5 °C	13%	14:29 pm	28,9 °C	28%	15:35 pm	28,2 °C	28%
	C4	13:55 pm	32,9 °C	13,4 %	12:58 pm	33,5 °C	11%	14:12 pm	30 °C	25%	15:18 pm	30 °C	21%
	D4	14:02 pm	24,7 °C	14,9 %	12:35 pm	32,4 °C	15%	13:55 pm	32 °C	11%	15:11 pm	33 °C	11%



JUEGOS DE AGUA RENATO POBLETE							
DISTANCIA	PUNTO DE MEDICIÓN	SIN AGUA			CON CHORROS DE AGUA		
		Hra	°	HR	Hra	°	HR
1 mts	A1	14:00	34	15	14:30	30	24
	B1	14:03	34	15	14:35	29	29
	C1	14:05	34	15	14:40	30	25
	D1	14:08	34	15	14:45	27,4	36
5 mts	A2	14:11	34	15	14:50	31	20
	B2	14:15	34	15	14:55	33	16
	C2	14:18	34	15	15:00	31,5	20
	D2	14:20	34	15	15:05	31	20
8 mts	A3	14:23	33	16	15:10	31,5	18
	B3	14:25	34	15	15:15	34	15
	C3	13:56	34	15	15:20	33	16
	D4	13:52	33	16	15:17	33	16

PARQUE RENATO POBLETE

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO A TRAVÉS DE CHORROS DE AGUA
ACONDICIONAMIENTO DE ESPACIOS EXTERIORES



SITUACION SIN AGUA



NIÑOS JUGANDO CON LOS CHORROS FUNCIONANDO



CONTEXTO DE LOS JUEGOS DE AGUA



GRAFICO PROMEDIO MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD JUEGOS EN FUNCIONAMIENTO

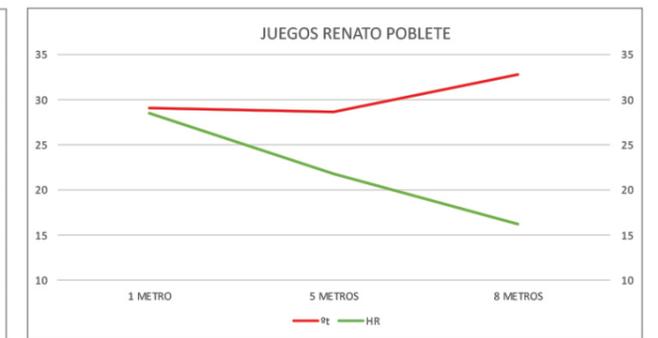


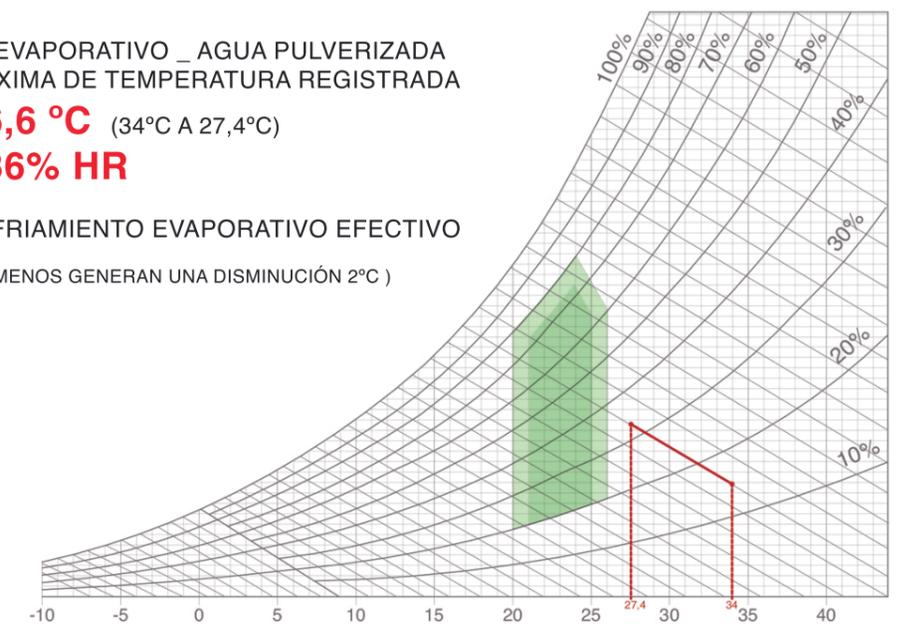
GRAFICO PROMEDIO MEDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD JUEGOS SECOS

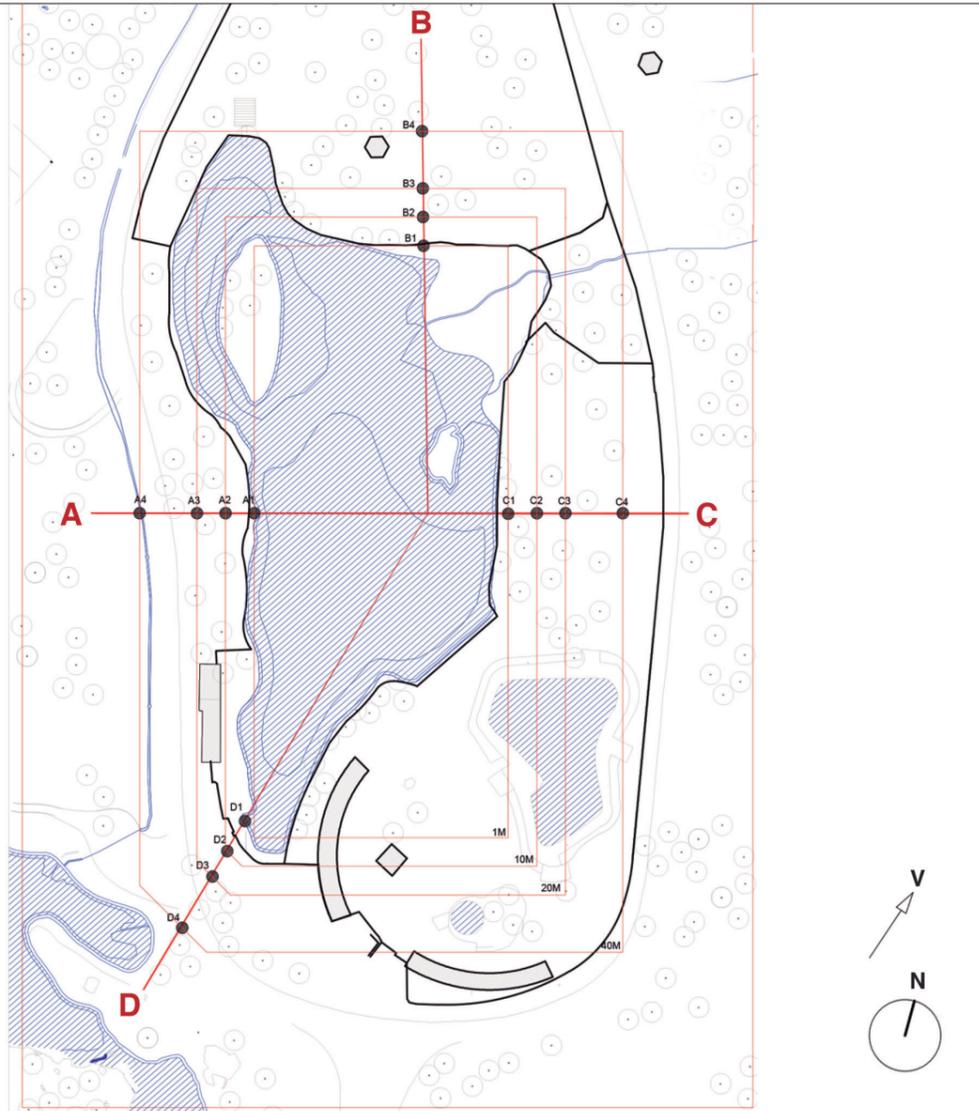
ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO _ AGUA PULVERIZADA
DISMINUCIÓN MÁXIMA DE TEMPERATURA REGISTRADA

- 6,6 °C (34°C A 27,4°C)
36% HR

ALCANCE DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO EFECTIVO

5 M (A LO MENOS GENERAN UNA DISMINUCIÓN 2°C)

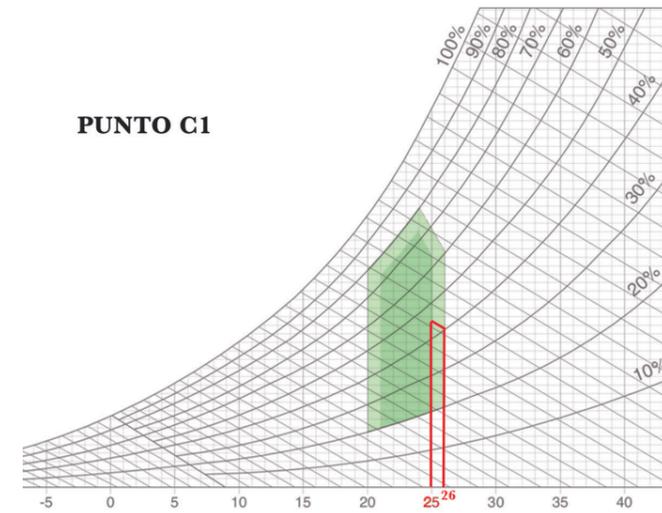




Parque O'Higgins				
DISTANCIA	PUNTO DE MEDICIÓN	Laguna del Tibet		
		Hra	°	HR
1 mts	A1	13:51	28 °C	31%
	B1	14:16	25,6 °C	37%
	C1	14:18	26 °C	40%
	D1	13:39	29,1 °C	27%
10 mts	A2	13:50	27,5 °C	33%
	B2	14:14	25,6 °C	36%
	C2	14:19	26,6 °C	36%
	D2	13:37	26 °C	28,3%
20 mts	A3	13:49	27,2 °C	32%
	B3	14:12	25,9 °C	36%
	C3	14:21	27,8 °C	32%
	D3	13:35	28 °C	27%
40 mts	A4	13:48	28,5 °C	30%
	B4	14:10	26,4 °C	35%
	C4	14:23	27,3 °C	34%
	D4	13:33	28 °C	31%

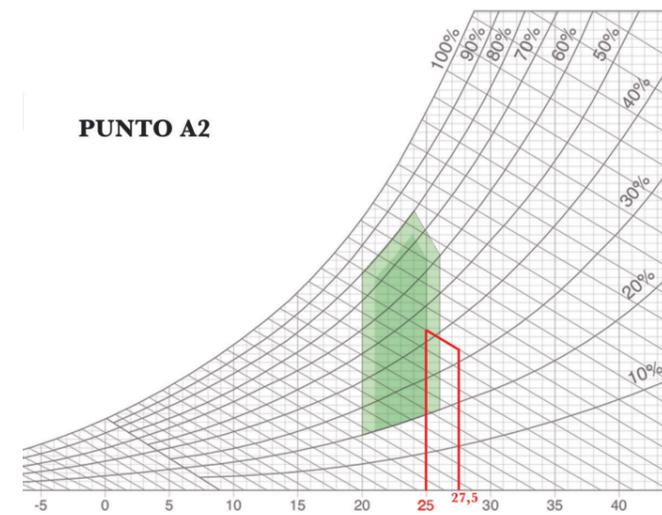
LAGUNA DEL TÍBET PARQUE O'HIGGINS

LEVANTAMIENTO DE HUMEDAD Y TEMPERATURA EN CASO DE ESTUDIO



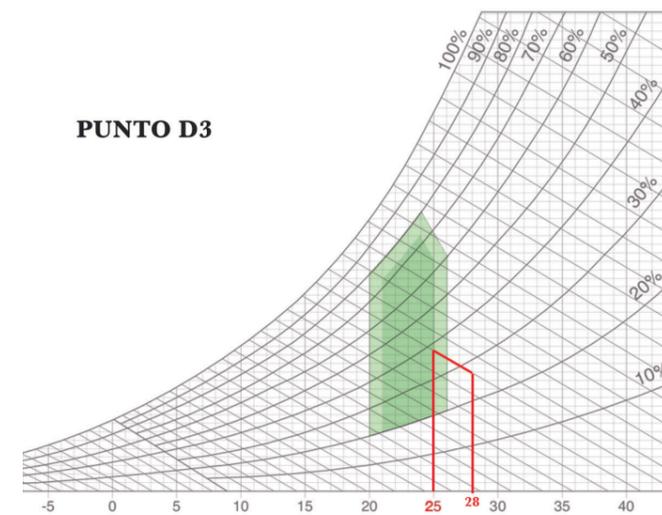
- 1 °C (36°C A 25°C)
- DE 40% A 45%

EN ESTE PUNTO SE PRESENTA UN 40% DE HUMEDAD RELATIVA, SI SE AUMENTA A UN 45% SE LOGRA UN AUMENTO DE 1°C PARA ASÍ LLEGAR A CONFORT TÉRMICO. SE CONSIDERA QUE EL CAMBIO ES BAJO, POR LO QUE **NO SE JUSTIFICA** PROYECTAR JUEGOS DE AGUA EN ESTE SECTOR.



- 2,5 °C (27,5°C A 25°C)
- DE 33% A 43%

EN ESTE PUNTO SE PRESENTA UN 33% DE HUMEDAD RELATIVA, SI SE AUMENTA A UN 43% SE LOGRA UN AUMENTO DE 2,5°C, PARA ASÍ LLEGAR A CONFORT TÉRMICO. SE CONSIDERA QUE EL CAMBIO **ES JUSTIFICABLE**, YA QUE ESE SECTOR SE ENCUENTRA EN DISCONFORT.



- 3°C (28°C A 25°C)
- DE 27% A 38%

FINALMENTE, EN ESTE PUNTO SE PRESENTA EL PUNTO MAS BAJA DE HUMEDAD AL REDEDOR DE LA LAGUUNA (UN 27% DE HUMEDAD RELATIVA), SI SE AUMENTA A UN 38% SE LOGRA UN AUMENTO DE 3°C PARA ASÍ LLEGAR A CONFORT TÉRMICO. SE CONSIDERA QUE EL CAMBIO **ES JUSTIFICABLE**, YA QUE ESE SECTOR SE ENCUENTRA EN DISCONFORT.

c. Conclusiones de las mediciones

Las mediciones permiten concluir que los aspersores de agua en la plaza de la aviación, son la estrategia que genera el mayor cambio en la temperatura, en comparación al resto de las situaciones medidas. Al comparar los aspersores de la Plaza de la Aviación con los chorros de esta misma y los juegos de agua del Parque Renato Poblete, es posible determinar que los aspersores entregan un mejor resultado ya que disminuyen la temperatura del lugar en 8°C, versus 7 y 6,6°C de los chorros y juegos. De esta manera, los aspersores lograron generar una zona de confort en un ambiente que inicialmente se encontraba a 33°C, disminuyéndola a 24,5°C y aumentando la humedad relativa del ambiente de 15 a 39%.

Sin embargo, los chorros en la Plaza de la Aviación, a pesar de no tener la mayor disminución en cuanto a temperatura, es la estrategia que genera un mayor alcance de enfriamiento evaporativo efectivo, logrando al menos una disminución de 2°C en el ambiente en un área 10 metros de diámetro a los chorros de agua, en comparación al efecto que generan los aspersores de la Plaza de la Aviación y los juegos del Parque Renato Poblete en su entorno, los cuales solo afectaron en 5 metros de diámetro a su alrededor. Este fenómeno, se da debido a la gran altura que alcanzan los chorros de agua, logrando una altura máxima de 8 metros los que generan una mayor área de influencia sobre su entorno.

Tomando en consideración que el agua juega un rol fundamental en la sensación térmica de las personas, no solo por su efecto en el entorno, sino también, por su efecto sobre la piel, se puede concluir que a pesar de que los juegos de agua del parque Renato Poblete son los que menos disminución térmica generan sobre el ambiente, tienen una particularidad con respecto a los otros lugares medidos, debido a que en estos juegos se genera una directa interacción entre la persona y el agua, produciendo, tal como se mencionó anteriormente, una baja en la sensación térmica de las personas que no está registrada en las mediciones.

Otro factor a considerar en los referentes estudiados es el factor del viento, debido a que este mueve las partículas de agua que se

encuentra en suspensión llevándolas a sectores en donde la saturación de agua es menor, influenciando así en la temperatura de ese sector.

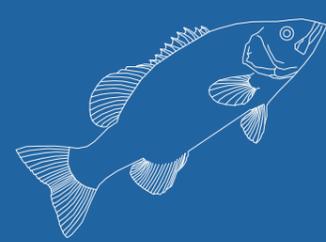
Finalmente, en el levantamiento sobre la condición térmica del sector de la laguna del Tíbet, se puede observar que la temperatura del sector siempre es más baja que en el resto del parque, es decir se crea un micro-clima en el sector sur del parque. Este hecho puede ser causado por el efecto de enfriamiento evaporatorio que provoca la laguna y la gran cantidad de vegetación que la rodea, sabiendo que las plantas también provocan el fenómeno de enfriamiento evaporativo.

En base a estas mediciones, para el caso de la zona sur del parque O'Higgins (zona del proyecto de arquitectura), se decide utilizar juegos de agua como el caso de estudio del Parque Renato Poblete, debido a que no es necesario regular térmicamente la zona por el microclima que se genera. Sin embargo, a pesar de la existencia de grandes masas de agua en el parque, el contacto físico con las personas es casi nulo. Es por esto que se justifica la creación de juegos de agua en la zona sur de las lagunas, zona de menor nivel de humedad, donde el viento juega un rol importante a la hora de acondicionar los recintos exteriores cercanos.



V.

CONCLUSIONES



Tal como se ha evidenciado a lo largo esta investigación, el Parque O'Higgins pone sobre la mesa un tema importante a nivel mundial: el uso eficiente del agua. En base a los problemas ya estudiados, la investigación pretende a través del estudio, análisis y mediciones, buscar una solución atinente al caso de estudio. Este caso, trae consigo el programa de parque urbano, característica fundamental e inseparable que finalmente rige toda la investigación, impregnándola de las necesidades y propiedades de este tipo de espacio público. Las conclusiones de esta investigación se pueden agrupar en dos áreas: las conclusiones respecto a *los tratamientos a utilizar en el nuevo ciclo de agua* y las conclusiones respecto a *la influencia de este ciclo en el entorno*, donde los usuarios, las características del agua, el espacio público y el paisaje confluyen de manera simultánea.

La primera conclusión hace referencia al nuevo ciclo de agua. El parque cuenta con un sistema hídrico ineficiente, destinado principalmente a regar sus áreas verdes. El actual sistema no optimiza la capacidad que tiene el parque de tener un ciclo de agua conectado y racional, que por consecuencia logre reducir desechos e integrarlos dentro del sistema, además de mejorar el espacio público. Parte de los desafíos que este proceso demanda, es la necesidad de buscar una o más soluciones que se adapten a los requerimientos y características de un parque que, en este caso, se tradujo en buscar el menor impacto negativo en la flora y fauna del lugar, además de intentar proteger y potenciar las mismas.

Parte del diagnóstico del caso desarrollado en esta tesis, dio como resultado la alta demanda de agua que tiene el parque (14,8 litros por segundo) versus la capacidad actual del sistema (7,5 litros por segundo). Esto se comprende en gran parte, debido a la vegetación introducida que demanda cantidades de agua mayores a las que el clima mediterráneo de Santiago puede otorgar. Es por esto que se concluye que es necesario disminuir el volumen de vegetación introducida y aumentar la autóctona, además de incrementar las fuentes de ingreso de agua al sistema.

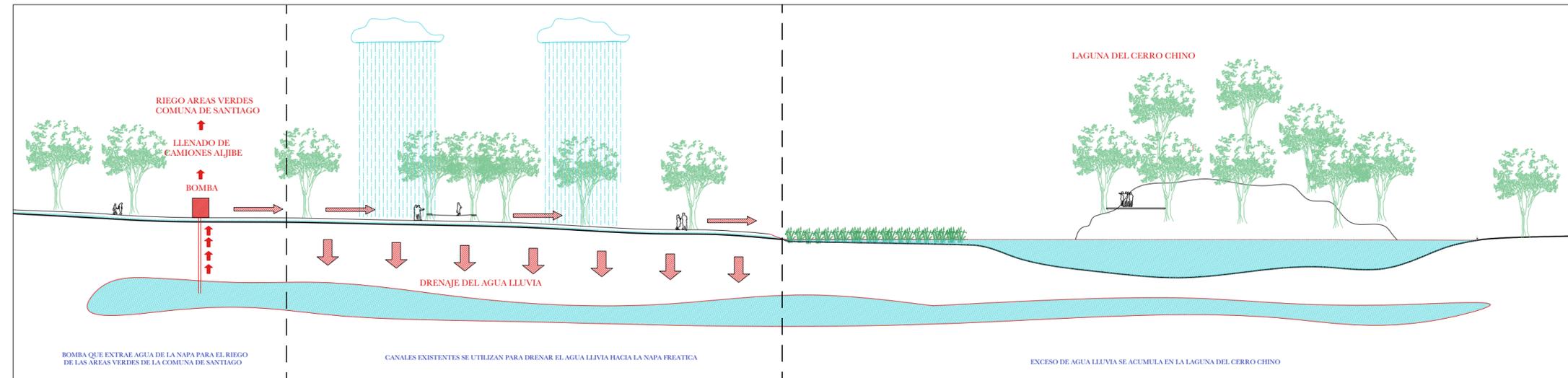


Imagen 85

El nuevo ciclo de agua para el parque propone tres etapas principales: recolección, tratamiento, almacenaje y distribución. Estas etapas forman parte de un ciclo completo de tratamiento de aguas que a su vez responden a las problemáticas existentes en el parque. La etapa de recolección consiste, en primer lugar, en reconocer las distintas fuentes de agua en el parque: el agua del canal San Miguel, las aguas lluvias, la napa freática y las aguas grises que actualmente se desechan de los baños y camarines del sector sur del parque. Tal como se explica en la imagen 85, se utilizan los canales existentes como medio para la infiltración de aguas lluvias hacia la napa freática además de crear nuevos canales conectores para recolectar las aguas que inundan zonas determinadas cada invierno.

La segunda etapa del nuevo ciclo tiene que ver con el tratamiento o purificación de las aguas. La investigación fue exhaustiva en mostrar las distintas maneras existentes de tratar aguas en diferentes estados de impureza, intentando dilucidar la manera que mejor se adapta a este caso de parque urbano. En este caso para el tratamiento de aguas, se utiliza un sistema de humedales y estanques sedimentadores debido a que son las estrategias menos invasivas, pero al mismo tiempo eficientes. Ambas soluciones no generan ruidos y no necesitan de grandes intervenciones en el paisaje que puedan afectar a la flora y fauna, sino que, son capaces de protegerla, activarla y potenciarla. Para esta etapa se propone, en primer lugar, el tratamiento diferenciado de las aguas según su origen: esto conlleva que las aguas no se mezclen en el proceso, sino que son tratadas aisladamente. Como se mencionó anteriormente, los tipos de agua que se encuentran son tres: agua del canal San Miguel con altos niveles de sedimento, aguas grises de lavamanos y duchas y aguas lluvias. Dentro del proceso de purificación están los tratamientos primarios y secundarios: un estanque sedimentador para la decantación de sedimento y dos humedales para una mayor filtración, respectivamente.

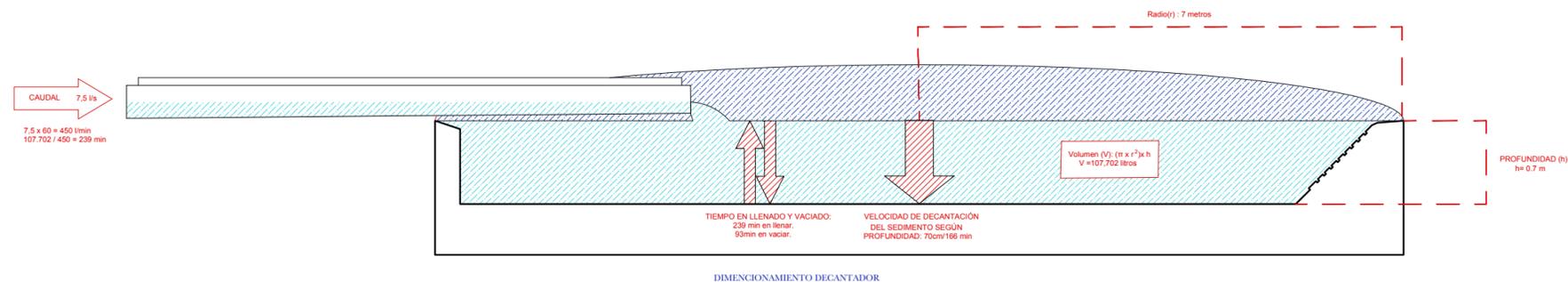


Imagen 86

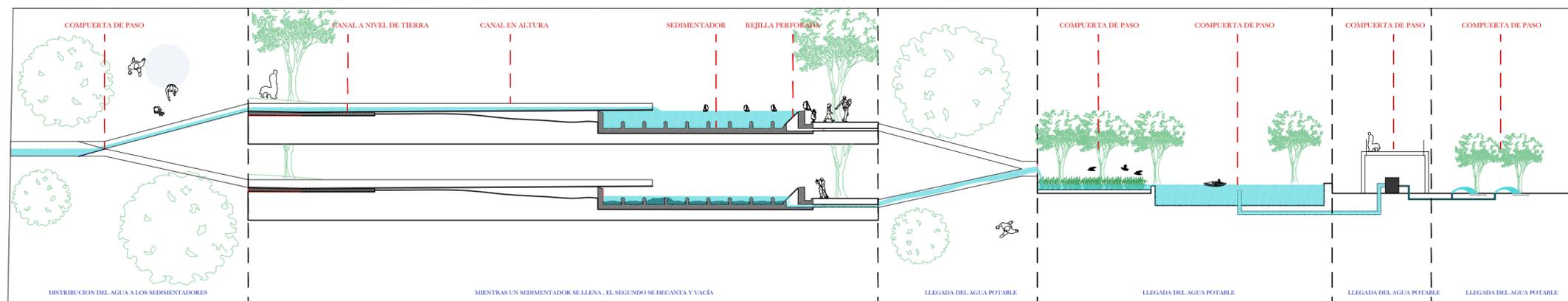


Imagen 87

El estanque de decantación (tratamiento primario de purificación) filtrará los sedimentos sólidos de mayor diámetro que son físicamente decantables. Es por esto que para el dimensionamiento de este, (imagen 86) fue necesario tomar en consideración el caudal del canal o volumen de agua entrante al sistema, para luego determinar el tiempo de llenado del sedimentador. Luego, el sedimento que contiene el agua entrante, es uno de los factores determinantes en la profundidad del sedimentador; ya que en base a eso se puede determinar el tiempo de retención (tiempo de decantación). Todos estos factores concatenados son aquellos que finalmente determinan el volumen del sedimentador.

El tratamiento primario de purificación consta de dos sedimentadores. Esto, para garantizar un flujo constante de agua decantada hacia la laguna del Tíbet. Tal como se explica en la imagen 87, es importante mencionar que el tiempo de llenado debe ser menor al tiempo de decantación y vaciado debido a que el agua que llena los sedimentadores es constante (7,5 litros por segundo), sin embargo estos requieren cierto tiempo de retención y vaciado, tiempo que juega con la intermitencia entre un sedimentador y otro.

Por otro lado, los humedales (tratamiento secundario de purificación), son grandes áreas de vegetación acuática encargados de extraer las partículas y sedimentos que, aun habiendo pasado por los estanques, se encuentran en suspensión en el agua. Las tres fuentes de agua se diferencian en cuanto al tipo de tratamiento que se les aplica: las aguas del canal San Miguel que llegan desde el canal recolector, pasan por el estanque de decantación para luego recorrer los humedales encargados de purificar más profundamente el agua; las aguas grises que se incluyen en el sistema son solamente purificadas a través del humedal ya que no requieren tratamiento primario. Finalmente, el agua lluvia recolectada que ahora forma parte del ciclo se infiltra a través de suelos permeables para alimentar la napa freática.

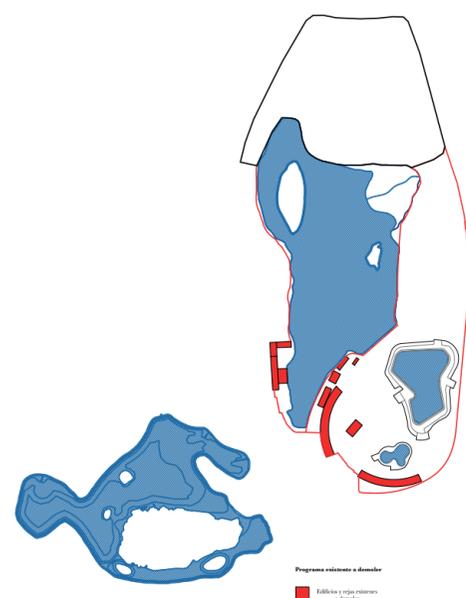


Imagen 88

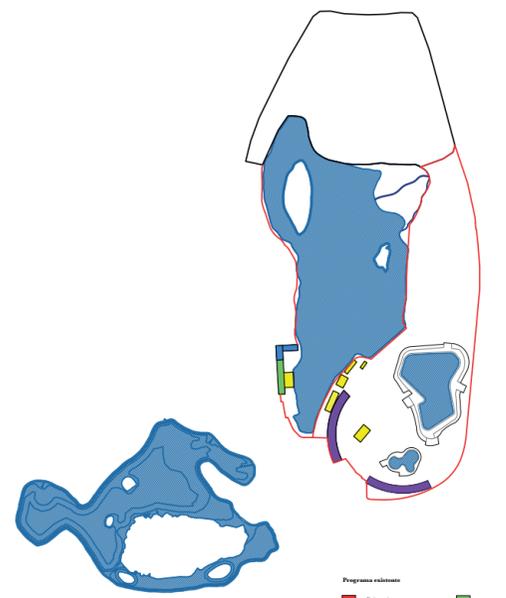


Imagen 89

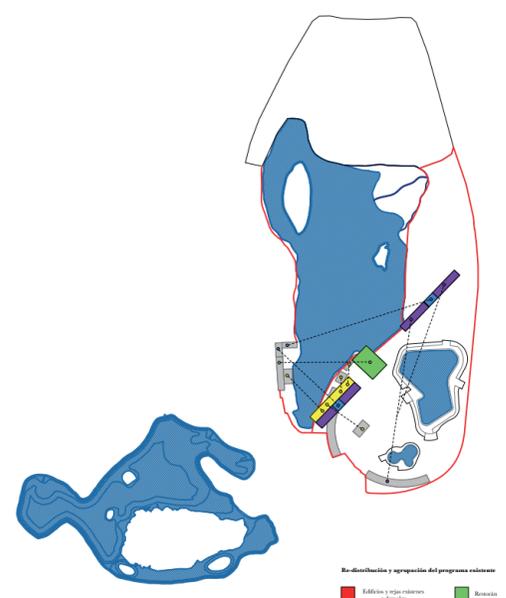


Imagen 90

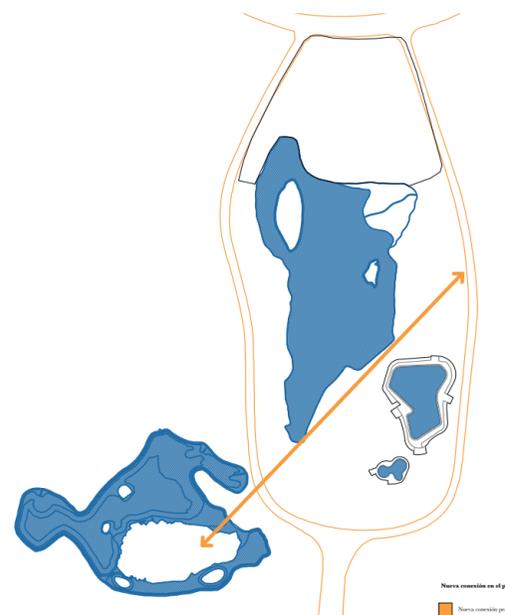


Imagen 91

La tercera etapa del ciclo tiene que ver con el almacenaje de aguas ya filtradas y purificadas. En el caso del parque O'Higgins, la Laguna del Tibet y la Laguna del Cerro Chino cumplen la función de almacenar y oxigenar el agua. De esta manera, las lagunas aumentan su capacidad de almacenaje respecto a su capacidad actual debido a que no se acumula sedimento en sus fondos para garantizar su existencia y eficiencia en el futuro. Por otro lado, las lagunas se conectarán a través de un canal superficial para permitir el flujo y movimiento constante de las aguas entre ambas lagunas. Esto, para permitir mayor oxigenación y relación visual entre las masas de agua y así crear una mayor unidad de este nuevo ciclo.

La cuarta y última etapa consta de la distribución de las aguas purificadas al resto del parque para riego de las áreas verdes y también, se incluirá el uso de aguas purificadas para WC y urinarios. La distribución a estos lugares será a partir del sistema de aspersión existente y cañerías subterráneas para las instalaciones sanitarias. El sistema de distribución estará diferenciado para el día y la noche. Esto quiere decir, que las aguas grises purificadas del sistema serán distribuidas para riego en horarios nocturnos sin presencia de usuarios, debido a la normativa vigente que prohíbe el contacto de personas con este tipo de agua. El agua de las lagunas será distribuida para usos de riego en horarios diurnos ya que no tiene riesgos de contacto con la gente.

Paralelamente, el proyecto incluye la reagrupación de los programas adyacentes a la Laguna del Tibet. Estos, como ya ha sido comentado a lo largo de la investigación, constan de un restorán, baños, casa de bote y camarines en mal estado y que a su vez generan un cierre de la laguna hacia el parque (imágenes 88 y 89). Esta reordenación de programas es plasmada en tres bloques principales ubicados en línea, (imagen 90) conectados por una pasarela peatonal sobre sus cubiertas, conectando a su vez los tres volúmenes de agua del sector sur del parque: Laguna del Tibet, piscina Municipal y Laguna del Cerro Chino. De esta manera,

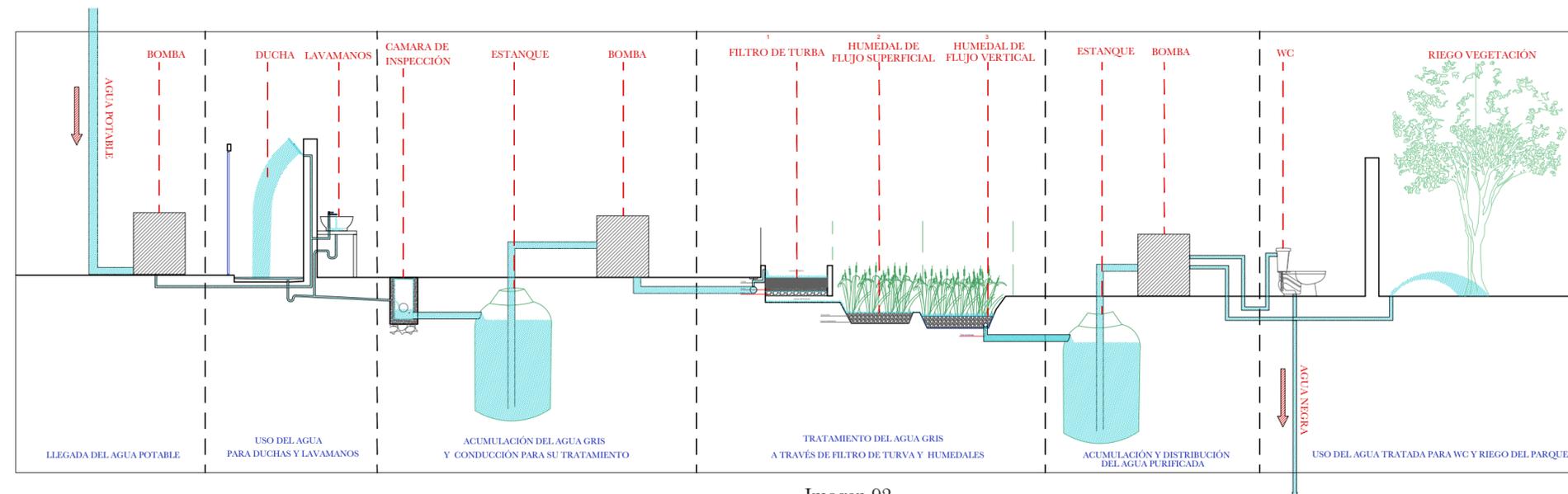


Imagen 92

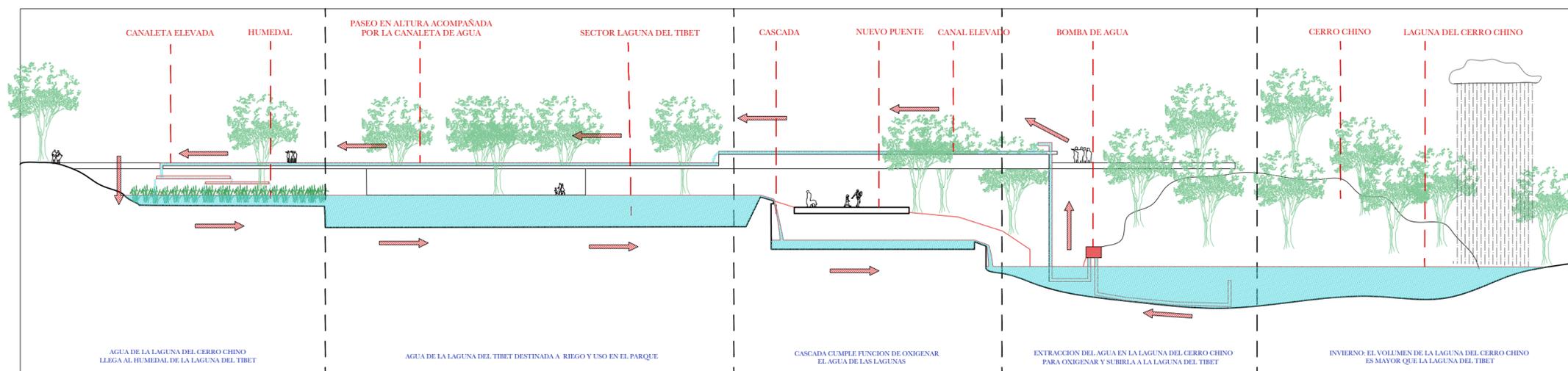


Imagen 93

Sistema de re-circulación de agua entre lagunas para la oxigenación de esta a través de desniveles, bombas y canales superficiales sobre el edificio

se reactivan los bordes de la Laguna del Tibet, abriéndose hacia el parque. Su ubicación responde tanto a los niveles de terreno como a las relaciones visuales y físicas que genera. La cubierta del edificio logra mantener un solo nivel en todo su recorrido, creando una nueva circulación (imagen 91) que mantiene la cota más alta de la Laguna del Tibet hasta conectar con la isla central de la Laguna del Cerro Chino. Esta intervención crea una nueva circulación en el parque, antes inexistente, entre los volúmenes de agua y se logra entender el sistema hídrico como un todo y de esta manera se pone en valor.

Es importante mencionar que esta nueva infraestructura propuesta, es un punto clave en el desarrollo de todo el ciclo hídrico. Por una parte, el edificio abastecerá de agua gris al parque, dado que incluye camarines y baños, desde donde se recolectará agua gris para incluirla al sistema hídrico (Imagen 92). Por otra parte, incluye salas de bombas y maquinarias necesarias para la recolección y distribución de agua en el ciclo. Finalmente, el edificio cumple un rol fundamental para la tercera etapa de tratamiento del agua: la oxigenación. Tal como se muestra esquemáticamente en la imagen 93, dado que las lagunas se encuentran con una diferencia de niveles considerable (+2.5m), se propone conectarlas a través de un paso de agua superficial, que, debido a la diferencia de altura, permite la creación de una caída de agua que genere la adecuada oxigenación. El edificio cumple un rol fundamental en la oxigenación, ya que permite la re-circulación del agua entre las lagunas constantemente, a través de una bomba que eleva el agua hasta un sistema de canaletas que acompañan al nuevo recorrido peatonal en altura.

Finalmente, y a modo de *segunda conclusión*, se propone que el nuevo ciclo de agua para el parque recién mencionado se evidencie en ciertos momentos en la superficie del parque, con el objetivo de cualificar térmica y visualmente los lugares a su alrededor. Tal como se plantea en un principio de la investigación, el agua es capaz de generar atmósferas a través de su aroma, brillo, color y textura. Es por esto que tanto las lagunas,

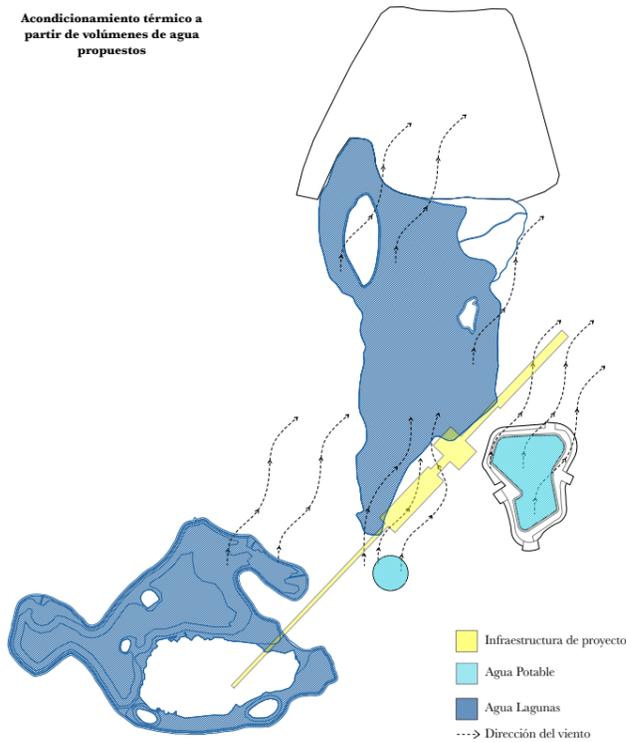


Imagen 94

humedales, canales, estanques y juegos de agua conforman parte del paisaje del parque, incluyéndose de manera fluida y dotando de espacios de apreciación del recurso hídrico. De esta manera, el agua se presenta como el punto de mayor interés en el programa del conjunto que activa el espacio público.

La evidencia del ciclo del agua se da en distintos grados y situaciones: en primer lugar, las lagunas se comportan como los mayores puntos de atracción debido a su tamaño y presencia en el lugar. En segundo lugar, el estanque de decantación crea un gran espejo de agua quieta que permite la contemplación del recurso en este estado, además de generar sonidos al llenarse y vaciarse intermitentemente, como parte de un sistema vivo. En tercer lugar, se crean una serie de juegos de agua, que incluyen la piscina municipal existente, permitiendo a los usuarios experimentar táctilmente las propiedades del agua, además de acondicionar térmicamente el espacio exterior. Tal como se adelantó anteriormente y en cuarto lugar, el edificio cuenta con un sistema de canaletas superficiales y a la vista del usuario que acompañan al recorrido. Estos canales, además de permitir la recirculación de agua entre las lagunas y así generar la oxigenación necesaria, generan un elemento de interacción atmosférica, recreativa y espacial con el usuario.

Por otra parte y como estrategia a mayor escala, la serie de elementos de agua dispuestos en el paisaje del parque que conforman el total del sistema, si bien diferencian los usos y tipos del recurso, pretenden generar una conexión visual que agrupe y relacione todo el sistema. Esto a su vez, permite la orientación espacial del usuario en el lugar, ciclo que se presenta un hito reconocible en el parque conformado por una red de elementos relacionados con el agua. Tal como se profundizó en el desarrollo de la investigación, el agua tiene la capacidad de acondicionar térmicamente el espacio que lo rodea, por lo que los juegos de agua son pensados a partir de mediciones y resultados empíricos que se evidencian en esta investigación (imagen 94). Estos resultados son los que permiten ubicar y orientar de manera adecuada una

serie de juegos para crear el mayor efecto de estos en el espacio. Su ubicación, como se muestra en la imagen 94, responde en gran medida a la dirección del viento presente en la zona. Esto permite que las partículas de agua en suspensión se desplacen en dirección del viento, acondicionando el espacio adyacente. Por otra parte, los juegos generan una interacción lúdica entre los usuarios y el agua, marcando un momento importante en el ciclo o sistema del agua.

Para cerrar, tanto la investigación como el proyecto de arquitectura intentan mejorar, optimizar y poner en valor el ciclo del agua en el parque, para así activar el espacio público que rodea las lagunas y hacer del parque un mejor lugar mediante el aprovechamiento de las cualidades del agua y su valoración como recurso que cada día es más escaso.



BIBLIOGRAFÍA
&
FUENTES

BIBLIOGRAFÍA

1. Entrevista Leonardo Frez, cima urbana, oficina encargada del riego del parque O'Higgins, concesión otorgada hasta el año 2020.
2. Reunión Municipalidad de Santiago, Puentes UC y TIP Macarena Burdiles y Mauricio Lama.
3. Polis, Ilustre Municipalidad de Santiago, Estudio plan maestro Parque O'Higgins, Marzo 2006. Pag 56.
4. Ilustre municipalidad de Santiago, Estudio plan maestro parque O'Higgins, Etapa1_diagnóstico general, Marzo 2006
5. Parque Cousiño y Parque O'Higgins: Imagen pasada, presente y futura de un espacio verde en la metrópolis de Santiago de Chile, Martín Domínguez Vial, Revista de Urbanismo N°3 - Agosto de 2000,
6. Beach, P. M. (09/2010). Jardín para el pueblo, El imaginario de la unidad popular en el Parque. santiago: Instituto de estudios urbanos y territoriales de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
7. AUCA 24, Remodelación Parque O'Higgins
8. ARQ 34, El Parque Cousiño: Historia de un paisaje urbano, Daniel Swinburn del Rio.
9. Banco Mundial (2011). Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Banco Mundial. http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf
10. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>

12. El cambio climático en Santiago. 22-06-2018, de Adapt Chile, Sitio web: <http://www.adapt-chile.org/esp/wp-content/uploads/2015/11/PLCC-SANTIAGO.pdf>

13. Ministre, Ministre auprès du Premier. (2006). LE PARC DU CHEMIN DE L'ÎLE. FRANCIA: promenades92 .

14. CENTA. (2008). “Manual de Depuración de aguas urbanas”. Sevilla: Ideasmares.

15. Legislación Chilena (2018). Ley de recolección, re-utilización y disposición de aguas grises. Ley 21075. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

16. Clubman, M. (2016). Archdaily. 23 de Agosto. Último acceso: 27 de Junio de 2018. <https://www.archdaily.com/793523/sydney-park-water-re-use-project-turf-design-studio-plus-environmental-partnership-alluvium-turpin-plus-crawford-dragonfly-and-partridge>.

17. Tran, M. & Koncagul, E. & Connor, R. (2016). *Informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Perugia, Italia: WWAP.

18. MOP. (2012). *chile ciuda su agua*. Santiago: Estrategia nacional de recursos Hídricos.

19. Aracena, G. (2012). “Manual para el Hogar”. Santiago: Superintendencia de servicios Sanitarios.

20. Ayala, L. (2010). *Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. Santiago, Chile.

21.- Banco Central (2012). www.bcentral.cl

21. Banco Mundial (2011). Chile: Diagnóstico de la gestión de

los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Banco Mundial.

22. Vidal, J.M. (2011). ¿Qué tan necesarios son los espacios públicos en la actualidad?. Fecha de recuperación: 24.10.2018, de Plataforma Urbana. Sitio web: <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2011/10/26/necesidad-de-espacio-publico/>

23. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Gobierno de Chile. La dimensión humana en el espacio público. Santiago, Octubre de 2017.

24. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), Gobierno de Chile (2007). Espacios Públicos: Recomendaciones para la Gestión de Proyectos. Santiago: Editorial Maval.

25. - Zoë, R. (2010). Building with water. Berlin: Editorial Birkhauser.

26.- Clubman, M. (2016). “Proyecto de reutilización de agua del Parque de Sydney” / Turf Design Studio. Australia, Dragonfly and Partridge. Plataforma de arquitectura.

27.- W. Labre. (2009). “*LE PARC DU CHEMIN DE L'ÎLE*”. Paris: Direction de la Communication.

28.- MOP(2013). *Capítulo 6: “diseño de obras hidráulicas”*, Santiago, Dirección de Obras Hidráulicas

29.- Universidad de las Américas Puebla UDLPA. (2009). “*Manual Diseño del Humedal*” Capítulo 4. México.

FUENTES IMÁGENES

01.-“Santiago Sur Poniente. Barrio Universitario, Desarrollo Urbano y Patrimonio”. Dirección de Obras Municipales de Santiago.

02.- Fotografía de Raúl Bulnes.

- 03.- L'Architecture d'aujourd'hui No 175.
- 04.- Google Earth 2007
- 05.- Google Earth 2008
- 06.- Elaboración Propia
- 07.- Elaboración en conjunto con alumnos del Taller de Título Parque O'Higgins
- 08.- Aracena, Gonzalo. 2012. Manual para el Hogar. Santiago: Superintendencia de servicios Sanitarios.
- 09.-Ministerio de Obras Públicas. 2012. Chile ciuda su agua. Santiago: Estrategia nacional de recursos Hídricos.
- 10.-Ministerio de Obras Públicas. 2012. Chile ciuda su agua. Santiago: Estrategia nacional de recursos Hídricos.
- 11a 29.- Elaboración Propia
- 30.- Saieh, N. (Mayo 2017), Plataforma de Arquitectura. *Despues del Domo / Claudio Torres Salazar + Yuji Harada + Clarita Reutter Susaeta + Emile Straub*, Noviembre 2018.
31. Palma, C. (2013). *El Jardín de los senderos que se bifurcan*. Santiago, Chile: scielo.conicyt.cl
32. Palma, C. (2011). "Video: Sombras de Color / Eduardo Castillo". Plataforma de arquitectura.
- 33 y 34. Quinteros, L. (2017). "El Molino y el acueducto". Santiago: Plataforma de Arquitectura.
- 35-36.- ABBADIE, H. (2009). "*MUTABILIS PAYSAGE PARC DU CHEMIN DE L'ILE*". Paris: Divisare.
- 37 y 38.-Adam Hunter. (2016). "Proyecto de reutilización de agua del Parque de Sydney" / Turf Design Studio. Australia, Dragonfly and Partridge. Plataforma de arquitectura.
- 39 y 55.- Elaboración Propia
- 56 a 70 CENTA. (2008). "*Manual de Depuración de aguas urbanas*". Sevilla: Ideasmares.
- 71.- Elaboración Propia en base a: CENTA. (2008). "*Manual de Depuración de aguas urbanas*". Sevilla: Ideasmares
- 72 a 78.- MOP(2013). *Capítulo6: "diseño de obras hidráulicas"*, Santiago, Direccion de Obras Hidráulicas
- 79-84.- Imágenes y mediciones de elaboración propia en conjunto a Mauricio Alliende.
- 85-94.- Elaboración propia.

